

DEPARTEMENT D'ÉCOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

N°/SNV/2021

THÈSE

Présentée par

BARBACHE Amina

Pour l'obtention du Diplôme de

DOCTORAT LMD

Filière: Sciences Biologiques

Spécialité: Écosystèmes méditerranéens et géomatique appliquée

THÈME

**ETUDE ET ANALYSE DE LA VÉGÉTATION ET DE LA FLORE DES
CÉDRAIES DE BELEZMA ET DE GUETLANE : DIAGNOSTIC
PHYTOÉCOLOGIQUE ET ESSAI DE CARTOGRAPHIE DES
INDICATEURS DE LA DÉGRADATION DU COUVERT VÉGÉTAL**

Soutenue publiquement le 15/12/2021.

DEVANT LE JURY

Président	SI BACHIR Abd elkrim	Pr. Université de Batna 2
Rapporteur	BEGHAMI Yassine	Pr. Université de Batna1
Co-rapporteur	BENMESSAOUD Hassen	Pr. Université de Batna1
Examineurs	BEKDOUCHE Farid	Pr. Université de Batna2
	MERADSI Fouad	MCA Université Batna 2
Invité	ABDESSELAM Salah	Pr. Université de Batna1

Remerciements

Tout d'abord je remercie Allah tout le puissant qui m'a donné la force, le courage et la patience pour voir ce jour tant attendu

Je tiens à remercier mon directeur de thèse, Monsieur BEGHAMI Yassine ; Professeur à l'université Batna 1 pour avoir accepté de diriger cette thèse, pour la confiance qu'il m'a accordée, pour ses conseils, son support et ses remarques qui ont permis de faire aboutir ce travail.

Je remercie mon co-directeur de thèse, Monsieur BENMESSAOUD Hassen ; Professeur à l'université Batna 1 pour avoir accepté de diriger cette thèse, pour ces conseils, son support et ses remarques pour faire ce travail

Je remercie Monsieur SI BACHIR Abdelkrim ; Professeur à l'université Batna 2 pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider ce jury

Mes respectueux remerciements vont à Mr. BEKDOUCHE Farid, Mr. ABDESSELEM Salah, Mr. MERADSI Fouad pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et d'avoir accepté de participer à mon jury de thèse.

J'adresse également mes remerciements à tous les enseignants (es) du département Ecologie et Environnement. Un grand merci à Mme NEFFAR Fahima et Mme KHATER Nadia pour leur encouragement, aide et conseils

Une pensée particulière est adressée à mes collègues et mes amies du département Ecologie et Environnement

Je remercie tous les forestiers qui m'ont aidé pour faire les sorties du terrain, je remercie toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin pour terminer ce travail.

Dédicace

A mes très chers parents : maman Aicha et mon père El-djemai

A mes chers frères :

Nasser eddine, Zakaria et Younes

A mon cher mari Nadjib et mes princesses Manar et Maram

A mes proches amies :

Salima, Amina, Samira et Khaoula

Merci pour votre encouragement

Amina

Liste des abréviations :

AFC : Analyse Factorielle des Correspondances

AHP : Analyse Hiérarchique des Processus

AMC : Analyse Multi Critère

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

Ch : Chaméphytes

ETM+ : Enhanced Thematic Mapper

F.A.O : Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation

Gé : Géophyte

GPS : Global Positioning System.

Hé : Hémicryptophyte

IB : Indice de brillance

LST : Land Surface Temperature

Méso-phan : Mésophanérophytes

MNT : model numérique du terrain

Nanophan: Nano-phanérophyte

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

NDWI : Normalized Water Difference Index

OLI : Operational Land Imager

Phan : Phanérophyte

SIG : Système d'information géographique

Thé : Thérophyte

TM : Thematic Mapper

UTM : Universal transverse mercator

WGS : World Geodesic System

Liste des figures :

Figure 01 : Trajectoires temporelles montrant la différence entre la déforestation et la dégradation (Eva <i>et al.</i> , 2017).....	6
Figure 02 : Forêt incendiée Bordjem- Belezma (Photo originelle, 2014).....	9
Figure 03 : Le pâturage dans la forêt de Belezma- Bordjem (Photo originelle, 2014).....	10
Figure 04 : La chenille processionnaire dans la forêt de Belezma- Tuggurt (Photo originelle, 2015).....	11
Figure 05 : Les coupes illicites dans la forêt de Belezma-Bordjem (Photo originelle, 2014).	12
Figure 06 : Processus de télédétection. A source d'énergie; B atmosphère; C cible; D capteur; E transmission, réception et traitement; F interprétation et analyse; G Application. (Delenne, 2006).....	17
Figure 07 : Localisation géographique de la forêt de Belezma.....	20
Figure 08 : Carte des altitudes de la forêt de Belezma (extraite du modèle numérique du terrain MNT).....	21
Figure 09 : La carte des pentes de la forêt de Belezma.....	22
Figure 10 : La carte des expositions de la forêt de Belezma.....	23
Figure 11 : Carte géologique de la forêt de Belezma (Extrait de la carte géologique de l'Algérie dressée par MM.P. Deleau et R. Laffitte, 1951).....	24
Figure 12 : Carte du réseau hydrographique de la forêt de Belezma.....	26
Figure 13 : Localisation géographique de la forêt de Guettiane.....	27
Figure 14 : Carte des altitudes de la forêt de Guettiane (extraite du modèle numérique du terrain MNT).....	28
Figure 15 : Carte des pentes de la forêt de Guettiane.....	29
Figure 16 : Carte des expositions de la forêt de Guettiane.....	29
Figure 17 : Carte géologique de la forêt de Guettiane (Extrait de la carte géologique de l'Algérie dressée par MM.P. Deleau et R. Laffitte, 1951).....	30

Figure 18 : Carte des sols de la forêt de Guettiane (Extrait de la carte des sols-Biskra 1/500000)	31
Figure 19 : Carte du reseau hydrographique de la forêt de Guettiane.....	32
Figure 20: Les courbes des températures minimales, moyennes et maximales annuelles (°C) (1989-2017).....	35
Figure 21 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles (1989-2017).....	36
Figure 22 : Le diagramme Ombrothermique de la station de Batna (1989-2017).....	37
Figure 23 : La projection des zones d'étude sur le Climagramme pluviothermique d'Emberger	40
Figure 24 : Organigramme méthodologique du suivi spatiotemporel de l'occupation du sol	45
Figure 25 : Carte d'occupation du sol de Belezma 1986.....	47
Figure 26 : Carte d'occupation du sol de Belezma 2000.....	48
Figure 27: Carte d'occupation du sol de Belezma 2017.....	49
Figure 28 : Différence des surfaces des unités d'occupation du sol en hectare entre 1986 et 2000.....	52
Figure 29 : Différence des surfaces des unités d'occupation du sol en hectare entre 2000 et 2017.....	52
Figure 30 : Différence des surfaces des unités d'occupation du sol en hectare entre 1986 et 2017.....	53
Figure 31 : Dépérissement du cèdre-Bordjem (Barbache, 2015).....	54
Figure 32 : Carte de changements des unités d'occupation du sol de Belezma entre 1986 et 2017.....	55
Figure 33: Présentation de dynamique des changements des cédraies entre 1986-2017.....	56
Figure 34 : Présentation de dynamique des changements des chênaies entre 1986-2017.....	56

Figure 35 : Régénération de cèdre de l'atlas au niveau de Belezma -Djbel Tuggurt (Barbache, 2015).....	57
Figure 36 : Présentation de dynamique des changements des pineraies entre 1986-2017...	57
Figure 37 : Présentation de dynamique des changements de junipéraie entre 1986-2017....	58
Figure 38 : Présentation de dynamique des changements des pelouses entre 1986-2017....	58
Figure 39 : Présentation de dynamique des changements des cultures entre 1986-2017....	59
Figure 40 : Présentation de dynamique des changements des sols nus entre 1986-2017....	59
Figure 41 : Carte d'occupation du sol de Guettiane 1986.....	61
Figure 42 : Carte d'occupation du sol de Guettiane 2000.....	62
Figure 43 : Carte d'occupation du sol de Guettiane 2017.....	63
Figure 44 : Dépérissement du cèdre de l'atlas à Guettiane (Barbache, 2015).....	65
Figure 45 : Les coupes illicites à Guettiane (Barbache, 2015).....	66
Figure 46 : Le surpâturage à Guettiane (Barbache, 2015).....	66
Figure 47 : Différence des surfaces des unités d'occupation du sol en hectare entre 1986 et 2000.....	67
Figure 48 : Différence des surfaces des unités d'occupation du sol en hectare entre 2000 et 2017.....	68
Figure 49 : Différence des surfaces des unités d'occupation du sol en hectare entre 1986 et 2017.....	68
Figure 50 : Carte de changements des unités d'occupation du sol de Guettiane entre 1986 et 2017.....	69
Figure 51 : Présentation de dynamique des changements des cédraies entre 1986-2017...	69
Figure 52 : Présentation de dynamique des changements des chênaies entre 1986-2017...	70
Figure 53 : Présentation de dynamique des changements des pineraies entre 1986-2017...	70

Figure 54: Présentation de dynamique des changements des pelouses entre 1986-2017...	71
Figure 55: Présentation de dynamique des changements de culture entre 1986-2017.....	71
Figure 56: Présentation de dynamique des changements des affleurements rocheux entre 1986-2017.....	72
Figure 57 : Présentation de dynamique des changements des sols nus entre 1986-2017....	72
Figure 58: Présentation de dynamique des changements des formations très dégradées entre 1986-2017.....	73
Figure 59 : Organigramme méthodologique.....	77
Figure 60 : La composition colorée fausse couleur (bande : 4-3-2 pour Landsat 5 et 7 et bande : 5-4-3 pour Landsat 8) de la zone de Belezma.....	79
Figure 61: La composition colorée fausse couleur (bande : 4-3-2 pour Landsat 5 et 7 et bande : 5-4-3 pour Landsat 8) de la zone de Guettiane.....	80
Figure 62 : NDVI calculé à partir des images de Landsat 5 TM (19-05-1986), Landsat 7 ETM+ (15-04-2000) et Landsat 8 OLI-TIRS (22-04-2017).....	85
Figure 63 : Digramme des surfaces des classes des formations (Belezma).....	87
Figure 64 : NDWI calculé à partir des images de Landsat 5 TM (19-05-1986), Landsat 7 ETM+ (15-04-2000) et Landsat 8 OLI-TIRS (22-04-2017).....	89
Figure 65 : Carte des points de relevés.....	91
Figure 66 : Estimation de la température de surface de la forêt de Belezma (1986-2000-2017).....	95
Figure 67 : Corrélation entre LST et NDVI des trois dates 1986, 2000 et 2017 de la forêt de Belezma.....	97
Figure 68 : NDWI calculé à partir des images de Landsat 5 TM (19-05-1986), Landsat 7 ETM+ (15-04-2000) et Landsat 8 OLI-TIRS (22-04-2017).....	99
Figure 69 : NDVI calculé à partir des images de Landsat 5 TM (19-05-1986), Landsat 7 ETM+ (15-04-2000) et Landsat 8 OLI-TIRS (22-04-2017).....	101

Figure 70 : Estimation de la température de surface de la forêt de Guettiane (1986-2000-2017).....	103
Figure 71 : Corrélation entre LST et NDVI des trois dates 1986, 2000 et 2017 de la forêt de Guettiane.....	105
Figure 72 : Prélèvement des espèces et Détermination des recouvrements (Barbache, 2014).....	109
Figure 73: Répartition par famille de la flore du massif forestier de Belezma.....	111
Figure 74 : Spectre biologique de la forêt de Belezma.....	113
Figure 75 : Types biogéographiques de la flore de Belezma.....	114
Figure 76: Répartition par famille de la flore du massif forestier de Guettiane.....	115
Figure 77 : Spectre biologique de la forêt de Guettiane.....	117
Figure 78 : Types biogéographiques de la flore de Guettiane.....	118
Figure 79: Graphique factoriel des axes 1 et 2 (Belezma).....	123
Figure 80: Graphique factoriel des axes 1 et 2 (Guettiane).....	126
Figure 81: Dépérissement totale des cédraies de Belezma-Bordjem à 1556 m d'altitude (Barbache, 2013).....	129
Figure 82: Dendrogramme de la classification hiérarchique des groupements végétaux de la forêt de Belezma.....	130
Figure 83: L'évaluation multicritère sur Arc gis (Belezma).....	140
Figure 84: L'évaluation multicritère sur Arc gis (Guettiane).....	141
Figure 85 : Carte de sensibilité de végétation, climat et sol de la zone de Belezma.....	143
Figure 86 : Carte de la vulnérabilité à la dégradation des forêts de Belezma.....	145
Figure 87 : Carte de sensibilité de végétation, climat et sol de la zone de Guettiane.....	147
Figure 88: Carte de la vulnérabilité à la dégradation des forêts de Guettiane.....	149

Figure 89: Régénération du cèdre dans la forêt de Belezma-Djebel Tuggurt (Barbache, 2015).....	152
Figure 90: Régénération du cèdre à Refaa-Belezma (Barbache, 2016).....	153
Figure 91: Régénération du cèdre dans la forêt de Guettiane (Barbache, 2015).....	153
Figure 92: Le reboisement du barrage vert-Forêt de Guettiane (Barbache, 2015).....	154
Figure 93: Cédraie de Refaa-Belezma (Barbache, 2016).....	155

Liste des tableaux :

Tableau 1: Répartition des températures moyennes mensuelles et des températures moyennes mensuelles minimales et maximales de la station de Batna (1989-2017).....	35
Tableau 2 : Pluviométrie moyenne mensuelle de la station de Batna (1989-2017).....	36
Tableau 3 : Les moyennes de température et des précipitations de la région de Batna (1989 à 2017).....	37
Tableau 4: Classification du climat selon l'indice de De Martonne.....	38
Tableau 5: L'évaluation de Q2 des zones d'étude (Belezma et Guettiane).....	39
Tableau 6 : Suivi de la dynamique de la végétation pendant 1986 et 2017.....	50
Tableau 7: Matrice de transition d'occupation de sol entre 1986 et 2017 (superficie en ha)..	60
Tableau 8 : Les changements en surface des unités entre 1986-2017.....	60
Tableau 9: Suivi de la dynamique de la végétation de Guettiane pendant 1986 et 2017.....	64
Tableau 10: Matrice de transition d'occupation de sol entre 1986 et 2017 (superficie en ha).....	73
Tableau 11: Les changements en surface des unités entre 1986-2017.....	73
Tableau 12: Les bandes spectrales de Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+) et Landsat 8 (OLI and TIRS).....	76
Tableau 13 : Les constants de calibration des bandes thermiques du satellite Landsat.....	83
Tableau 14: La dynamique de la végétation (1986-2017).....	86
Tableau 15 : L'arboriculture sur les communes du Parc National du Belezma.....	88
Tableau 16 : Tableau des points relevés sur terrain.....	92
Tableau 17 : Les espèces recensées sur terrain.....	93
Tableau 18 : Répartition globale des types biologiques de Belezma.....	112
Tableau 19 : Répartition globale des types biologiques de Guettiane.....	116
Tableau 20 : Pourcentage de variance des axes.....	120
Tableau 21 : Les valeurs d'attribut pour les sous-critères constituant les critères entrés dans la dégradation de la végétation (forêt de Belezma).....	136

Tableau 22 : Les valeurs d'attribut pour les sous-critères constituant les critères entrés dans la dégradation de la végétation (forêt de Guettiane).....	137
Tableau 23 : Matrice de pondération par paire des critères.....	138
Tableau 24 : valeurs des poids pour les différents critères.....	139
Tableau 25 : Tableau d'indice aléatoire de Saaty.....	140
Tableau 26 : La classification des situations de vulnérabilité à la dégradation des forêts de Belezma.....	144
Tableau 27 : La classification des situations de vulnérabilité à la dégradation des forêts de Guettiane.....	148

Tables des matières

Introduction générale 1

Chapitre I : Cadre théorique de la recherche

Introduction..... 4

I.1. Connaissance de base sur la forêt et la dégradation.....4

I.1.1. Définition de la forêt.....4

I.1.2. La forêt algérienne.....4

I.1.3. Définition de la dégradation.....6

I.1.4. Processus de la dégradation des forêts.....6

I.1.5. Les formes de la dégradation de la forêt.....7

I.1.6. Les causes principales de la dégradation.....8

I.1.7. Les conséquences de la dégradation..... 12

I.2. Notions fondamentales sur la Télédétection et les SIG.....14

Conclusion.....18

Chapitre II : Présentation générale des zones d'étude

II-1. Forêt de Belezma..... 19

II.1.1. Localisation géographique 19

II.1.2. Les altitudes.....21

II.1.3. Les pentes et les expositions.....22

II.1.4. Géologie de la zone.....23

II.1.4.1.1. Pétrographie.....24

II.1.5. Cadre édaphique.....25

II.1.6. L'hydrographie.....25

II.1.7. Le couvert végétal.....26

II.2. Forêt de Guettiane.....26

II.2.1. Localisation géographique.....26

II.2.2. Les altitudes.....	27
II.2.3. Les pentes et les expositions.....	28
II.2.4. Cadre géologique.....	30
II.2.5. Cadre édaphique.....	30
II.2.6. Cadre hydrologique.....	31
II.2.7. Caractéristiques floristiques.....	32
II.3. Etude climatique	34

Chapitre III : Suivi des changements de l'occupation du sol dans la forêt de Belezma et de Guettiane

Introduction.....	42
III.1. Données utilisées.....	42
III.2. Prétraitement et correction des images.....	42
III.3. Missions de prospection et de reconnaissance du terrain.....	43
III.4. Classification.....	44
III.5. Validation de la classification.....	44
III.6. Résultat et discussion.....	46
III.6.1. Forêt de Belezma.....	46
III.6.1.1 Etat d'occupation du sol en 1986.....	50
III.6.1.2. Etat de l'occupation du sol en 2000.....	50
III.6.1.3. Etat de l'occupation du sol en 2017.....	51
III.6.1.4. Les différents changements détectés entre 1986, 2000 et 2017.....	51
III.6.1.5. Analyse du changement des unités d'occupation du sol entre 1986 et 2017	54
III.6.2. Forêt de Guettiane.....	60
III.6.2.1. Etat d'occupation du sol en 1986.....	64
III.6.2.2. Etat d'occupation du sol en 2000.....	64
III.6.2.3. Etat d'occupation du sol en 2017.....	64
III.6.2.4. Les différents changements détectés entre 1986, 2000 et 2017.....	65

III.6.2.5. Analyse du changement des unités d'occupation du sol entre 1986 et 2017.....68

Conclusion.....74

Chapitre IV : Etude et suivi diachronique de l'état des changements du couvert végétal de Belezma et de Guettiane-Approche indicielle

Introduction.....75

IV.1. Données.....75

IV.2. Méthodologie de travail.....77

IV.2.1. Les corrections géométriques.....78

IV.2.2. Choix de la composition colorée et application d'un masque.....78

IV.2.3. Calcul des indices.....81

IV.3. Résultat et discussion.....84

IV.3.1. L'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).....84

IV.3.2. Résultat de l'indice NDWI.....88

IV.3.3. Estimation de la température de surface (forêt de Belezma).....94

IV.3.4. Corrélation entre la température de surface du sol (LST) et l'indice normalisé de végétation (NDVI)96

IV.3.5. Résultats de l'NDWI pour la forêt de Guettiane98

IV.3.6. Résultats de l'NDVI pour la forêt de Guettiane.....100

IV.3.7. Estimation de la température de surface (forêt de Guettiane)102

IV.3.8. Corrélation entre la température de surface de sol (LST) et l'indice de végétation normalisé (NDVI)104

Conclusion.....106

Chapitre V : Diagnostic phytoécologique des cédraies de Belezma et de Guettiane

Introduction.....107

V.1. Méthodologie de travail.....107

V.2. Résultats et discussion.....	109
V.2.1. Belezma.....	110
V.2.1.1. Richesse par famille.....	110
V.2.1.2. Type biologique.....	111
V.2.1.3. Caractéristiques biogéographiques.....	113
V.2.2. Guettiane.....	115
V.2.2.1. Richesse par famille.....	115
V.2.2.2. Type biologique.....	116
V.2.2.3. Caractéristiques biogéographiques.....	117
V.2.3. Indice de perturbation.....	118
V.2.4. Analyse Factorielle des Correspondances (AFC).....	119
V.2.4.1. Significations écologiques des axes	119
VI.2.5. Classification ascendante hiérarchique (CAH).....	126
Conclusion.....	131

Chapitre VI : Cartographie de la vulnérabilité à la dégradation des forêts (Belezma et Guettiane)

Introduction.....	132
VI.1. Notion de vulnérabilité	133
VI.2. Données utilisées.....	134
VII.3. Démarche d'étude pour cartographier la vulnérabilité à la dégradation des forêts...	134
VII.4. Résultats et discussion.....	141
VII.4.1. La forêt de Belezma.....	141
VII.4.1.1. Critère de décision.....	141

VII. 4.1.2. Carte de vulnérabilité.....	144
VII.4.2. La forêt de Guettiane.....	146
VII.4.2.1. Critère de décision.....	146
VII. 4.2.2 Carte de vulnérabilité.....	148
VII.5. Des programmes pour la conservation de la biodiversité et lutte contre la dégradation.....	149
VII.5-1. Proposition des techniques d'aménagement pour conserver les forêts contre la dégradation du leur patrimoine forestier.....	151
Conclusion.....	156
Conclusion générale.....	157

Références bibliographiques

Annexe

Résumé



Introduction générale

Introduction générale

Les écosystèmes naturels terrestres de Méditerranée, riches en biodiversité notamment endémique, connaissent au Nord un retour plus ou moins vigoureux de la forêt du fait de l'abandon de terres agricoles marginales et d'importantes campagnes de reboisement (FAO, 2013). La biodiversité du bassin méditerranéen est exceptionnelle. Dans le cas des espèces d'arbres et de buissons, par exemple, la région Méditerranéenne, qui ne représente pas plus de 1,8 % de la surface boisée mondiale, abrite 290 essences forestières contre seulement 135 pour le reste de l'Europe (Gauquelin *et al.*, 2016).

Les forêts méditerranéennes ont été historiquement modifiées par les incendies, les humains (avec leur bétail et leurs outils), et plus récemment par le changement climatique et global. La dynamique des forêts peut être comprise comme une série de réponses et de rétroactions aux activités et systèmes anthropiques. La surexploitation et la protection globale peuvent diminuer l'attrait et l'utilité économique de ces écosystèmes terrestres (Peñuelas *et al.*, 2017).

Au Sud, les pressions sur ces écosystèmes forestiers demeurent encore très fortes, notamment au Maghreb, en raison du défrichement et de la mise en culture de terres marginales et du surpâturage. Étroitement intégrés à l'économie locale et régionale depuis l'Antiquité, les usages traditionnels des espaces boisés et pastoraux sont donc de plus en plus délaissés au Nord mais encore essentiels au Sud. Les services écosystémiques fournis par ces espaces sont de plus en plus reconnus: protection des eaux et des sols, lutte contre l'érosion et la désertification, fourniture d'espaces récréatifs, séquestration de gaz à effet de serre et protection de la biodiversité. Ces services sont cependant menacés par: la surexploitation au Sud, les risques de feux de forêts croissants au Nord en raison du recul du pâturage et de l'embroussaillage ainsi que de l'accroissement de la longueur et de l'aridité des périodes sèches lié au changement climatique (FAO, 2013).

Les forêts méditerranéennes constituent un milieu naturel fragile déjà profondément perturbé, et leur conservation ne peut être assurée que si gestionnaires et utilisateurs prennent clairement conscience de leur importance écologique et économique, ce qui n'est malheureusement pas souvent le cas (Quezel et Barbero, 1990). La place de l'Homme dans l'environnement méditerranéen apparaît plus que jamais comme déterminante, puisque ses impacts et ses choix de gestion déterminent le maintien de la forte biodiversité du bassin méditerranéen. Constitué de 10 hotspots régionaux et une cinquantaine de zones refuges, la

région méditerranéenne est fragilisée par la rapidité et l'ampleur des changements environnementaux en cours ou prévus à court terme (Médail et Diadema, 2006).

Les écosystèmes terrestres sont impactés non seulement par les effets directs du changement climatique (réchauffement, sécheresse) mais aussi par les changements liés à l'utilisation des sols (y compris l'abandon des pâturages et de l'agriculture extensive dans certaines régions isolées et montagneuses) et à l'urbanisation, qui entraîne une fragmentation du paysage (Peñuelas *et al.*, 2017).

Dans les écosystèmes arides, semi-arides et subhumides, les cycles hydrauliques, et énergétiques ont des caractéristiques particulières en raison de l'insuffisance, de l'irrégularité et de la nature des précipitations tombant en averses intenses et concentrées sur quelques jours de l'année et aussi en raison de l'abondance du rayonnement solaire et de la grande évapotranspiration (Nahal, 2004).

L'Afrique du Nord offre un large éventail d'écosystèmes forestiers rappelant, pour certains, les formations du midi méditerranéen français. Depuis plusieurs décennies ces groupements ont fait l'objet d'études phytosociologiques et phytoécologiques nombreuses. Dans un contexte où la pression anthropique est extrême, ces forêts représentent un potentiel important tant pour l'industrie forestière que pour la sauvegarde de l'environnement (Bonin, 1994).

En Algérie, la forêt revêt un caractère particulièrement important car elle constitue un élément essentiel de l'équilibre écologique et socio-économique des régions rurales en particulier et du pays en général. Nulle part ailleurs, la forêt n'apparaît aussi nécessaire à la protection contre l'érosion, la désertification, à l'amélioration des activités agricoles et pastorales et à la protection de l'environnement (Ferka zazou, 2006).

L'analyse de la biodiversité végétale des forêts des Aurès et de Belezma, la dynamique de la végétation, la dégradation des terres et désertification, et le dépérissement du cèdre qui constitue un problème inquiétant au niveau de nos forêts, notamment, les Aurès, Belezma et Guettiane, ont fait l'objet de plusieurs études (Abdessemed, 1981 ;1984 ; Bentouati, 2008 ; Benmessaoud, 2009 ; Beghami, 2012 ; Gouaref, 2012 ; Kherchouche *et al.*, 2012 ; 2013; 2019 ; Bouzekri, 2014 ; Slimani *et al.*, 2014; Belloula, 2020).

Dans les régions arides et semi-arides, les sécheresses provoquent une hausse de la mortalité des essences forestières et entraînent une dégradation et une distribution spatiale

réduite de tous les écosystèmes forestiers, notamment chez le cèdre de l'Atlas au Maroc (Linars, 2011) ou en Algérie (Slimani *et al.*, 2014).

Ces dernières années, les cédraies de Belezma, de Guettiane et des Aurès ont souffert d'un dépérissement inquiétant avec un taux de mortalité alarmant, Kherchouche et al (2013) signala que ce phénomène de dépérissement n'est pas nouveau dans ces massifs, selon plusieurs auteurs, la cédraie a connu deux épisodes à très forte mortalité en 1880 et 1979. Cette espèce *Cedrus atlantica* (Manetti), endémique de l'Afrique du Nord (Algérie et Maroc), qui a subi une forte dégradation et une réduction de sa répartition dans le temps. Elle est à présent classée par l'UICN dans la liste des espèces en danger.

La dégradation des forêts de Belezma et de Guettiane est un problème inquiétant. Dont, le dépérissement de cèdre, la sécheresse, les insectes ravageurs, les incendies et les activités anthropiques (notamment le surpâturage) sont considérés comme des facteurs principaux qui provoquent cette dégradation. Dans ce contexte, on va répondre sur les questions suivantes :

- Quels sont les changements importants enregistrés dans ces écosystèmes durant la période 1986 à 2017 ?
- Quelle est l'état actuel de ces écosystèmes forestiers?
- Quels sont les facteurs responsables de cette dégradation?
- La dernière question sur laquelle on doit répondre est l'état actuel de la biodiversité végétale de ces cédraies?

L'objectif principal de ce travail est l'évaluation de cette dégradation par le diagnostic phytoécologique, le suivi de la végétation et la détection des changements à partir des cartes thématiques des indices et des cartes d'occupation du sol et enfin la réalisation de la carte de la vulnérabilité à la dégradation du couvert végétal des cédraies de Belezma et de Guettiane.



Chapitre I : Cadre théorique de la recherche

Introduction

Nombreux sont ceux qui se sont intéressés à la végétation méditerranéenne, phytosociologues, phytogéographes et forestiers ont été frappés par l'équilibre instable des forêts méditerranéennes et ce d'autant plus qu'elles sont soumises à un climat rigoureux, et manifestent plutôt une tendance à se dégrader vers des formations clairsemées et à évoluer vers le matorral ou la steppe graminéenne (Benabadji *et al.*, 2007).

En fait, la biodiversité végétale méditerranéenne est le produit, pour beaucoup, d'une utilisation traditionnelle et harmonieuse du milieu par l'homme. Cependant, depuis la fin du XIX^e siècle, cet équilibre a été perturbé soit par la surexploitation, soit par la déprise, dont les résultats, sans être identiques, n'en sont pas moins aussi dommageables du point de vue de la conservation des espèces et des habitats (Quézel *et al.*, 1999).

Les changements de l'environnement impliquent la mise en œuvre de nouvelles méthodes d'évaluation. Parmi ces méthodes, la télédétection présente un intérêt particulier, grâce à ses caractéristiques essentielles d'enregistrement et d'analyse. La télédétection, qui permet une vision globale des phénomènes, et en même temps le moyen d'étude privilégié pour contribuer à assurer une meilleure gestion de l'environnement. Les satellites d'observation de la terre ont été fort utiles pour révéler les traumatismes régionaux ou continentaux et les données multitudes acquises nous ont informés sur des signes de dégradation de l'environnement dans plusieurs régions du monde (Julian, 1996).

1. Connaissance de base sur la forêt et la dégradation

1.1. Définition de la forêt

Il est important de définir ce qui est considéré comme forêt avant de définir ce qui sera considéré comme dégradation. FAO (2012), définit la forêt comme terres occupant une superficie de plus de 0,5 hectares avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à 5 mètres et un couvert forestier de plus de 10 pour cent, ou avec des arbres capables d'atteindre ces seuils in situ. Sont exclues les terres à vocation agricole ou urbaine prédominante.

1.2. La forêt algérienne

L'Algérie fait partie intégrante du bassin méditerranéen, l'un des berceaux des plus anciennes civilisations au monde et l'une des régions où les ressources naturelles (faune, sol, végétation) ont fait l'objet de sollicitations précoces. Ce qui n'a pas été sans répercussions sur leur bon état et leur pérennité. Comme dans toute la région méditerranéenne, l'Algérie a connu

des agressions humaines contre son milieu naturel et par conséquent une destruction de la flore et de la faune (Louni, 1994).

Actuellement le couvert forestier global en Algérie est de 4,1 millions d'hectares soit un taux de boisement de 16,4% pour le Nord de l'Algérie et de 1,7 % seulement si les régions sahariennes sont également prises en considération. Néanmoins seuls 1.3 millions d'hectares représentent la vraie forêt naturelle. A l'instar des pays du pourtour méditerranéen l'Algérie assiste à une dégradation intense de son patrimoine forestier (Ferka zazou, 2006).

Les types de formations forestières :

La répartition du total des 4 115 908 Ha de terres forestières par types de formations forestières fait apparaître :

- La prédominance des maquis et des maquis arborés qui couvrent 2 413 090 Ha (soit 58,7% du total des formations forestières) et qui se répartissent en : - Maquis clairs = 1 262 118 Ha (74% des maquis) ; - Maquis denses = 444 609 Ha (26% des maquis) ; - Maquis arboré clairs 435 940 Ha (62% des maquis) ; - Maquis arborés denses 270 423 Ha (38% des maquis). Ces chiffres témoignent de l'état de dégradation des forêts réduites sur 58,7% de leur superficie en maquis et maquis arborés qui sont en grande partie à faible densité, d'où des besoins importants en reconstitution des forêts par reboisement des maquis et des maquis arborés dans des buts de renforcement de leur rôle de protection et de production.

- Les forêts proprement dites (forêts et reboisements) couvrent 1 702 818 ha (FAO, 2012).

Selon Ghazi (2009), la forêt algérienne de type essentiellement méditerranéen, qui se trouve dans une situation de dégradation, présente plusieurs faciès en allant du Nord vers le Sud. Les principales zones forestières au nombre de trois sont:

- La zone littorale et les chaînes côtières notamment à l'Est du pays couvertes par des forêts équiennes, constituées principalement de peuplements de chêne liège et de chêne zeen qui sont considérées comme des peuplements destinés à la production de liège et de bois d'œuvre. Ce type de forêts constitue une source de revenu appréciable à l'échelle de l'économie locale ;
- Les reliefs de l'Atlas tellien qui comprend les grands massifs de pin d'Alep et de chêne vert ;

- L'Atlas saharien dont la couverture forestière est plus ou moins clairsemée renferme les grands massifs des Aurès à base de pin d'Alep et de cèdre à plus de 1200m.

1.3. Définition de la dégradation

La dégradation est définie par les changements qui influent négativement sur la forêt.

La dégradation des forêts implique des changements – (couverture, hauteurs des arbres etc.) qui implique une modification de la classe de l'unité cartographique que si son taux de couvert forestier décroît en dessous de la valeur minimale de sa définition.

Selon FAO (2012), la dégradation des forêts est la diminution de la capacité d'une forêt à fournir des produits et services.

La déforestation

La déforestation implique une réduction, soit de la couverture, soit de la hauteur des arbres, en dessous des seuils qui définissent une forêt dans une unité cartographique (Eva *et al.*, 2017).

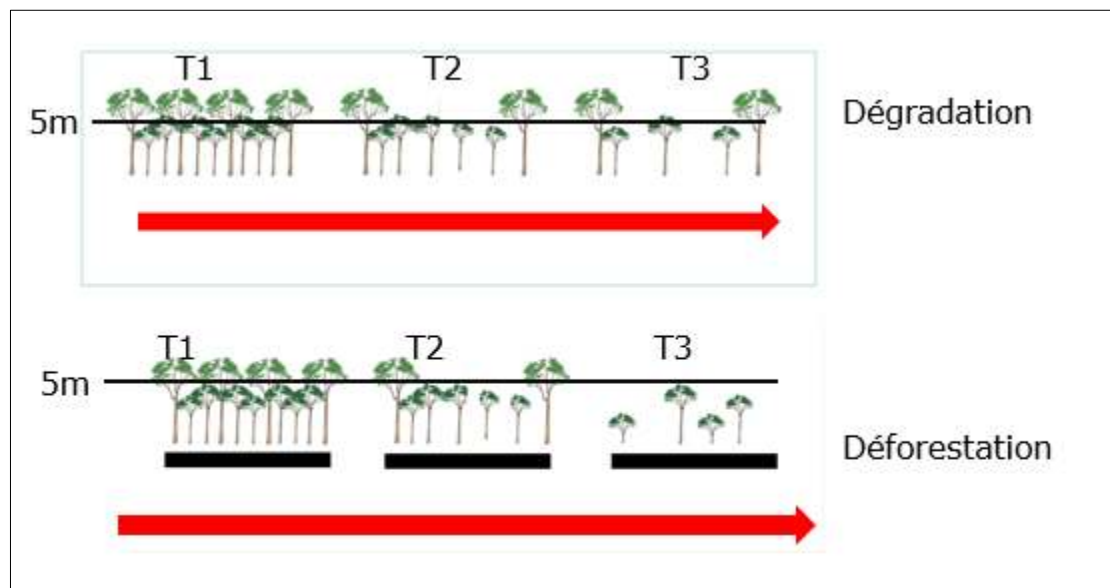


Figure 01 : Trajectoires temporelles montrant la différence entre la déforestation et la dégradation (Eva *et al.*, 2017).

1.4. Processus de la dégradation des forêts

La dégradation des forêts est définie par les changements qui influent négativement sur le peuplement forestier, en réduisant en particulier la capacité de production (quantité, qualité et volume) (Christophe, 2009).

Par conséquent, la dégradation des forêts n'est pas à confondre avec la déforestation. La déforestation correspond à une nette conversion des terres forestières qui passent à d'autres usages avec réduction du couvert forestier à une densité inférieure à 10 pour cent (Christophe, 2009).

La dégradation de la forêt se distingue de la déforestation laquelle dénote un processus de changement avec un passage de la « forêt » à la « non forêt ». Selon la classification utilisée par le programme d'évaluation globale des ressources forestières de la FAO, la « non forêt » peut correspondre soit à d'autres terres boisées (Markku, 2009).

1.5. Les formes de la dégradation de la forêt

Les formations végétales qui représentent les différents stades de dégradation de la forêt sont : les matorrals, les maquis, les garrigues et les pelouses.

1.5.1. Les matorrals

Formation spontanée de végétaux ligneux, ramifiés ou non dès la base, n'excédant pas 5-6 mètres de hauteur et dont la structure et la composition floristique ne correspondent pas en général à une végétation climacique : inféodés aux séries de végétation des étages semi-arides à perhumide, les matorrals ont surtout pour origine les incendies et les coupes de bois abusives conjugués à la pression pastorale (Bourbouze et Donadieu, 1987).

1.5.2. Les maquis

Le maquis est qualifié, d'un point de vue phytosociologique, comme un stade transitoire d'une succession évolutive qui a comme climax la forêt de Chêne vert (*Quercus ilex* L.) (Lavisci *et al.*, 1989). Il s'agit de formations ligneuses fermées, plus hautes que les garrigues mais sur substratum siliceux (Rouchiche et Abid, 2003), (3-10m) à base de bruyère (*Erica*), Genêt d'Espagne, Ciste. Cette dernière est souvent issue de la dégradation de la forêt de chêne liège (Nicolau, 2005).

En 2008, Ramade définit le maquis comme une Phytocœnose méditerranéenne dégradée constituée de pyrophytes qui croît sur terrain acide après destruction de la forêt. Elle se caractérise par des espèces ligneuses silicicoles telles que les bruyères et les euphorbes arborescentes.

1.5.3. Les garrigues

Les garrigues sont des formations sclérophylles calcicoles qui contribuent largement à l'élaboration des paysages méditerranéens. Ce sont des écosystèmes typiques se développant surtout sur les versants secs, calcaires (Nicolau, 2005). Maquis et garrigues arborées ce sont des formations particulières, associant par tâches certaines espèces forestières arborées (pins, chênes, etc.) à d'autres espèces arbustives (lentisque, arbousier, chêne kermès, chêne vert, romarin, genévrier, thuya, etc.) se trouvant en sous étage (Rouchiche et Abid, 2003).

Selon Ramade (2008), la garrigue est une formation végétale dégradée qui croît sur des sols calcaires après destruction des forêts méditerranéennes. Elle constitue un stade de la succession régressive due au passage récurrent du feu. En l'absence d'incendie, elle fait retour à un climax forestier de pins, puis à plus long terme de chênes.

1.5.4. Les pelouses

Formation végétale constituée par des touffes rases de graminées et autres plantes herbacées vivaces, en rosette ou cespiteuses (Ramade, 2008).

Les pelouses constituent des stades dégradés (régressifs ou progressifs) dans un grand nombre de séquences dynamiques (Le houerou, 1980). La pelouse est une formation herbacée basse, inférieure en général à 0,30m, dominée par les hémicryptophytes, les chaméphytes herbacées et les géophytes (Bourbouze et Donadiou, 1987). Elles peuvent résulter soit du déboisement soit de l'abandon des terres cultivées. Elles constituent souvent des pâturages de meilleure qualité et plus productifs que ceux de forêt ou de garrigue (Le houerou, 1980).

1.6. Les causes principales de la dégradation

La forêt algérienne fait face depuis plusieurs décennies à une accentuation des facteurs de dégradation soit naturelle ou anthropique comme la sécheresse, les incendies, le surpâturage, déboisement, les défrichements, etc.

1.6.1. La sécheresse

L'Algérie est justement l'un des pays les plus touchés par les phénomènes de sécheresse (pluie de moins en moins abondantes) (Abd el guerfi, 2003a). Située dans une zone de transition, entre les régimes tempérés et subtropicaux, l'Algérie présente une grande sensibilité au climat à cause de la grande variabilité des pluies saisonnières et annuelles (Abd el guerfi, 2003a).

Pour ces dernières décennies, une hausse des températures et une baisse des précipitations sur l'ensemble du pays. La sécheresse en bouleversant l'équilibre entre les êtres vivants, favorise l'effondrement des habitats, entraînant ainsi la disparition progressive de la végétation, puis des animaux, pour se solder par l'installation des déserts (Abd el guerfi, 2003a). L'impact de la sécheresse sur la forêt prend aussi d'autres formes. Ainsi en plus de l'altération des équilibres naturels, de la recrudescence des incendies et de la réduction de la faune terrestre et piscicole, l'affaiblissement des arbres favorise la prolifération des attaques parasitaires et réduit les possibilités de renouvellement de la forêt (Narjisse *et al.*, 2001).

1.6.2. Incendies de forêts

L'incendie représente sans aucun doute le facteur de dégradation le plus ravageur de la forêt en Algérie (Meddour *et al.*, 2008).



Figure 02 : Forêt incendiée Bordjem- Belezma (Barbache, 2014).

Chaque année, en moyenne, 12% des superficies forestières (48 000 ha) sont parcourus par les incendies. Les feux de forêt sont à l'origine des dégâts parfois irréversibles en termes de biodiversité (destruction des biotopes de la faune sauvage). Pour la seule période 2004-2008, les incendies ont ravagé près de 140 515 ha en superficies forestières (Chenouf *et al.*, 2009).

1.6.3. Le surpâturage

Depuis la plus haute antiquité, la forêt méditerranéenne assure une production fourragère appréciable, qui est utilisée par les troupeaux. Cette pâture en forêt est traditionnelle et s'exerce souvent sous forme de transhumance, notamment au sud de la Méditerranée (Quezel et Barbero, 1990).

C'est l'un des facteurs dont les effets sont apparemment peu spectaculaires par rapport aux coupes et aux incendies mais dont les conséquences ne sont pas moins redoutables (Abdessemed, 1984). La végétation diminue progressivement et finit par disparaître. Seules les plantes délaissées par les animaux colonisent les parcours, mais elles sont généralement sans grand intérêt pour la protection des sols (petits épineux, etc.) (Abd el guerfi, 2003b). Avec l'accroissement démographique et par suite de la sédentarisation d'une grande partie de la population et de la réduction de l'amplitude de la transhumance, des modes d'exploitation agro-pastoraux se sont substitués aux modes pastoraux traditionnels et ont engendré une rupture de cet équilibre (Abd el guerfi, 2003b).



Figure 03 : Le pâturage dans la forêt de Belezma- Bordjem (Barbache, 2014).

1.6.4. La pression démographique

Depuis des siècles, la nature n'a jamais connu une destruction aussi massive des ressources naturelles et des bouleversements écologiques que durant cette période contemporaine. Le développement socio-économique croissant, avec la conception de la vie moderne, a laissé l'homme exploiter beaucoup plus, et d'une façon anarchique et irrationnelle, les ressources naturelles (Abd el guerfi, 2003a).

Lorsque la pression démographique s'accroît, elle aboutit à l'augmentation des besoins socioéconomique donc, les populations vont exercer une pression directe sur les ressources forestières (besoins en bois, pâturage en forêt, agriculture et expansion urbaine), ce qui accroîtra les menaces qui influent sur les écosystèmes forestiers.

1.6.5. Les défrichements

C'est l'action la plus brutale. Que ce soit par brûlis ou par traction mécanique, la mise en culture détruit totalement la végétation naturelle. Les sols défrichés, perdant rapidement leur fertilité, sont laissés en jachère et ils ne peuvent remonter à leur niveau antérieur tant que ces jachères steppisées sont pâturées (Abd el guerfi, 2003a). Les populations montagnardes, privées de surfaces agricoles et marginalisées procèdent à des labours à la lisière des forêts. Ces pratiques, outre qu'elles ont un effet désastreux sur les sols, provoquent des antagonismes permanents entre les riverains et l'administration forestière guidée par un souci de protection des forêts (Chenouf *et al.*, 2009).

1.6.6. Les problèmes phytosanitaires

Parmi les ravageurs forestiers, la chenille processionnaire du pin est celle qui pose le plus de problèmes par l'intensité et la récurrence des gradations. Les cibles préférées de l'insecte sont les jeunes plantations de pin d'Alep, notamment celles réalisées dans des zones marginales ou en dehors de l'aire de l'espèce. Le bombyx disparate, sur les chênes, et le *Phoracantha*, sur l'eucalyptus, sont également des ennemis redoutables qui occasionnent de grandes pertes (D.G.F, 2007).



Figure 04 : La chenille processionnaire dans la forêt de Belezma- Tuggurt (Barbache, 2015).

1.6.7. Déboisement et éradication des espèces ligneuses

L'état actuel de la dégradation des peuplements forestiers montre que la végétation ligneuse a été surexploitée (Abd el guerfi, 2003a). Suite à la hausse du prix du bois, les coupes illicites de bois de chauffage, de bois d'œuvre pour la construction et de bois d'ébénisterie (cèdre, chêne, orme, frêne, etc.) sont en augmentation. Ces coupes touchent les arbres ayant les meilleures caractéristiques phénotypiques et génétiques et éliminent les meilleurs porteurs de graines (Benderradji *et al.*, 2006).



Figure 05 : Les coupes illicites dans la forêt de Belezma-Bordjem (Barbache, 2014).

1.7. Les conséquences de la dégradation

1.7.1. L'érosion et l'accroissement du ruissellement

Depuis quelques décennies, l'Algérie est confrontée à une situation de dégradation écologique très avancée, caractérisée par une régression très significative du couvert végétal entraînant une intensification de l'érosion éolienne (désertification et ensablement) ainsi que l'érosion hydrique (envasement des barrages et perte des terres agricoles) (Abd el guerfi, 2003a).

Outre les pertes en sol, l'érosion entraîne une perte d'alimentation des nappes phréatiques (Chenouf *et al.*, 2009); L'eau n'arrivant plus à s'infiltrer et arrivant généralement après une période de dessiccation intense, tombe sur un sol de moins en moins structuré et ruisselle (Abdessemed, 1984).

1.7.2. La régression des surfaces

La dégradation de couvert végétal entraîne, pour sa part, une augmentation de la biodégradabilité de la matière organique du sol, et par conséquent une diminution de sa cohésion et de sa structure (Narjisse *et al.*, 2001). Le tassement par le piétinement des troupeaux, se traduit par une perturbation de la structure du sol, une réduction de la porosité et un colmatage dont les conséquences spectaculaires et les plus redoutables sont le ruissellement et l'érosion (Abdessemed, 1984).

1.7.3. Conséquences bioclimatiques

La dégradation de la biodiversité influence les changements climatiques qui à leur tour rendent les écosystèmes plus vulnérables et réduisent leur capacité en tant que puits importants de carbone. Ce qui entraîne une émission plus importante de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et exacerbe les changements climatiques (Abd el guerfi, 2003a). Toute modification à grande échelle du sol et de la végétation entraîne une transformation du bioclimat dans la région affectée (Abdessemed, 1984).

1.7.4. Conséquences socio-économiques

Les plus visibles et les plus spectaculaires sont les dégâts des inondations et des crues. Les inondations déposent également une forte couche de sédiments sur les terres agricoles et les condamnent ainsi, rendant leur mise en valeur très difficile et onéreuse (Abdessemed, 1984).

La réduction des capacités des barrages entraîne celle des surfaces irriguées qui entraîne à son tour une baisse de la production agricole. La réduction de la production agricole entraîne soit le sous-emploi, soit le développement d'autres spéculations dont l'élevage reste la principale. L'élevage ne fait qu'accentuer encore le processus de dégradation et on retombe dans un cercle vicieux (Abdessemed, 1984).

Une autre conséquence socioéconomique plus importante; l'exode rural après les pertes des terres cultivées à cause de l'érosion ou manque d'eau ce qui provoque le développement anarchique des villes et villages avec toutes les conséquences sociales que cela sous-entend.

1.7.5. Conséquences biocénétiques

La dégradation du couvert forestier entraîne sans doute la disparition de la biodiversité (soit animale ou végétale).

2. Notions fondamentales sur la Télédétection et les Systèmes d'information géographique

2.1. Le concept de la géomatique

C'est au début des années 70 qu'un ingénieur géographe employa pour la première fois le mot «géomatique» pour faire allusion au mariage des sciences de l'étude et des mesures de la terre avec l'informatique. Depuis cette période ce mot a fait son chemin. De nos jours, il est défini comme étant un champ d'activités qui a pour but d'intégrer les moyens d'acquisition et de gestion des données à référence spatiale. La référence spatiale a trait à la position des objets sur la terre (mesure quantitative, mesure qualitative ou une combinaison des deux). En d'autres termes, la géomatique peut être définie comme étant les sciences de la terre automatisées (Benie, 1998).

La géomatique fait appel de façon générale aux différentes disciplines. On peut citer entre autres : La télédétection, les SIG, la cartographie, le GPS, la photo-interprétation, etc.

2.2. Objectifs de la géomatique

Les données doivent être considérées comme une source d'information. Le choix des données, de leurs relations (en tenant compte de leur traitement, assemblage ou intégration, transformation, contexte) et de leur représentation permettant d'obtenir les informations désirées, s'appellent la modélisation (Benie, 1998).

Selon Benie (1998), La géomatique vise à:

- définir les bases de la référence spatiale ;
- développer et utiliser les méthodes, techniques et outils pour localiser et mesurer les différents éléments du territoire, existants ou à mettre en place ;

- intégrer ou rendre intégrables les données obtenues en fonction des systèmes de référence choisis (modélisation mathématique pour transformer un besoin du monde réel) ;
- offrir des données et informations de qualité ;
- améliorer leur traitement, stockage et diffusion grâce à l'informatique ;
- analyser différents scénarios décisionnels à partir des informations obtenues.

2.3. Télédétection spatiale

La télédétection est l'ensemble des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse et l'interprétation de phénomènes ou d'objets, e.g. les surfaces terrestres. Plus précisément, l'énergie du rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi par les objets, est mesurée à distance sans contact matériel, puis est analysée (Pelletier, 2017).

Initialement utilisés pour la reconnaissance militaire, les satellites sont dorénavant indispensables dans de nombreux domaines comme la géodésie, la météorologie ou encore l'étude du climat. Les milliers de satellites gravitant autour de la Terre jouent un rôle majeur dans notre vie quotidienne : les prévisions météorologiques, la télévision ou encore la localisation sur terre avec le système de positionnement globale (GPS) (Pelletier, 2017).

2.4. Apport de télédétection dans le domaine forestier :

Selon Trichon (2007), l'apport de la télédétection dans le domaine forestier se résume comme suit :

- Quantification précise des surfaces forestières et reconnaissance des types forestiers;
- Dynamique de déforestation et aspects socioéconomiques de l'utilisation des terres;
- Evaluation des biomasses;
- Etat physiologique du couvert lié à la réponse spectrale.

2.5. Processus de télédétection

Selon Delenne (2006), les étapes de la télédétection se représentent comme suit:

1. Source d'énergie ou d'illumination (A): à l'origine du processus de télédétection se trouve généralement une source d'énergie pour illuminer la cible. Ce n'est pas nécessaire, par

exemple, dans le cas de l'infrarouge thermique où la cible émet elle-même son rayonnement. La source et le capteur sont parfois confondus; il s'agit alors de capteurs actifs, tels que le Radar, qui envoient un signal sur la cible et en captent la partie réfléchié ;

2. Atmosphère (B): durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet retour entre la cible et le capteur ;

3. Cible (C): une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface. Par exemple, la surface lisse de l'eau en absence de vague est un réflecteur spéculaire des ondes radar: presque aucune information n'est retransmise au capteur et l'eau apparaît donc très sombre sur les images radar ;

4. Enregistrement de l'énergie par le capteur (D): une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle est captée à distance pour être enregistrée ;

5. Transmission, réception et traitement (E): l'énergie enregistrée par le capteur est transmise à une station de réception où l'information est transformée en images ;

Les images de télédétection sont composées d'une ou plusieurs bandes spectrales (ou canal) correspondant aux différentes longueurs d'onde captées. Une image en couleurs naturelles contient trois bandes spectrales dans les longueurs d'onde du rouge, du vert et du bleu. Une image est dite en panchromatique lorsqu'un seul canal contient l'information de tout le spectre visible. Pour visualiser des réflectances émises dans des longueurs d'onde non visibles à l'œil, on peut utiliser l'une des trois couleurs primaires. Par exemple, les images en fausse couleurs ou infrarouge couleur (IRC) contiennent du proche infrarouge, généralement représenté par la couleur rouge. Le rouge est alors codé en vert et le vert en bleu ;

6. Interprétation et analyse (F): une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible ;

7. Application (G): la dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

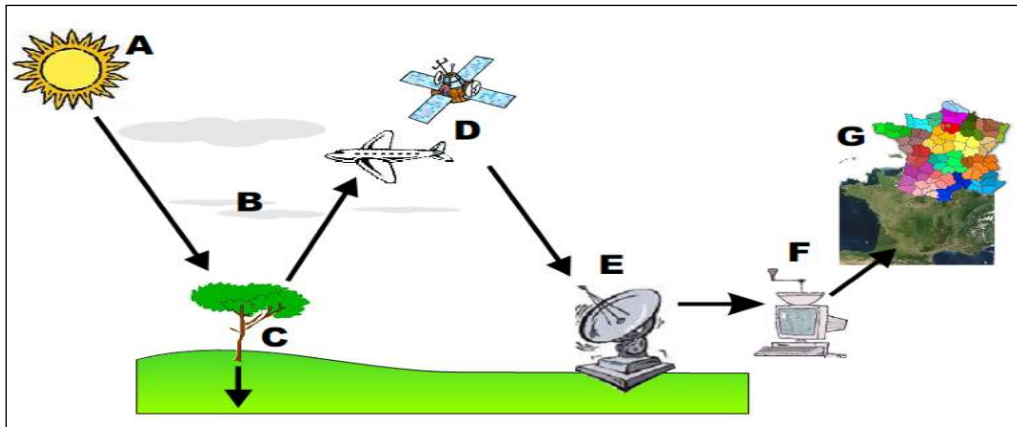


Figure 06: Processus de télédétection. A source d'énergie; B atmosphère; C cible; D capteur; E transmission, réception et traitement; F interprétation et analyse; G Application. (Delenne, 2006).

2.6. Signatures spectrales

Le rayonnement solaire qui n'est pas absorbé ou diffusé dans l'atmosphère peut atteindre la surface de la terre et interagir avec les objets environnants. Ceux-ci peuvent alors absorber, transmettre ou réfléchir tout ou partie de l'énergie qui les atteint (Delenne, 2006).

2.7. Résolution

La capacité de détection d'une chaîne d'acquisition à distance peut être quantifiée par les résolutions suivantes :

- La résolution spatiale ou géométrique est la distance la plus petite permettant de discriminer deux objets voisins. Cette distance correspond à la taille d'un pixel (Gomez, 2004) ;
- La résolution radiométrique d'un capteur décrit son potentiel de discrimination spectrale. L'énergie mesurée par le capteur est codée en niveau de gris, et plus la gamme des niveaux de gris utilisée est étendue, plus la résolution radiométrique est grande. La plupart des images sont codées sur un octet (soit 256 niveaux de gris) (Gomez, 2004) ;
- La résolution temporelle: laps de temps entre deux passages du capteur sur une même zone (Delenne, 2006);
- La résolution spectrale décrit la capacité d'un capteur à mesurer la réflectance dans des fenêtres de longueur d'onde comprises généralement entre 0.1 et 0.01 μ m. Si la résolution

spectrale est trop grossière, il ne sera alors pas possible de différencier les différents éléments présents au sein des pixels (Gomez, 2004).

Les capteurs passifs sont divisés en deux catégories: les capteurs multispectraux et les capteurs hyperspectraux. Les capteurs multispectraux ont une résolution spectrale d'environ 0.1 μ m, et mesurent le rayonnement dans une quinzaine de bandes spectrales au maximum, comprises dans le domaine du Visible, Proche Infrarouge, Infrarouge Moyen et Infrarouge Thermique. Les capteurs hyperspectraux ont une résolution spectrale plus fine de 0.01 μ m en moyenne, et mesurent le rayonnement dans une centaine de bandes spectrales. Les systèmes hyperspectraux mesurent le rayonnement uniquement dans le Visible, Proche Infrarouge et Infrarouge Moyen (Gomez, 2004).

Conclusion

La préservation des patrimoines naturels (sols, eaux, flore, faune) est une nécessité vitale pour la qualité du cadre de vie des citoyens et le développement socioéconomique du pays (Abd el guerfi, 2003b).

La forêt algérienne constitue une source importante de l'équilibre écologique et socioéconomique des régions rurales en particulier et du pays en général mais la pérennité de ces services écologiques et socioéconomiques exige la protection et la conservation des forêts contre les agressions naturelles ou anthropique en particulier les incendies, le surpâturage et les défrichements.

La télédétection est un domaine de recherche récent et en pleine expansion. Elle est utilisée dans de nombreux domaines : Gestion des forêts, urbanisme, agriculture, tourisme, aviation, géologie, génie civil, architecture, cadastre, assurances, immobilier, aménagement, gestion de l'environnement, archéologie, services municipaux et départementaux, service public, etc.



Chapitre II : Présentation générale des zones d'étude

1. La forêt de Belezma

1.1. Localisation géographique

L'étude a été réalisée dans le massif montagneux de Belezma situé sur la partie orientale de l'Algérie du Nord, au Nord-Ouest de Batna, Il présente une configuration allongée d'orientation Sud / Ouest, Nord / Est. Il est situé sur le territoire de la wilaya de Batna (35° 30' et 35° 45' N ; 5° 45' et 6° 20' E), d'une superficie de 34396,4 hectares et dépend des communes suivantes: Fesdis, Batna, Oued-Chaaba, Merouana, Oued el-ma, Hidoussa, Seriana, Djerma et Taxlent (Figure N°07).

Par sa position, c'est aussi un carrefour biogéographique, entre les massifs de l'Aurès à l'Est, les monts du Hodna à l'Ouest, les Hautes Plaines Constantinoises au Nord et les massifs de l'Atlas saharien au Sud (Sahli, 2004a).

Le Belezma est formé d'une série de plis plus ou moins parallèles. A l'Est le premier pli est constitué par trois Djebel au relief très escarpés : Le Dj. Touggour (2091m), Dj Boumerzoug (1778m), et Dj. Kasserou. Le second pli est constitué par la chaîne du Dj. Chellala qui prolonge au Nord Est par le Maaguel et au Sud-Ouest par les Dj. Bordjem et Tichao (2138m). A l'Ouest de Tichao et au-dessus de Merouana se dresse le pli du Dj. Refaa (2178m) (Abdessemed, 1981). L'équilibre écologique de la forêt de Belezma est menacé par sa position géographique proche du désert.

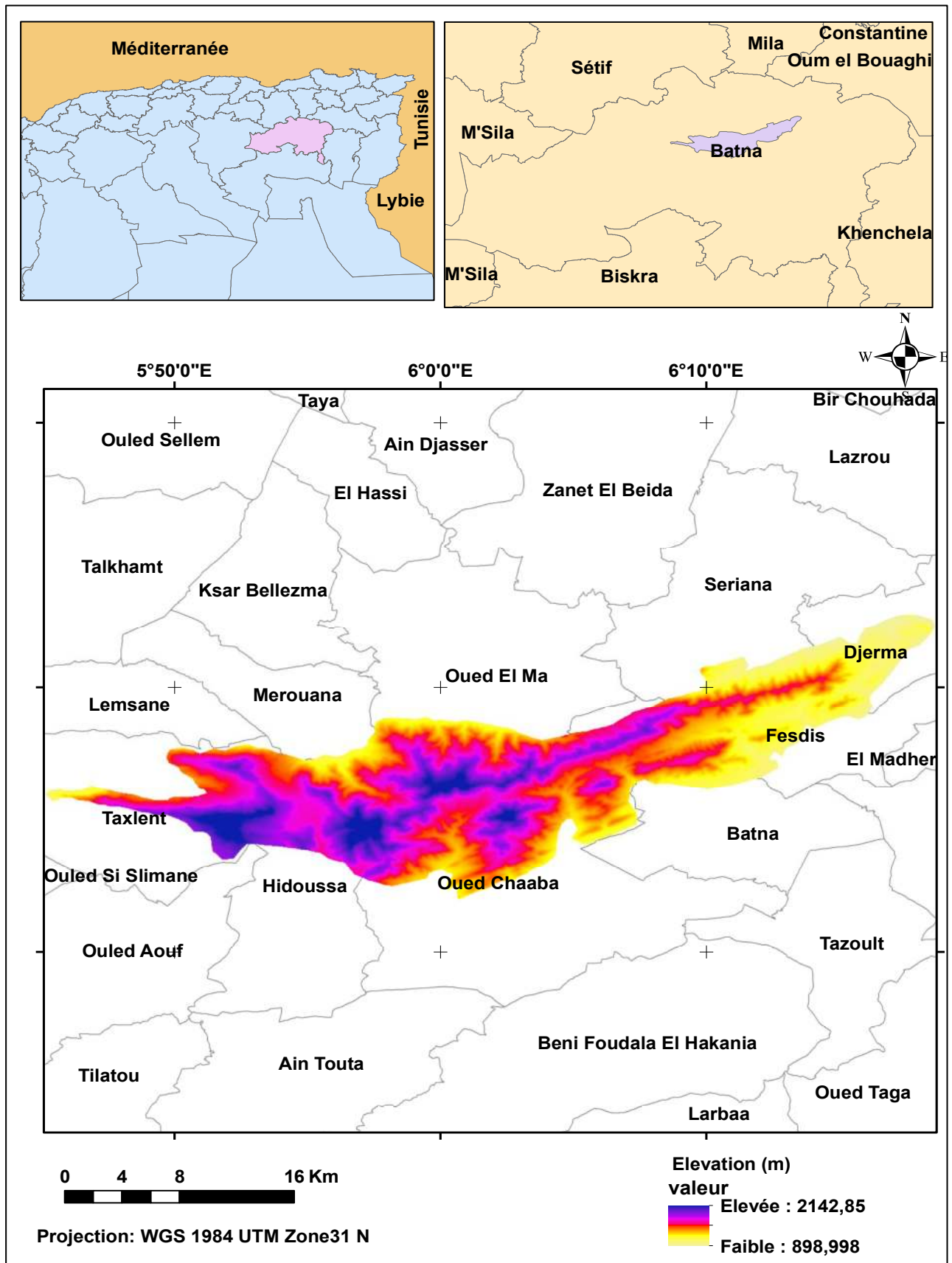


Figure 07 : Localisation géographique de la forêt de Belezma.

1.2. Les altitudes

Le relief des monts du Belezma est formé d'une série de petits massifs plissés et parallèles orientés du Sud-ouest au Nord-est. La région peut être subdivisée en deux grands ensembles. Le Belezma occidental beaucoup plus ample et comportant les massifs les plus élevés : Djebel TICHAO (2141 m), Djebel BORDJEM (2036 m), Djebel TUGGURT (2094 m), Djebel BOUMERZOUG (1778 m) dominant la plaine de MEROUANA (1000 m) au nord et la vallée de BATNA (1036 m) au Sud. Le Belezma oriental, nettement moins élevé, est pincé entre le Dj. METRASSI (1541 m) au Nord et le massif du BOU-ARIF, le plus septentrional des massifs de l'Aurès. L'altitude de ces montagnes s'abaisse progressivement d'Ouest en Est : Dj. KASSEROU (1641 m) et le Dj. TAKHARBI (1260 m) constituent les plis du Sud. Les Dj CHLAALA (1785 m), Dj. HARKAT (1809 m), Dj. BOUKERCHOUCH (1510 m), Dj. SARIF (1200 m) forment les plis du Nord (Sahli, 2004).

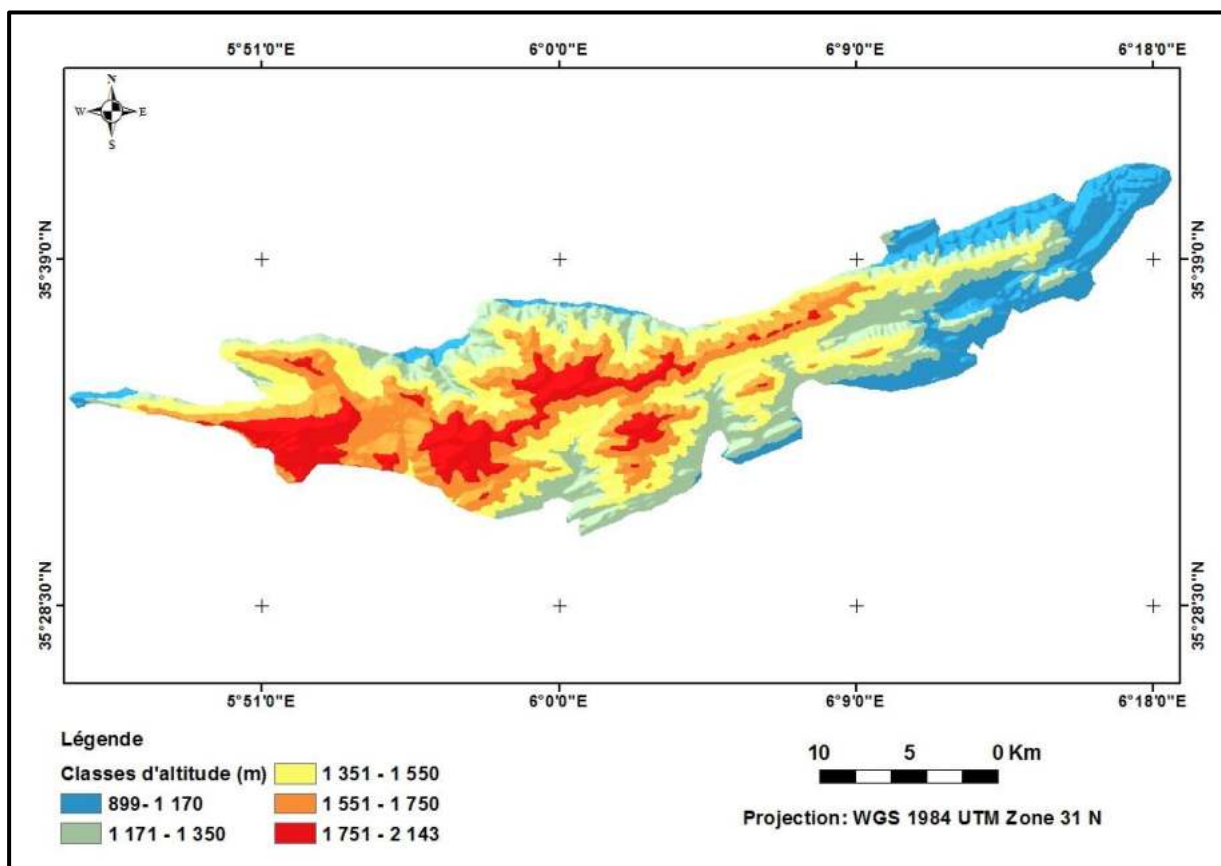


Figure 08: Carte des altitudes de la forêt de Belezma (extraite du modèle numérique du terrain MNT).

1.3. Les pentes et les expositions

Les cartes des pentes et des expositions sont établis à partir de l'MNT (model numérique du terrain). D'après la carte des expositions on peut constater que la majorité des expositions de la forêt de Belezma sont Nord et Est.

Concernant les pentes, la majorité sont des pentes fortes et très fortes se localisent dans les espaces forestières.

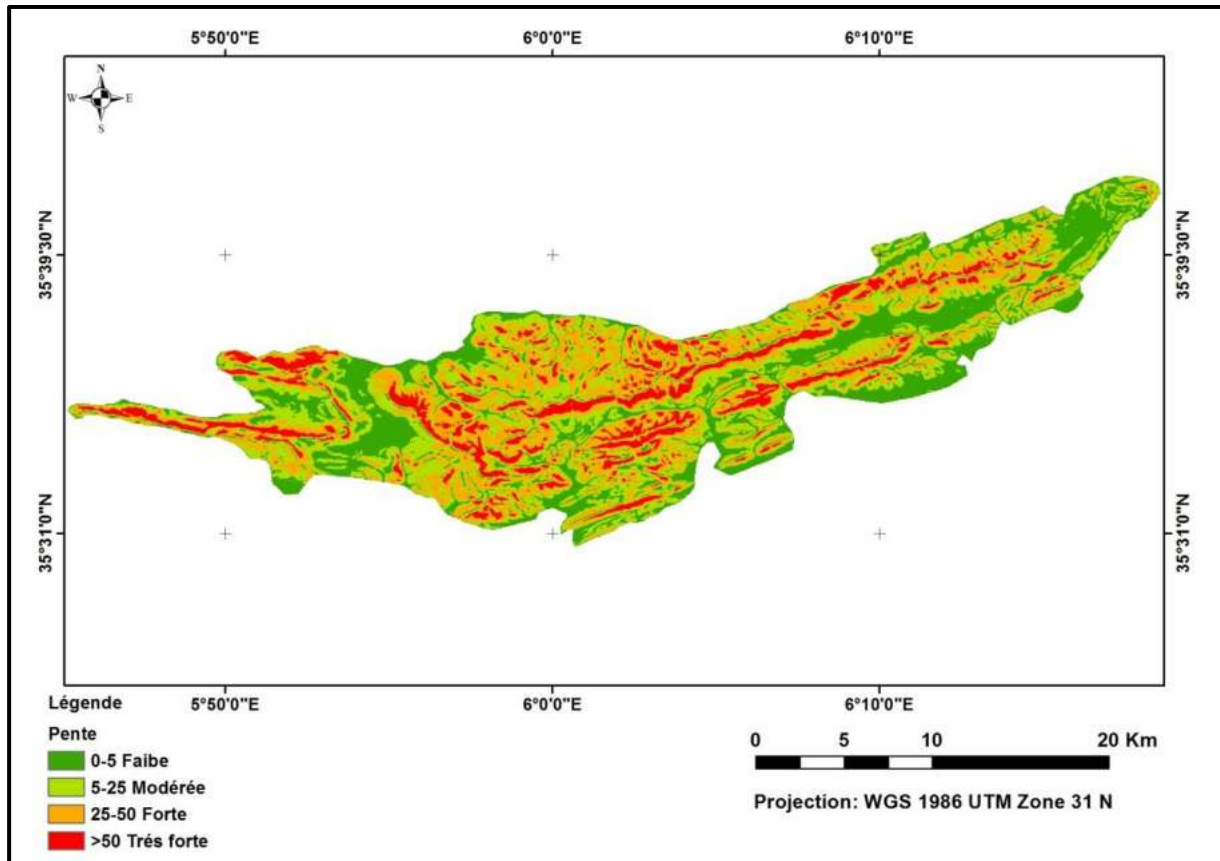


Figure 09 : La carte des pentes de la forêt de Belezma.

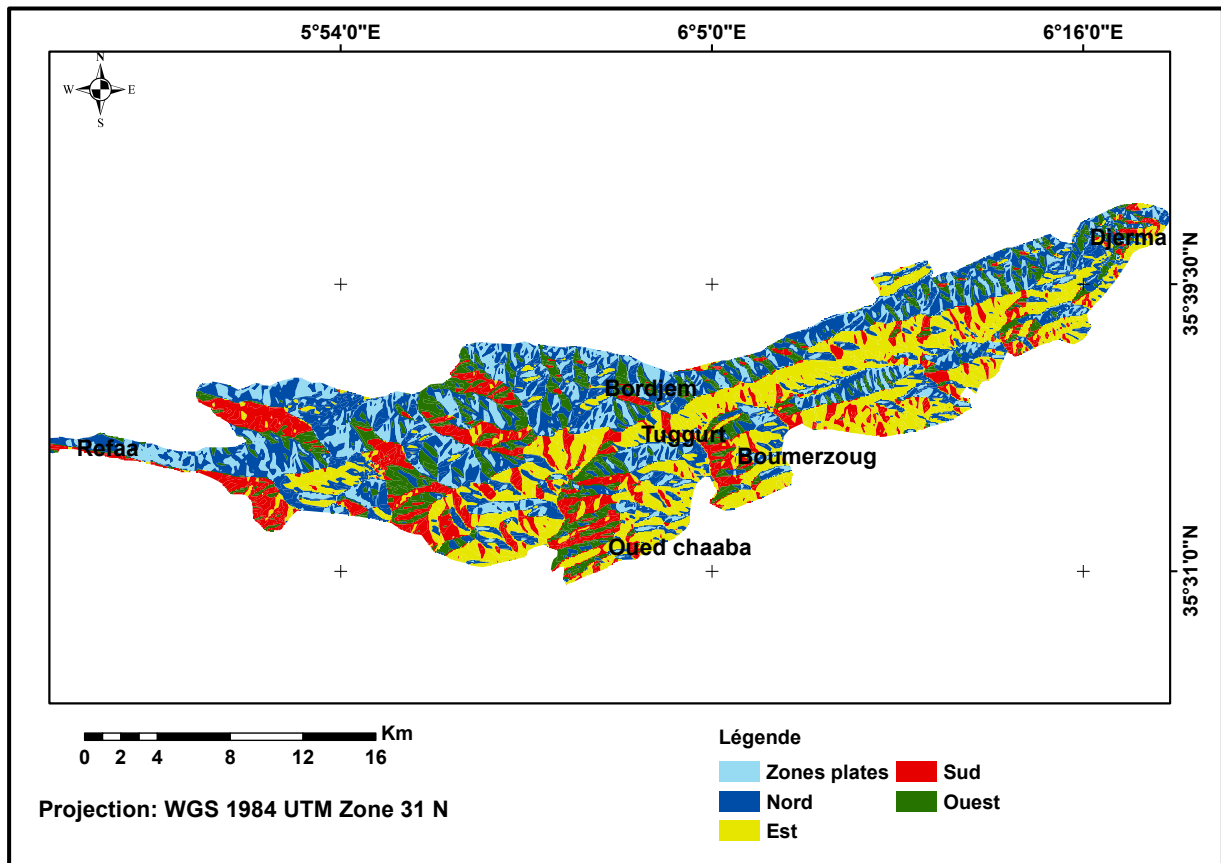


Figure 10 : La carte des expositions de la forêt de Belezma.

1.4. Géologie de la zone

La totalité des cédraies de l'Aurès et du Belezma, s'étendent sur des terrains secondaires (liasiques, jurassiques et crétacés) (Abdessemed, 1981).

1. Le jurassique : des accumulations de brèches, de marnes, de calcaire marneux et de dolomies, constituent la succession de cet étage. La partie supérieure est constituée de calcaire de plus en plus dolomitisé jusqu'à la dolomie pure (Abdessemed, 1981). Au Belezma il affleure Dj. Boumerzoug et Dj. Touggourt où il est constitué par des alternances de marnes et de calcaires (Abdessemed, 1981).

2. Le crétacé

2.1. Le crétacé inférieur

2.1.1. Le Valangien : est connu dans l'anticlinal du Belezma au-dessus du Bériasien. Il est formé de marnes gréseuses d'une épaisseur de 400 m environ (Abdessemed, 1981).

2.1.2. Le Hauterivien : Il se présente sous forme de calcaires de Toxaster, souvent dolomitisés qui forment les crêtes de Dj. Chellala, du Dj. Bordjem et les escarpements voisins, recouverts du cèdre (Abdessemed, 1981).

2.1.3. Le Barrémien : Les affleurements des étages antérieurs au Barrémien étaient assez largement répandus au Belezma. Il apparaît également sur les terminaisons periclinales sud des anticlinaux du Belezma et du Dj. Bouarif (Abdessemed, 1981).

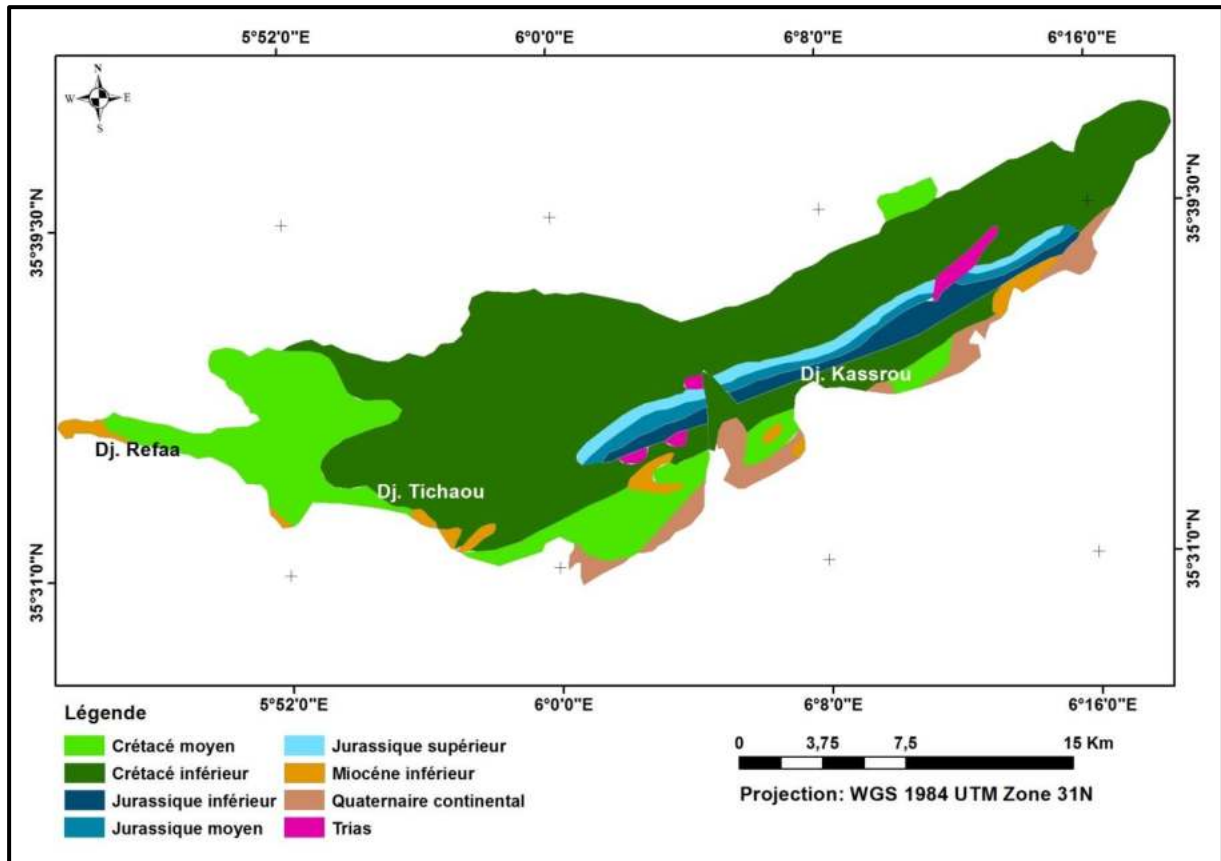


Figure 11 : Carte géologique de la forêt de Belezma (Extrait de la carte géologique de l'Algérie dressée par MM.P. Deleau et R. Laffitte, 1951).

1.4.1. Pétrographie

Au Belezma les cédraies centrales (Bordjem, Chellala, Telmet, Teniet-El-Gontos) se développent sur des grès ou des calcaires dolomitiques (Guellal et villa, 1977 in Abdessemed, 1981).

La cédraie de Boumerzoug repose sur des marnes dans la partie inférieure et des calcaires dans la partie supérieure. La cédraie de Dj. Tougourt repose sur des marnes dans la

partie inférieure et sur des calcaires dolomitiques dans sa partie centrale et des grés dans sa partie inférieure (Abdessemed, 1981).

1.5. Cadre édaphique

D'après Abdessemed (1981) les sols typiques du massif de Belezma sont :

Sols bruns calcaires : se localisant sur un support de substrat marneux-calcaire au niveau des bas versants des djebels Boumerzoug et Tuggurt au sein d'un spectre altitudinal de 1400 m et 1600 m.

Sols bruns faiblement calcaires : qui se localisent essentiellement au niveau du djebel Bordjem, Chelaala et Theneit El-Gontos sur substrat gréseux, et dans un spectre altitudinal allant de 1600 m à 2000 m.

Rendzines : ils évoluent à partir d'une altitude de 1600 m sur pentes fortes à djebel Tuggur et Tichaou, sur substrat calcaire.

1.6. L'hydrographie

Le réseau hydrographique du Belezma est constitué de dix oueds permanents et temporaires, dont une partie se déversant au Nord et l'autre vers le Sud.

-Réseau hydrographique Nord constitué de : Oued Ketami, Oued H'Rakta, Oued Enadjerime, Oued El Ma et Oued Châabet Islan ;

-Réseau hydrographique Sud constitué de : Oued Bouilef, Oued Nafla, Oued Châaba, Oued Hamla et Oued Skéne.

Les seuls Oueds permanents et à débit faible sont : Oued Châaba, Oued Bouilef et Oued Nafla (P.N.B, 2006).

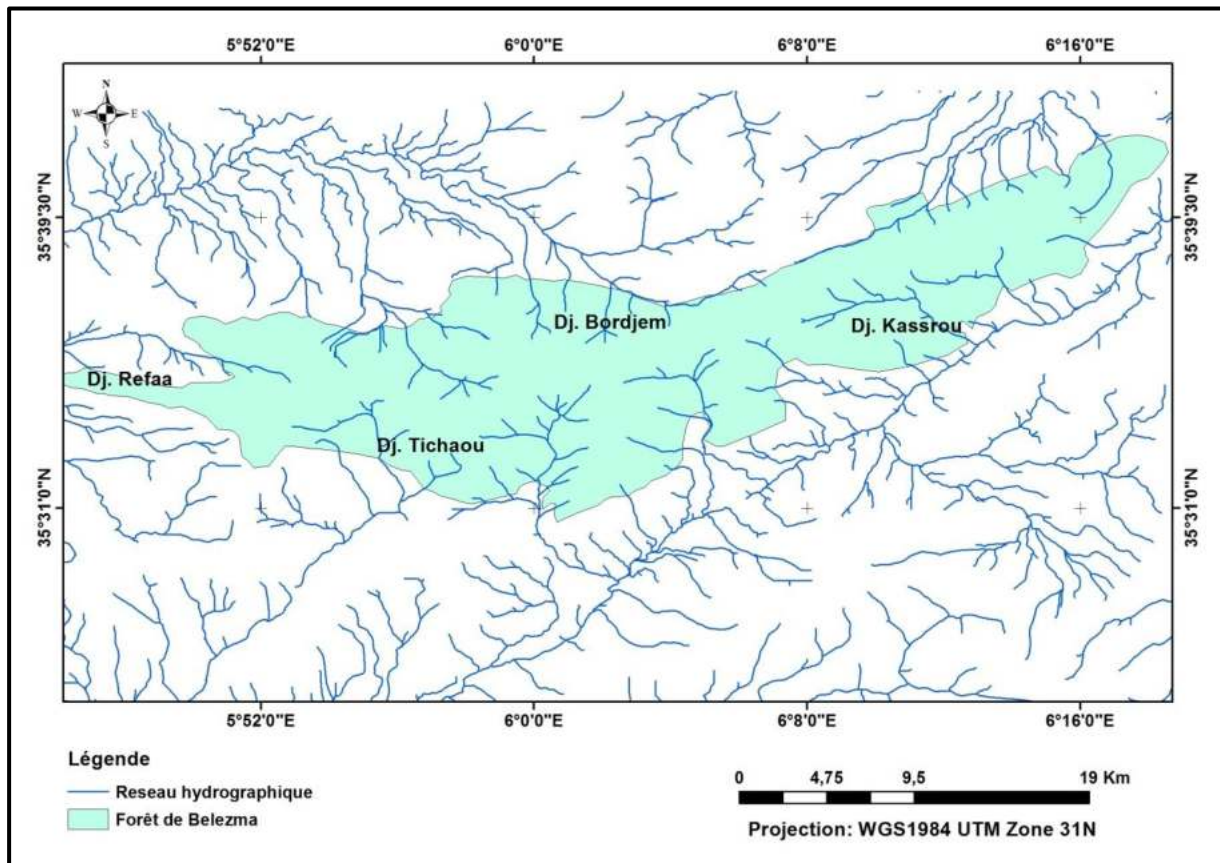


Figure 12 : Carte du réseau hydrographique de la forêt de Belezma.

1.7. Le couvert végétal

Des formations forestières les plus remarquables, les cédraies et les pinèdes forment les plus beaux boisements et constituent les véritables forêts, le reste de la végétation n'étant que des « matorrals » plus ou moins arborés (Abdessemed, 1981). Les formations végétales des monts de BELEZMA superposent plusieurs structures. Les maquis et les garrigues composent l'élément majeur des paysages. Les forêts n'occupent que le quart de ces territoires. Les lignes séparant ces paysages des terres de cultures et des pelouses d'altitude sont nettement visibles (Sahli, 2004).

2. La forêt de Guettiane :

2.1. Localisation géographique

La forêt de Guettiane s'étale sur trois communes : GUIGBA, GOSBAT et RAS EL AIOUN

Dj. Guettiane qui représente un massif montagneux séparé de Dj. Bou Taleb par un couloir emprunté par deux oueds divergents, celui de Djeriat à l'ouest et Boutouane à l'Est.

Ces deux oueds dessinent une boucle autour de ce massif avant d'arriver dans le Chott Hodna (TAD consult, 2009).

Notre zone d'étude est localisée entre les coordonnées suivantes:

Coordonnées géographiques (en degré):

Longitude Est (X1) : 5°00' .00 ''E - (X2) : 5°37'30''E.

Latitude Nord (Y1) : 35°39'00''N - (Y2) : 35°44'00''N.

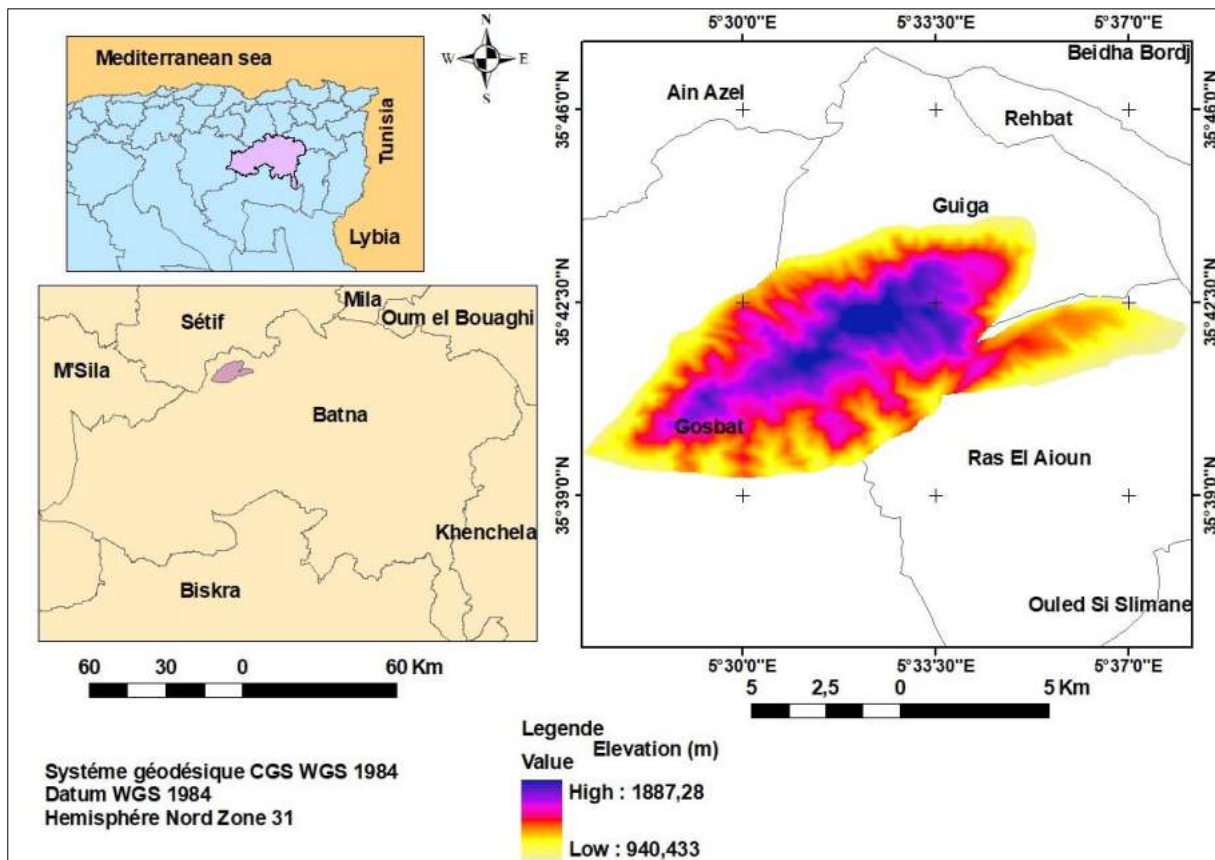


Figure 13: Localisation géographique de la forêt de Guettiane.

2.2. Les altitudes

Les altitudes dans ce massif varient de 1732m dans le Dj. Bou Cherit au sud et 1901m dans Kef Tachrirt au nord et descendent brutalement vers le sud-est à moins de 900m. Il existe toutefois un pallier intermédiaire matérialisé par Dj. Azekkar où l'altitude varie de 1000 à 1100m, ce dernier se présente sous la forme d'un bras montagneux de direction NE-SW où l'altitude à son extrémité NE descend à 900m dans le lit de l'oued Rhenia

autour de la petite agglomération de Ras El Aïoun. Ce cours d'oued correspond à un couloir emprunté par le Chemin de Wilaya n° 35 (Sétif-Barika par Ras El Aïoun et N'gaous) (TAD consult, 2009).

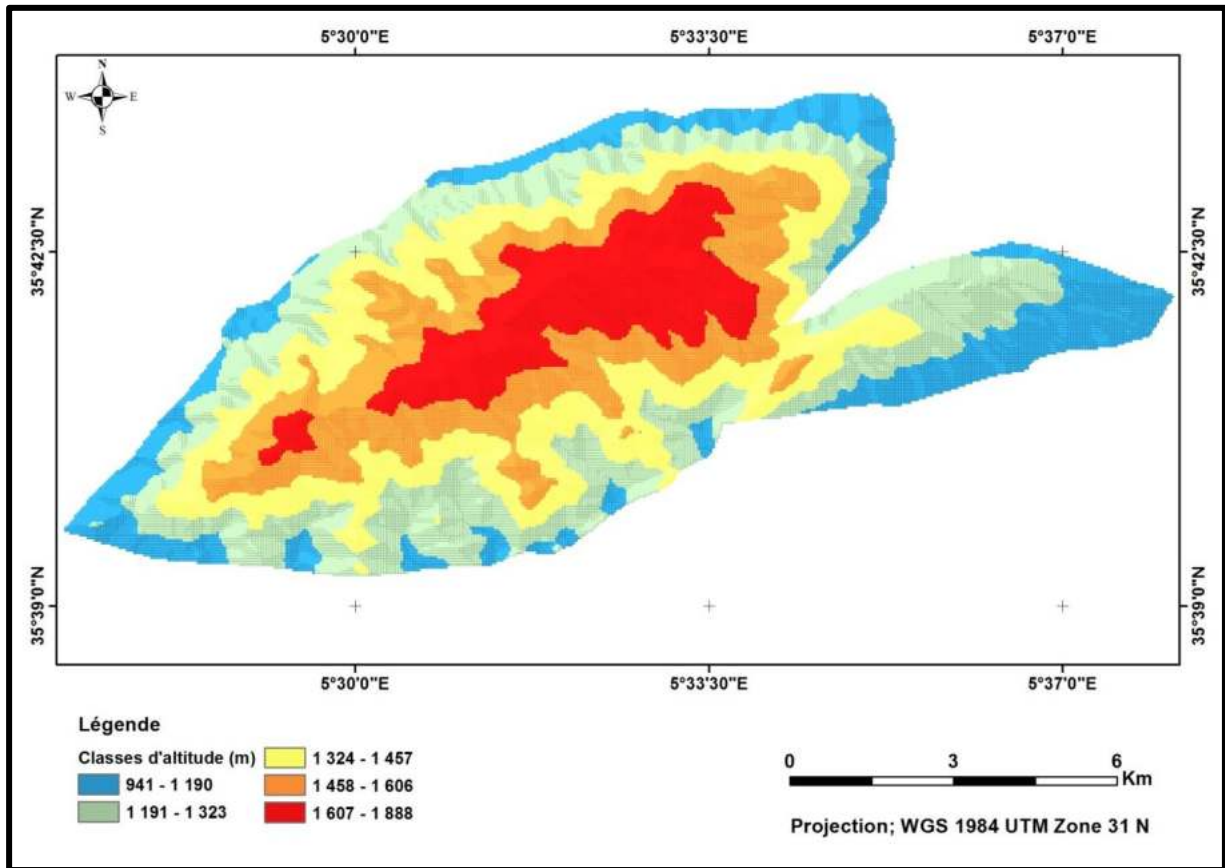


Figure 14: Carte des altitudes de la forêt de Guettiane (extraite du modèle numérique du terrain MNT).

2.3. Les pentes et les expositions

La pente représente un paramètre important dans l'étude et la caractérisation de l'état de dégradation du sol. Une pente forte accélère le ruissellement; par conséquent, la vulnérabilité du sol à l'érosion augmente (Chikhaoui *et al.*, 2010).

La carte des pentes et des expositions sont obtenues après traitement du MNT (Modèle numérique du terrain) à l'aide du SIG.

L'exposition est fortement corrélée au taux de la végétation, celle exposée au sud étant caractérisée par un taux de couverture végétale faible à l'inverse de celle exposé au nord caractérisé par un taux de couverture végétale élevé.

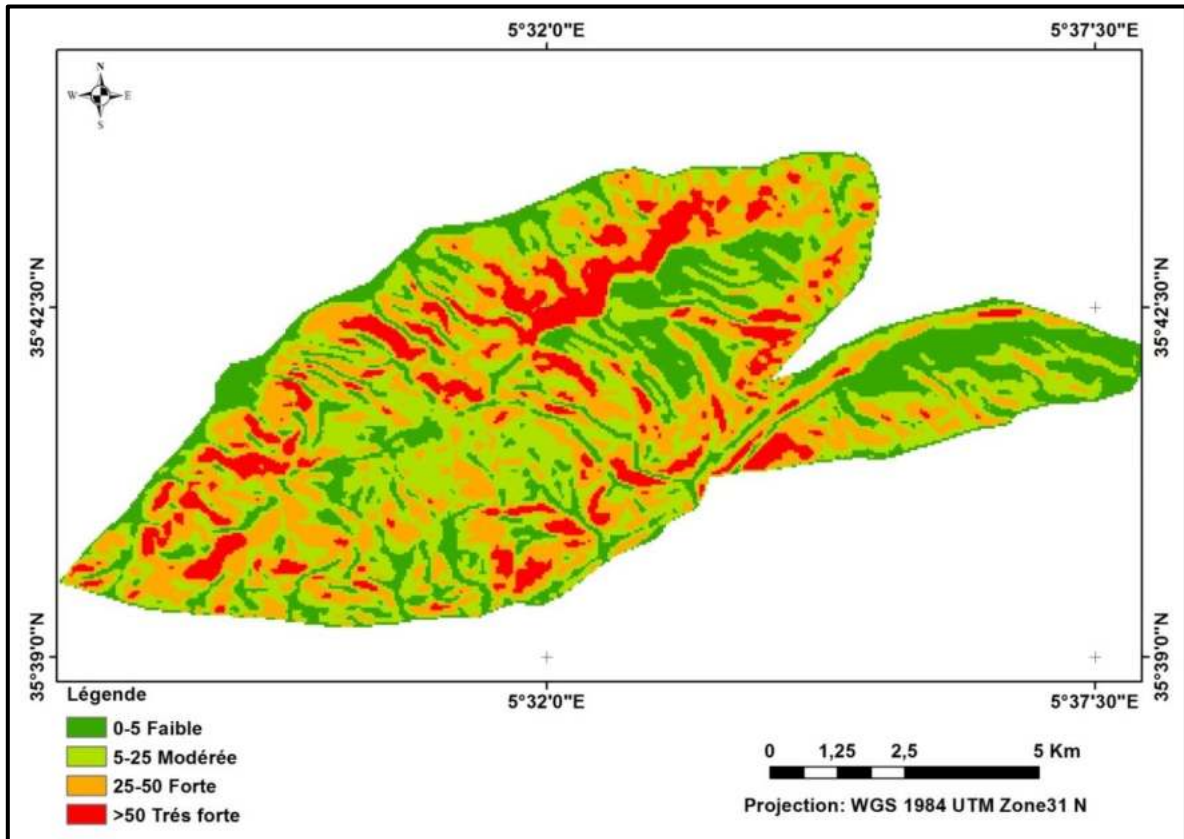


Figure 15 : Carte des pentes de la forêt de Guettiane.

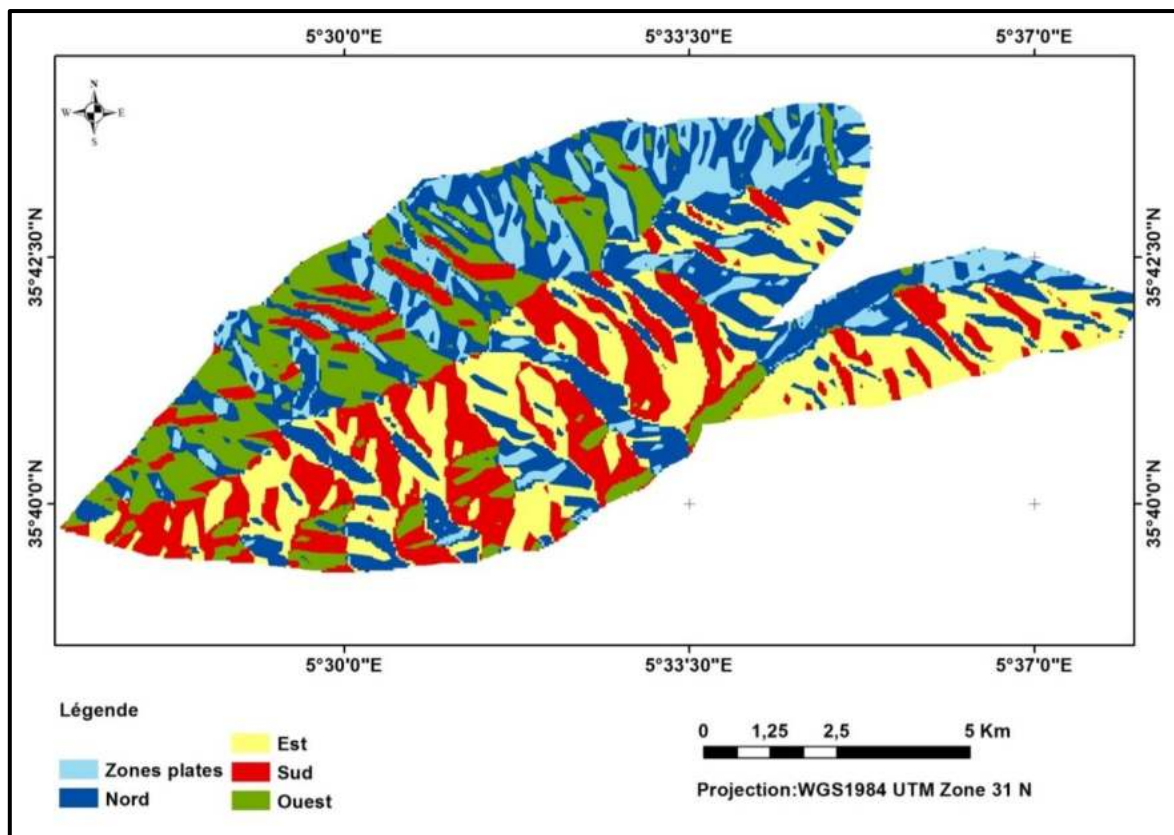


Figure 16: Carte des expositions de la forêt de Guettiane.

2.4. Cadre géologique

La carte suivante a été réalisée à partir d'une carte dressée par MM.P. Deleau et R. Laffitte (1951), elle montre que la partie centrale de cet ensemble est développée dans la formation Crétacé inférieur (vraconien à Berrasien) à faciès marins normaux.

Le crétacé moyen (marin ou lagunaire) divisé éventuellement en Turonien ou Cénomaniens est bien représenté dans le Djbel Azzekar.

La partie Sud-ouest de la zone est développée dans la formation miocène inférieur marin (Burdigalien).

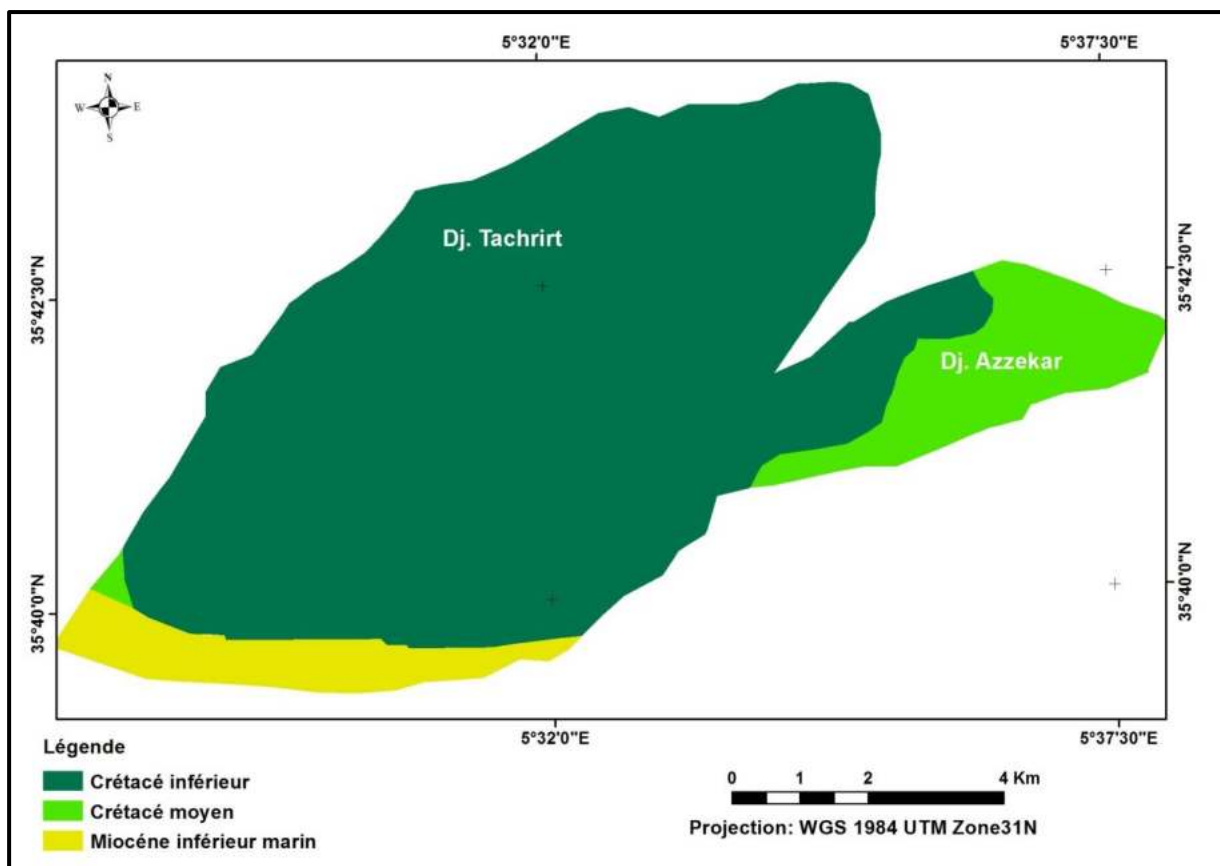


Figure 17 : Carte géologique de la forêt de Guettiane (Extrait de la carte géologique de l'Algérie dressée par MM.P. Deleau et R. Laffitte, 1951).

2.5. Cadre édaphique

A partir de la carte des sols de l'Algérie on a pu digitaliser la carte ci-dessous. Le centre de la zone d'étude de Guettiane est caractérisé par des sols insaturés humifères, le reste de la zone se distribuent les sols calcaires humifères, et une très petite surface occupée par les sols calciques.

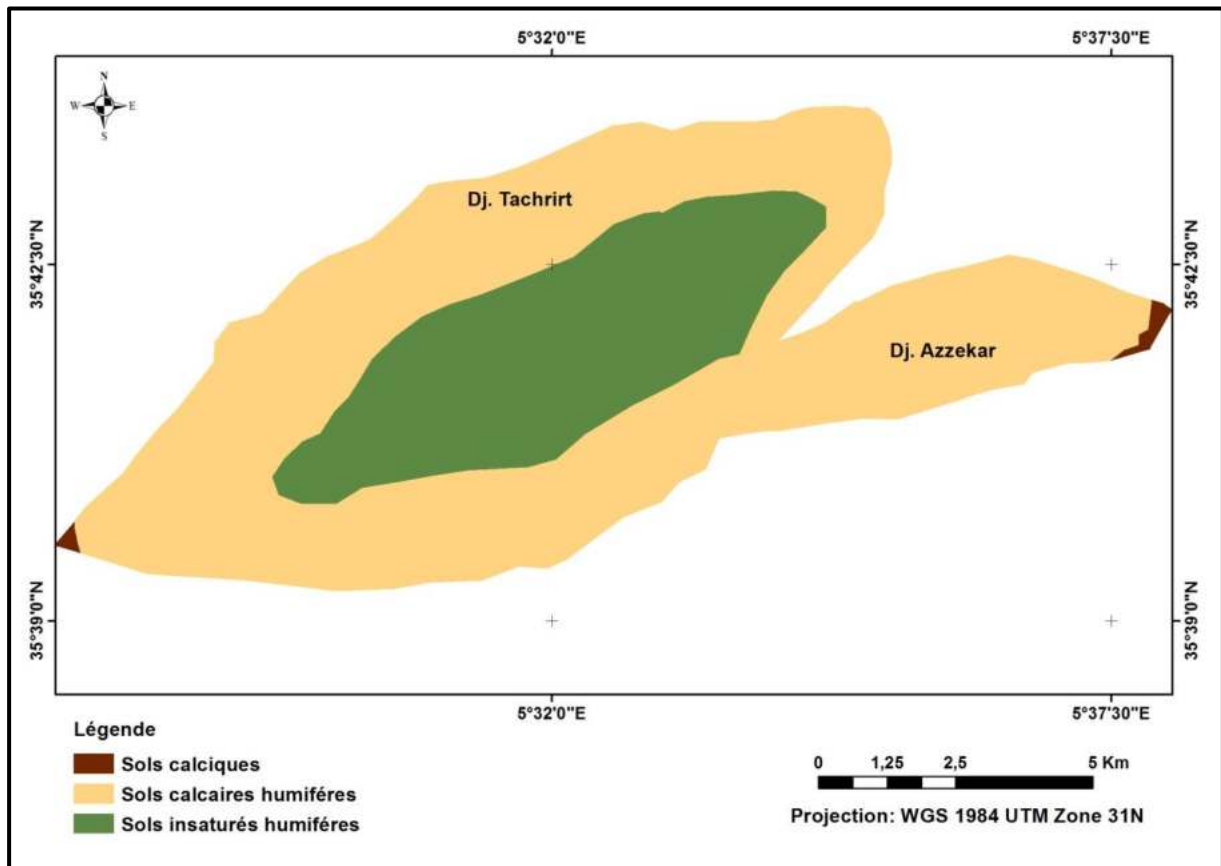


Figure 18 : Carte des sols de la forêt de Guettiane (Extrait de la carte des sols-Biskra 1/500000).

2.6. Cadre hydrologique

Le massif de GUETIANE appartient au Bassin versant du HODNA, il possède un réseau hydrographique qui alimente (03) trois sous bassins différents (S/B Oued SOUBELLA, S/B Oued BARIKA AMANT et S/B Oued BARIKA AVAL). L'hydrographie de ce massif est caractérisée par des oueds à écoulement temporaire, parmi ces derniers on peut citer : oued TAFSAST, oued KHANDEG, oued BOUCHETIT, oued el OUAAR, oued el HADJADJ, chaabat GOSBAT, chaabat es SIOUF, chaabat KEF LABIOD (Gouaref, 2012).

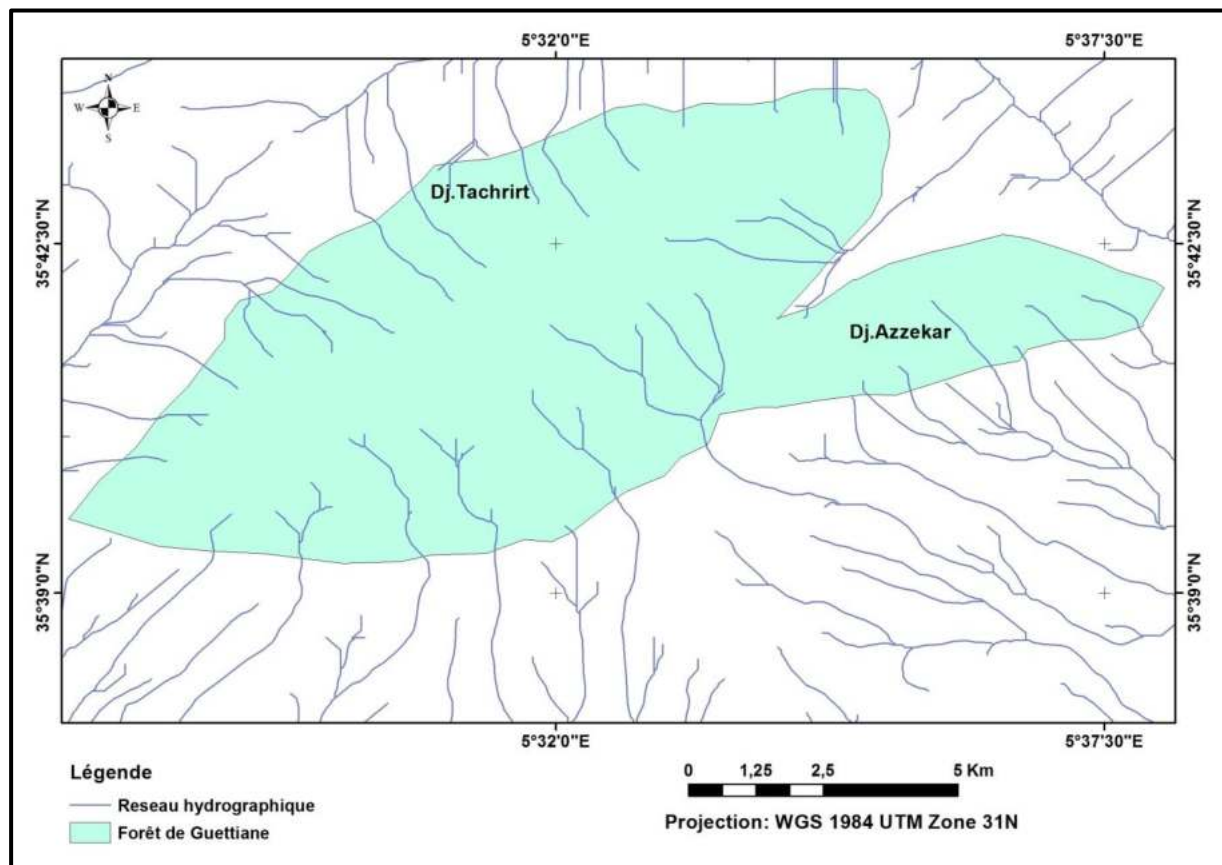


Figure 19 : Carte du réseau hydrographique de la forêt de Guettiane.

2.7. Caractéristiques floristiques

Sur le plan phytogéographique, la forêt de GUETIANE appartient à l'empire HOLARCTIQUE, région méditerranéenne, sous-région Eu méditerranéenne, domaine Magrébin steppique, secteur sud constantinois, (d'après la carte des subdivisions phytogéographiques d'Algérie-Maire (1926) in Kaabache, 1990).

Le (BNEDER, 2008 in Gouaref, 2012) ; signala que la superficie forestière du GUETIANE est de 6 537 ha, mais ces formations forestières sont dégradées à l'état de maquis clairs sur 3 224 ha (soit 49% de formations forestières) ainsi que de forêts claires 769 ha (soit 12%) et le reste est constitué de 2 544 ha de reboisement (39%) au stade perchis.

Trois (03) unités d'occupation forestières peuvent être distinguées :

Au pied du massif (versant sud) :

C'est une zone de 2 500 ha de reboisements sur maquis de diss, alfa, genêts effectués dans le cadre du barrage vert. Ces reboisements, à base de Pin d'Alep ou de Pin d'Alep + Cyprès sont au stade de perchis soit denses (qui nécessitent donc des dépressages) soit clairs avec un très faible taux de réussite à cause du surpâturage et des conditions édaphiques défavorables.

A mi- versant :

C'est une couronne de maquis clairs de chêne vert, genévrier, oxycèdre et diss (2 000 ha) et de maquis arborés (cèdre sur maquis de chêne vert, genévrier, oxycèdre, diss (1 000 ha).

Au sommet du massif :

C'est une futaie jardinée claire de cèdre en mélange avec du chêne vert (770 ha). La régénération naturelle du Cèdre est inexistante par suite du surpâturage et des années de sécheresse. Les peuplements de cèdre sont en mauvais état et présentent des taux de dépérissement de 60 à 70% (BNEDER, 2008 in Gouaref, 2012).

3. Etude climatique

Introduction

Le climat est un déterminant majeur de la production agriculture et de la productivité biologique, aussi bien dans les terres aménagées que dans les terres vierges. Le climat influence le cycle et la consommation de l'eau, la nature et la distribution spatiale de la flore et de la faune (Abdelguerfi, 2003a).

La répartition des végétaux à la surface du globe est conditionnée par trois facteurs principaux : l'eau, la température et la lumière. Lorsque ces trois conditions d'humidité, de chaleur et d'éclairement sont suffisamment bien remplies, le tapis végétal atteint son plein développement. Lorsque par contre l'un ou l'autre de ces facteurs tombent en dessous d'un certain seuil, la vie s'amenuise ou disparaît (Ozenda, 1977).

Pour étudier le climat des zones d'étude nous avons exploité les données climatiques de la station météorologique d'Ain Skhouna (Batna), qui se localise à une altitude de 821,29 mètres.

Seltzer (1946), dans son étude de climat de l'Algérie indique que la décroissance moyenne de la température est en fonction de l'altitude :

Température minima: décroissance de 0,4° par hectomètre.

Température maxima: décroissance de 0,7° par hectomètre.

Selon (Seltzer, 1946), pour une élévation de 100 mètres, les précipitations augmentent de 40 mm, pour le continental, et de 80 mm pour le littoral.

3.1. Paramètres climatiques

3.1.1. Température

La disposition de la végétation de montagne (ainsi que celle des activités humaines qui lui sont liées) en étages superposés est due essentiellement à la diminution de la température avec l'altitude : chaque espèce forestière par exemple se localise entre les deux altitudes extrêmes qui correspondent aux limites de température compatibles avec sa physiologie (Ozenda, 1989). Selon Sahli (2004), la température a aussi une influence directe sur la durée de la période végétative.

Tableau 1: Répartition des températures moyennes mensuelles et des températures moyennes mensuelles minimales et maximales de la station de Batna (1989-2017).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T (°C)	5,73	6,88	10,01	13,19	18,17	23,39	26,70	26,12	21,61	16,86	10,70	6,74
m (°C)	0,1	0,5	2,8	5,8	9,8	14,4	17,1	17,1	14,3	10,0	4,7	1,3
M (°C)	12,2	13,7	16,9	20,3	26,1	31,8	35,7	35,0	29,4	24,1	17,3	12,8

(STATION METEOROLOGIQUE D'AIN S'KHOUNA-BATNA, 2017)

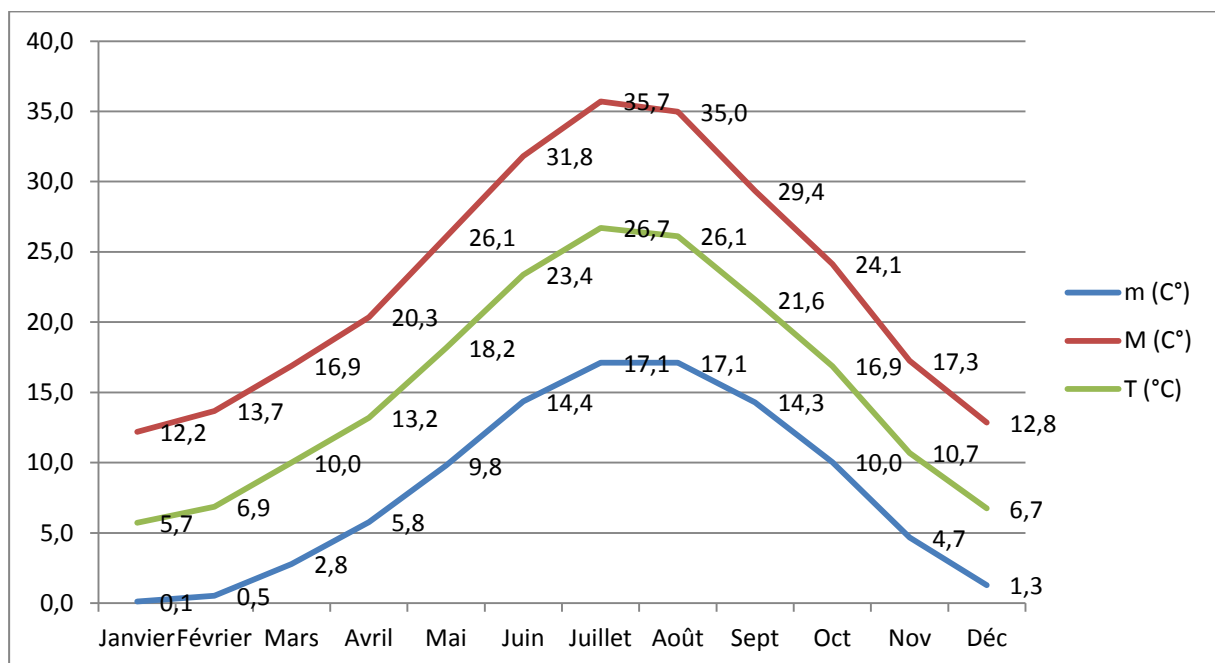


Figure 20: Les courbes des températures minimales, moyennes et maximales annuelles (°C) (1989-2017).

D'après les données de tableau 1, le mois le plus froid est le mois de Janvier avec une température de 0,1°C, le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec une température de 35,7°C.

3.1.2. Pluviométrie

Les pluies qui tombent en Algérie étant pour la plupart d'origine orographique (Seltzer, 1946). Elles agissent sur le développement de la végétation, leur chute est déterminée par l'altitude et les expositions.

Seltzer (1946), indique que la répartition des pluies en Algérie obéit aux trois lois suivantes:

- La hauteur de pluie augmente avec l'altitude, mais est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides que sur les autres;
- Elle augmente de l'Ouest à l'Est;
- Elle diminue à mesure qu'on s'éloigne du littoral.

Tableau 2 : Pluviométrie moyenne mensuelle de la station de Batna (1989-2017).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
P (mm)	30,33	22,87	30,20	38,56	41,81	17,14	6,53	18,78	33,70	24,21	24,11	28,64

(STATION METEOROLOGIQUE D'AIN S'KHOUNA-BATNA, 2017)

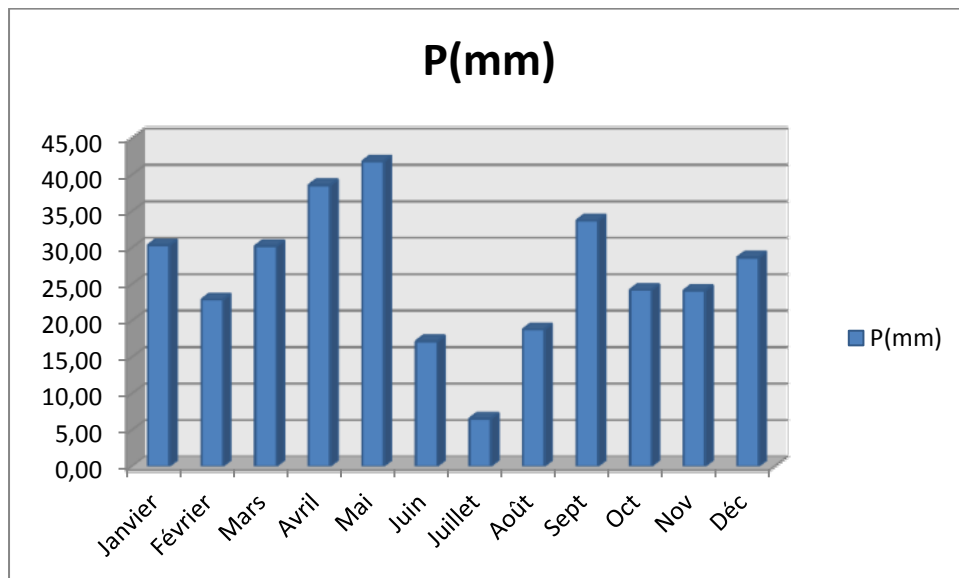


Figure 21 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles (1989-2017).

D'après les données ci-dessus, on remarque que les précipitations sont abondantes au printemps avec un maximum de 41,81mm au mois de Mai. L'automne et l'hiver aussi sont pluvieux avec un maximum de 33,70 mm au mois de septembre et de 30,33 au mois de janvier. L'été est assez pluvieux avec une baisse moyenne de 6,53 mm au mois de juillet.

3.2. Synthèse climatique

Le climat d'une station est déterminé par l'interaction des différents facteurs essentiellement les précipitations et la température qui permet de calculer des indices et des

formules pour caractériser le climat tel que: le diagramme ombrothermique de GAUSSEN et le quotient pluviothermique d'EMBERGER.

3.2.1. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Ce diagramme permet de déterminer la saison sèche. Les ordonnées sont choisies de telle sorte que $P \text{ (mm)} = 2 T \text{ (}^\circ\text{C)}$. La figure 16 représentant le diagramme ombrothermique, montre que le climat de la zone d'étude se caractérise par une période sèche de 6 mois qui s'étend de Mai à novembre.

Tableau 3 : Les moyennes de température et des précipitations de la région de Batna (1989 à 2017).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T (°C)	5,73	6,88	10,01	13,19	18,17	23,39	26,70	26,12	21,61	16,86	10,70	6,74
P (mm)	30,33	22,87	30,20	38,56	41,81	17,14	6,53	18,78	33,70	24,21	24,11	28,64

(STATION METEOROLOGIQUE D'AIN S'KHOUNA-BATNA, 2017)

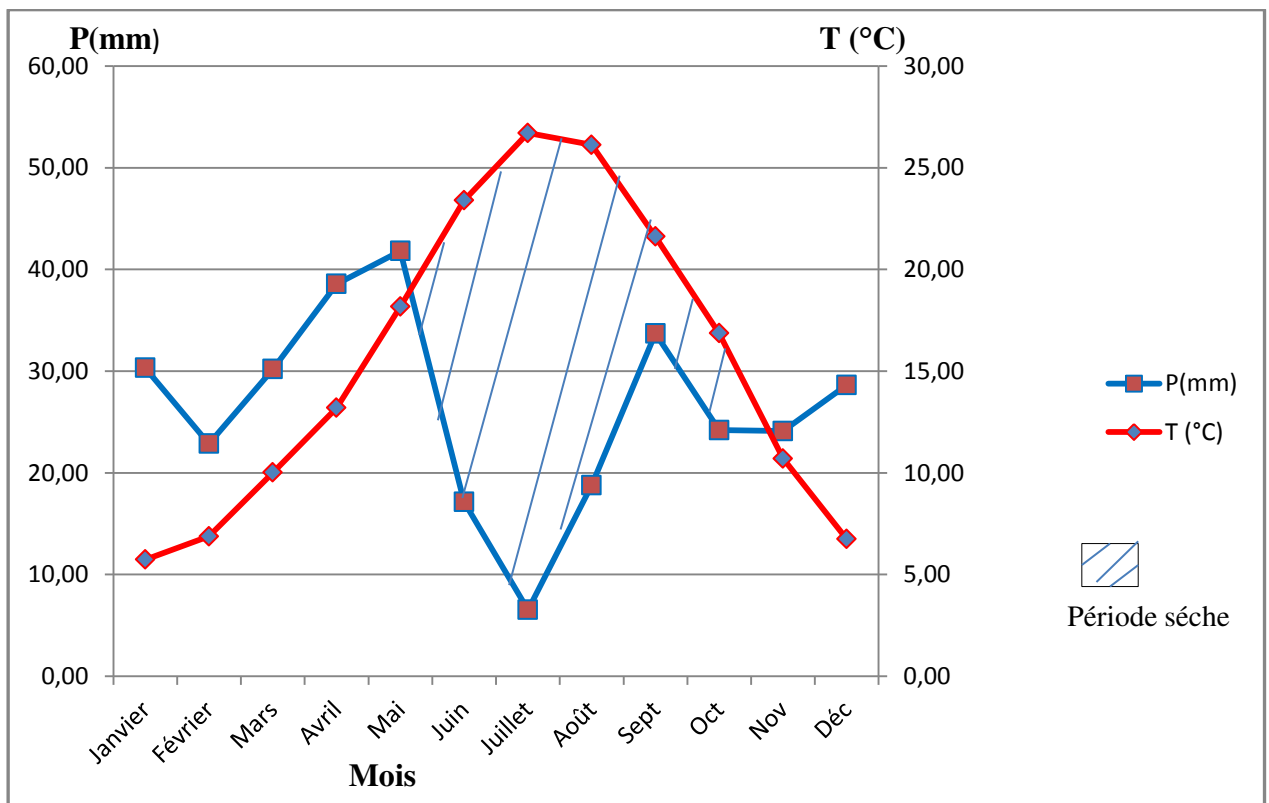


Figure 22 : Le diagramme Ombrothermique de la station de Batna (1989-2017).

3.2.2. Indice d'aridité annuelle de DE MARTONNE (1926)

L'indice d'aridité annuelle de DE MARTONNE, permet de calculer le degré d'aridité annuelle d'une station quelconque. DE MARTONNE utilise, pour une station donnée, la moyenne annuelle des températures et le total annuel des pluies par la formule suivante :

$$I = P / T + 10$$

Où :

I : L'indice d'aridité annuelle

P : Les précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Les températures moyennes annuelles en °C.

Sachant que la valeur de 10 a été ajoutée aux moyennes thermométriques pour éviter les valeurs négatives de l'indice.

DE MARTONNE a proposé les types de climat selon les valeurs de l'indice annuel :

Tableau 4: Classification du climat selon l'indice de De Martonne.

Valeur d'indice	Type de climat
$0 < I < 5$	Hyper aride
$5 < I < 10$	Aride
$10 < I < 20$	Semi-aride
$20 < I < 30$	Semi humide
$30 < I < 50$	Humide

On calcule l'indice de De Martonne pour notre zone d'étude :

$$P = 316,88 \quad T = 15,51$$

$$I = 316,88 / 15,51 + 10 = 12,42$$

L'indice d'aridité annuel de DE MARTONNE se situe entre 10 et 20, donc notre zone appartient à l'étage semi-aride.

Les valeurs d'aridité annuelle de DE MARTONNE augmentent inversement à l'aridité. Autrement dit, lorsque les valeurs de cet indice sont importantes, le climat est humide. Par contre, si elles sont faibles, le climat est sec et aride.

3.2.3. Quotient pluviothermique d'Emberger

Le système d'Emberger permet la classification des divers étages de climat méditerranéen. Il est déterminé par la relation d'Emberger:

$Q_2 = 2000 P / (M - m) (M + m)$, une transformation proposée par Stewart (1969) donne:

$$Q_2 = 3.43 * P \text{ (mm)} / M - m \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

P : est la somme des précipitations totales annuelles.

M : est la température moyenne maximale du mois le plus chaud.

m : est la température minimale du mois le plus froid.

Le calcul de Q_2 pour la station d'Ain Skhoua est établi de la façon suivante:

$$Q_2 = 3,43 * 316,88 / 35,7 - 0,1 = 30,53$$

Le tableau suivant représente l'évaluation de Q_2 des stations étudiées au niveau de notre zone d'étude (Belezma et Guettiane) :

Tableau 5: L'évaluation de Q_2 des zones d'études (Belezma et Guettiane).

Altitudes (m)	Ain Skhoua (821.29m)	Belezma		Guettiane	
		Tichao (2141m)	Sarif (1200m)	Tachrirt (1901m)	Azekkar (1000m)
P (mm)	316,88	844,76	468,36	748,76	388,36
M (°C)	35.7	26,38	33,05	28,15	34.45
m (°C)	0,1	-5,17	-1,41	-4,21	-0.61
Q2	30,53	91,83	46,61	79.36	37,99

Le tableau ci-dessus regroupant les valeurs du Q_2 , et les températures minimales qui nous a permis de déterminer les zones bioclimatiques de la station d'Ain Skhoua ainsi que celles estimées pour les stations étudiées au niveau de la forêt de Belezma et de Guettiane. On a choisi pour chaque forêt le point le plus élevé et le plus bas, pour Belezma Djebel Tichao avec une altitude de 2141 m et Djebel Sarif avec une altitude de 1200 m et pour Guettiane Djebel Tachrirt (1901 m) et Djebel Azekkar (1000 m).

On a projeté la station d'Ain skhouna et les zones d'étude extrapolées sur le climagramme pluviothermique d'Emberger afin de déterminer les étages bioclimatiques.

D'après le climagramme suivant on peut constater que la forêt de Belezma passe de l'étage humide à hiver froid pour les hautes altitudes à l'étage semi-aride à hiver froid pour les basses altitudes, alors que la forêt de Guettiane se trouve soumise à l'étage bioclimatique subhumide à hiver froid dans les hautes altitudes, et à l'étage semi-aride à hiver froid dans les basses altitudes.

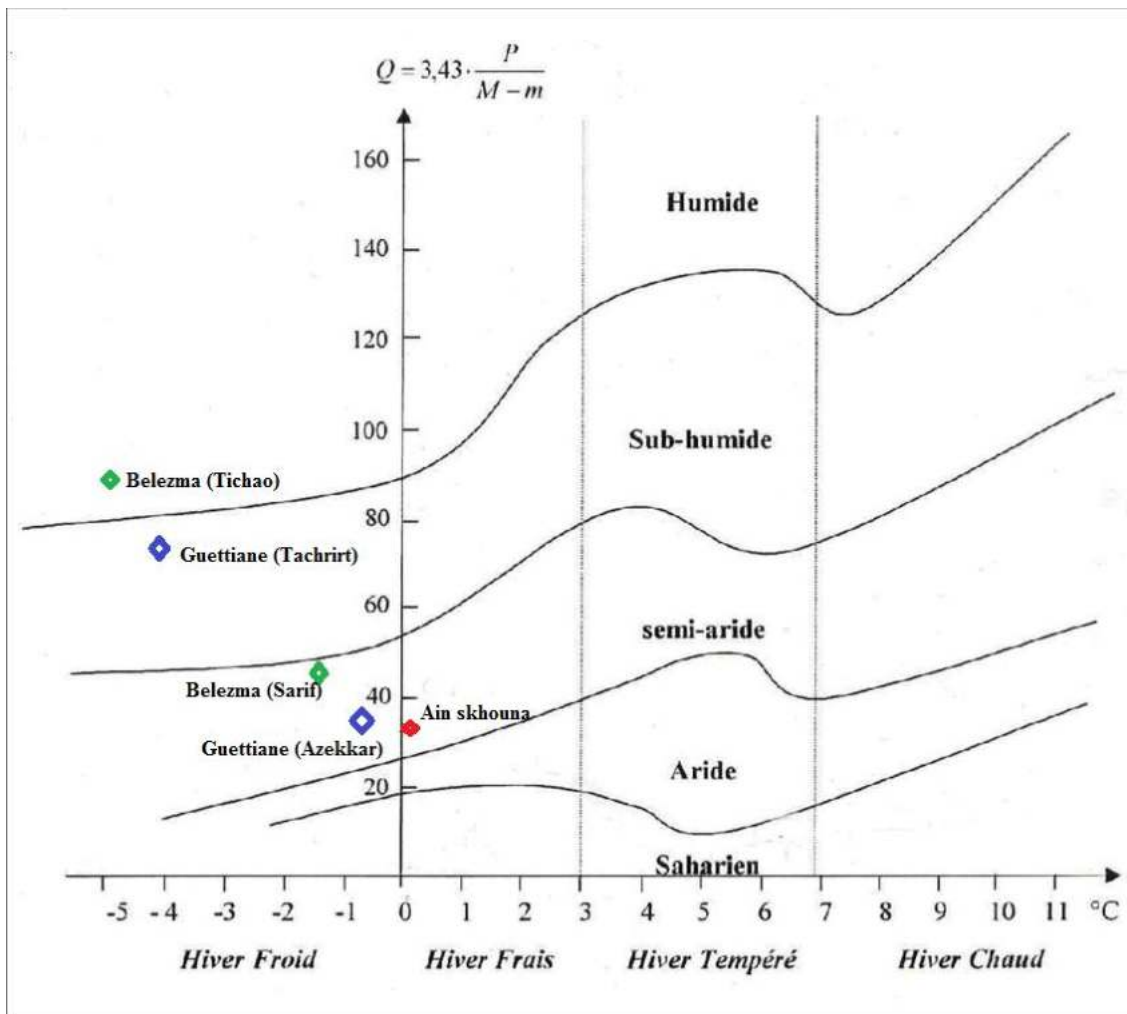
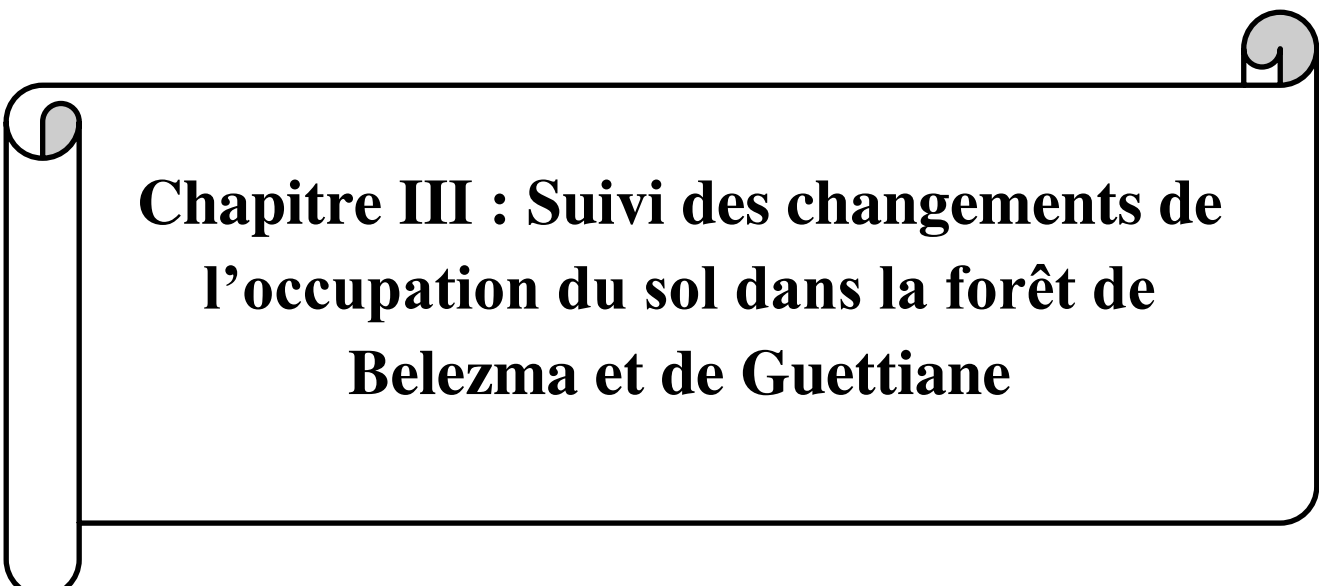


Figure 23 : La projection des zones d'étude sur le Climagramme pluviothermique d'Emberger.

Conclusion

Le climat méditerranéen est caractérisé par l'existence d'une saison sèche estivale. La durée de cette période, l'importance des précipitations, les caractères thermiques, l'ETP, etc. ont permis de définir des bioclimats (Bottner, 1982).

Le climat de notre zone d'étude est de type méditerranéen, vu que la région méditerranéenne est une zone de transition sur le plan bioclimatique, l'analyse climatique que nous avons réalisée confirme que le climat de la région d'étude relève une irrégularité très importante entre ses différentes zones allant de l'étage humide à hiver froid pour les hautes altitudes vers l'étage Semi-aride à hivers froid pour les basses altitudes concernant la forêt de Belezma. Et de l'étage subhumide à hiver froid dans les hautes altitudes vers l'étage semi-aride à hiver froid dans les basses altitudes pour la forêt de Guettiane.



**Chapitre III : Suivi des changements de
l'occupation du sol dans la forêt de
Belezma et de Guettiane**

Introduction

Depuis plusieurs décennies, l'observation de la Terre permet de mieux comprendre notre planète. Au cœur des enjeux sur les changements globaux, la caractérisation des dynamiques liées aux transformations des surfaces continentales – consommation des surfaces agricoles, déforestation ou encore étalement urbain – est essentielle (Pelletier, 2017).

Dans ce contexte, la télédétection spatiale offre la possibilité de cartographier fréquemment l'ensemble de la planète. Plus spécifiquement, les images issues des acquisitions satellitaires permettent de produire des cartes qui donnent une représentation graphique relative aux surfaces terrestres comme l'occupation des sols (Pelletier, 2017).

Ce chapitre a pour objectif d'utiliser l'outil de télédétection à partir des traitements effectués sur des images satellitaires de Landsat et procéder à la classification supervisée (maximum de vraisemblance) pour réaliser les cartes d'occupation du sol de la forêt de Belezma et de Guettiane des années 1986, 2000 et 2017, et analyser la dynamique de l'occupation du sol sur une période de 14 ans (1986-2000), une période de 17 ans (2000-2017) et une période de 31 ans (1986-2017).

1. Données utilisées

Les données de télédétection utilisées dans cette approche pour faire une étude diachronique sont des images satellitaires Landsat de trois différentes dates et capteurs, Landsat 5 Thematic Mapper TM (19-05-1986), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper ETM+ (15-04-2000) et Landsat 8 Operational Land Imager OLI (22-04-2017).

Ces images couvrent une grande superficie «185 Km x 185 Km», dont notre zone d'étude est incluse (Path : 194, Row : 35). La résolution temporelle est potentiellement de 16 jours, la résolution spatiale est de 30 m pour LANDSAT 5 et 7 et de 15 à 100 m pour LDCM8.

2. Prétraitement et correction des images

Les opérations de prétraitements sont essentielles pour exploiter efficacement les données satellitaires. Elles permettent de fonctionner dans un environnement géoréférencé et de pouvoir utiliser des images dépourvues de défauts visuels (François *et al.*, 2005).

On appelle fonctions de prétraitement les opérations qui sont normalement requises avant l'analyse principale et l'extraction de l'information. Les images satellitaires nécessitent un certain nombre de corrections réalisées soit par le fournisseur des images ou par les utilisateurs. Ces opérations de prétraitements se divisent en corrections radiométriques et géométriques.

2.1. Les corrections géométriques

Elles sont destinées à corriger l'image spatiale des déformations systématiques dues à la prise de vue afin de la rendre superposable à une carte ou à une autre image. Les images satellitaires utilisées ont été géo référencées dans le système de projection (Latitude/Longitude, Type WGS 84).

2.2. Correction radiométrique

La correction radiométrique a été faite pour objet de la correction des données à cause des irrégularités du capteur et des bruits dus au capteur ou à l'atmosphère. On a réalisé une calibration radiométrique puis une correction atmosphérique FLAASH qui donne des bons résultats.

3. Missions de prospection et de reconnaissance du terrain

Les missions de reconnaissance du terrain représente une étape importante avant de faire la classification supervisée car les connaissances *a priori* sont utilisées pour la création des classes et la saisie des échantillons (zones d'entraînement). Il est devenu faisable et efficace d'obtenir des informations d'occupation du sol à partir des enquêtes terrain et des données satellitaires d'observation de la terre.

Pour notre étude, on a déterminé sept classes pour la forêt de Belezma comme suit :

-Cédraie : Forêt de cèdre (pure ou mixte avec autres espèces comme le chêne vert, l'oxycèdre, et.)

-Chênaie

-Pinaie

-Junipéraie

-Pelouse

-Culture

-Sol nu

Concernant la forêt de Guettiane huit classes ont été déterminées comme suit :

-Cédraie : Forêt de cèdre (pure ou mixte avec autres espèces comme le chêne vert, l'oxycèdre, et.)

-Chênaie

-Pineraie : (Soit c'est une forêt de Pin d'Alep pure ou mixte de pin avec chêne vert)

-Formations très dégradées : ce sont des formations de chêne vert ou d'autres espèces très dégradées

-Pelouse

-Culture

-Affleurement rocheux

-Sol nu.

4. Classification

La classification est un processus de reconnaissance des formes, en télédétection, elle consiste à effectuer la correspondance entre les éléments d'une scène de l'image matérialisés généralement par leurs valeurs radiométriques, et des classes connues a priori ou non par un utilisateur, la correspondance est réalisée par des fonctions discriminantes sous forme de règle de décision telle que le "maximum de vraisemblance" des probabilités, ou des distances géométriques (Ducrot, 2005).

Les méthodes de classification les plus communes peuvent être divisées en deux grandes catégories : les méthodes de classification supervisée et les méthodes de classification non supervisée. Lors de l'utilisation d'une méthode de classification supervisée, l'analyste définit des classes d'informations a priori, ce sont des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de ces classes, au contraire pour la classification non supervisée, qui ne demande pas l'identification des classes connues a priori. Elle est effectuée par un algorithme intégré dans logiciel sans interférence de l'utilisateur.

Dans cette étude nous avons appliqué une classification supervisée par la méthode de maximum de vraisemblance.

5. Validation de la classification

Les matrices de confusion montrent un indice de Kappa généralement compris entre 0,85 et 0,88 pour toutes les classifications de Belezma et de Guettiane de trois dates différentes, donc les résultats de la classification sont suffisants et acceptables.

Les étapes de cette approche pour atteindre nos objectifs qui sont l'élaboration des cartes d'occupation du sol pour trois dates 1986, 2000 et 2017 de deux zones d'étude et analyser les changements au cours d'une période de 31 ans sont résumées dans le diagramme suivant :

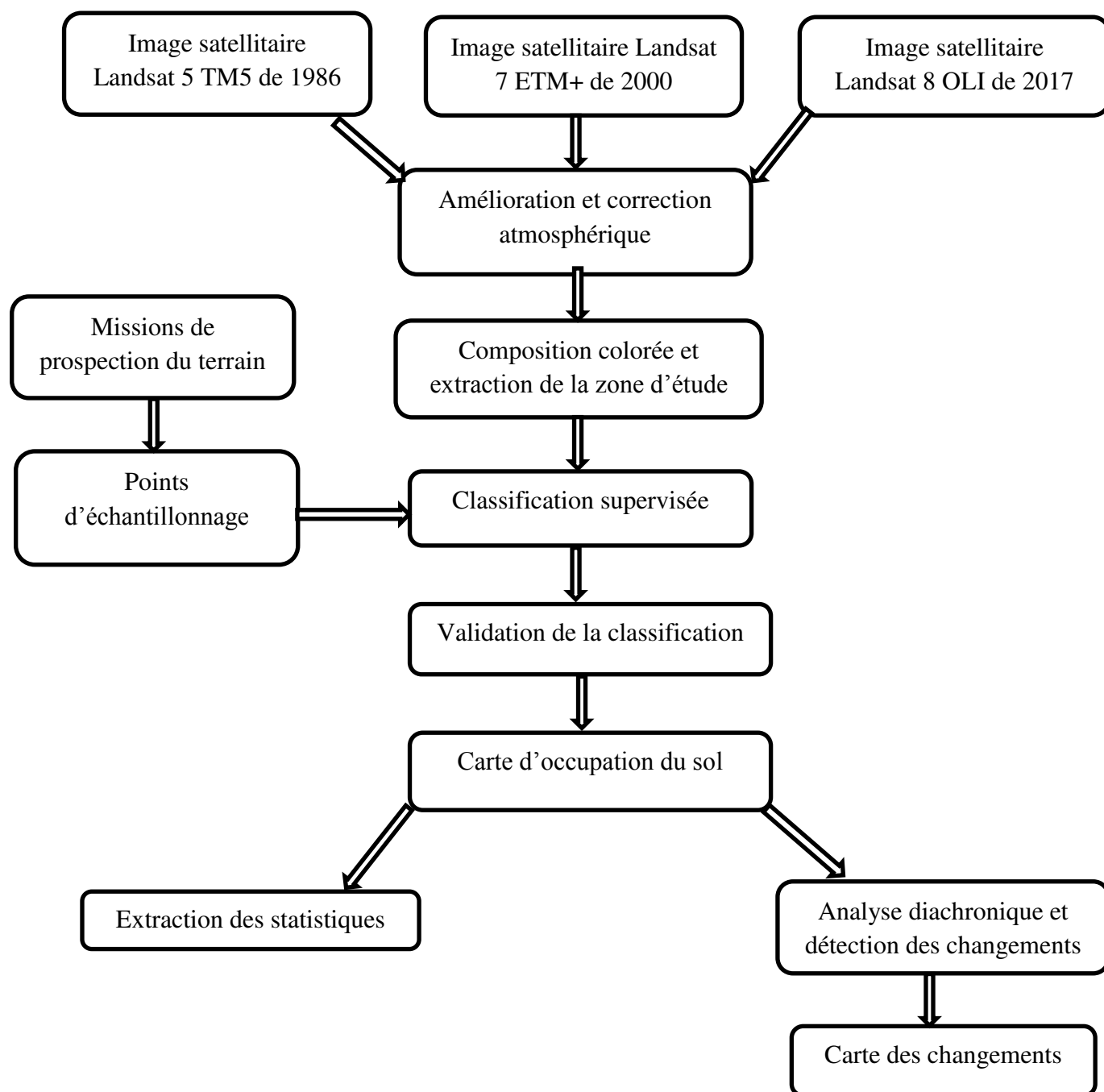


Figure 24 : Organigramme méthodologique du suivi spatiotemporel de l'occupation du sol.

6. Résultats et discussion

À l'aide des données de télédétection qui sont les images satellitaires de Landsat et à partir une classification supervisée réalisée sur ces images on a fait ressortir des cartes d'occupation du sol des trois dates 1986-2000 et 2017. Ainsi on a pu extraire des surfaces des unités d'occupation du sol afin de faire une analyse diachronique et détecter les changements au niveau des unités d'occupation au cours de trois dates différentes.

6.1. Forêt de Belezma

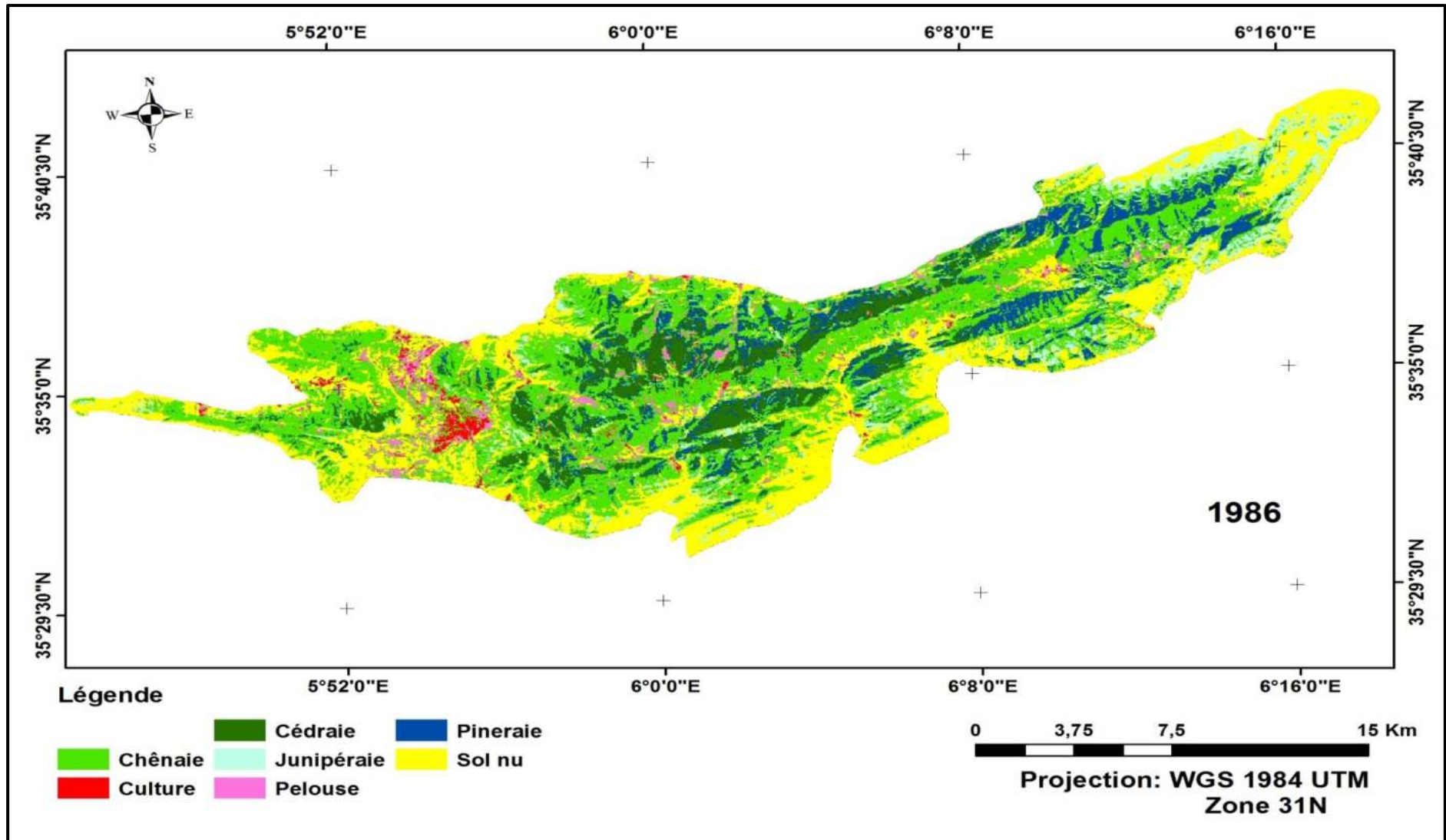


Figure 25 : Carte d'occupation du sol de Belezma 1986.

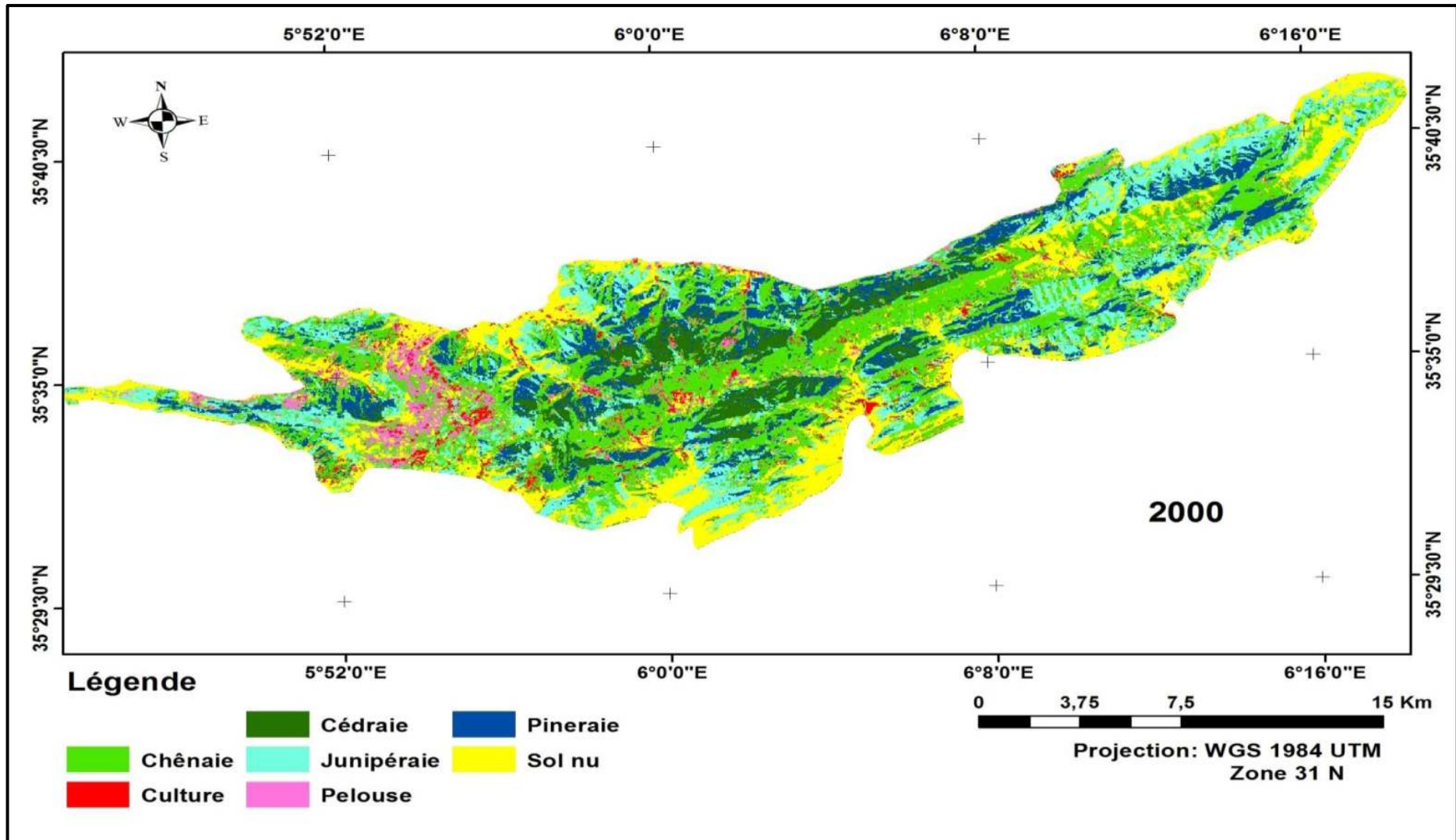


Figure 26 : Carte d'occupation du sol de Belezma 2000.

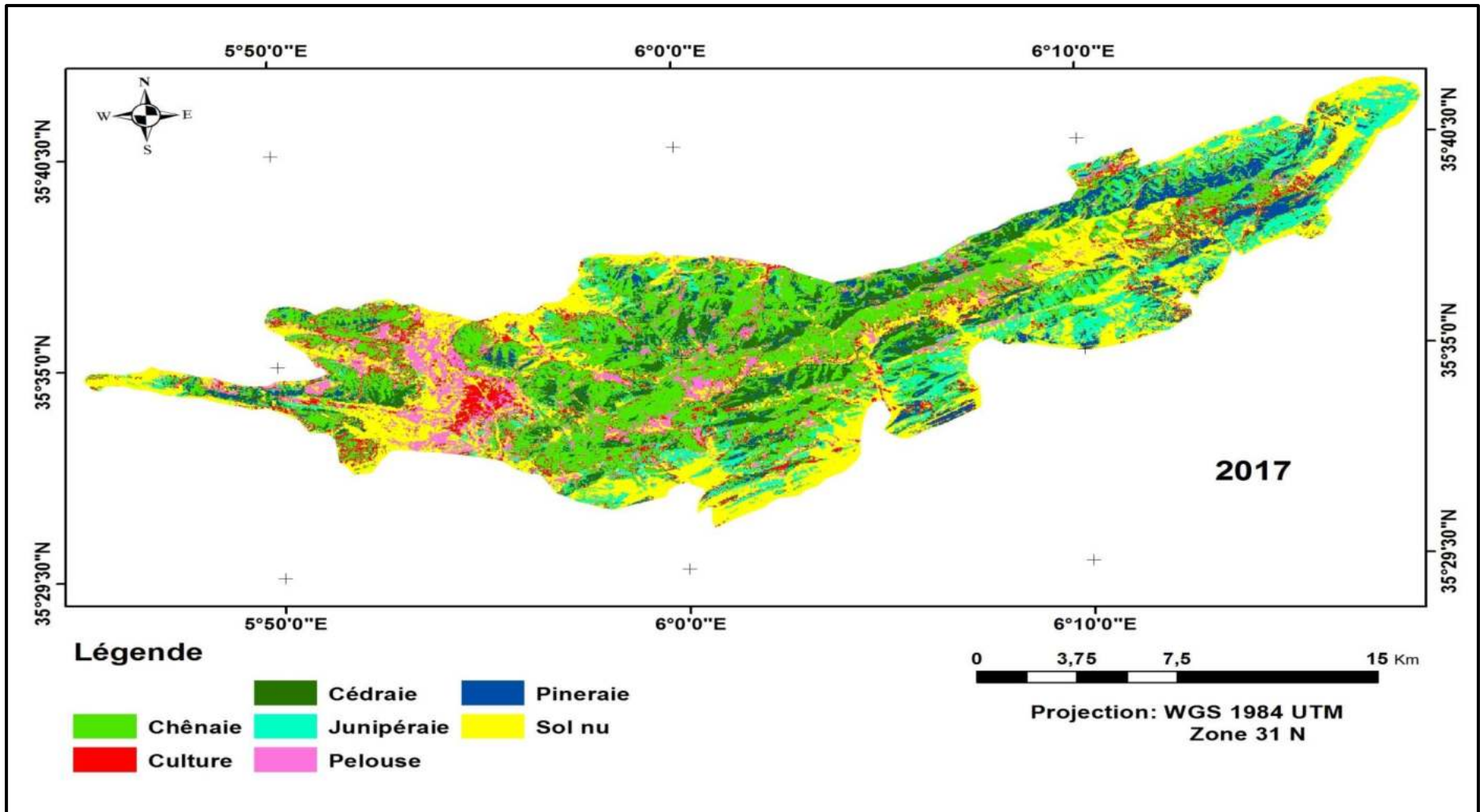


Figure 27: Carte d'occupation du sol de Belezma 2017.

Les cartes d'occupation des sols sont aussi un outil clé pour le suivi de la dégradation des forêts, à partir de ces cartes on a pu extraire les surfaces en trois dates pour faire l'analyse diachronique comme s'est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Suivi de la dynamique de la végétation pendant 1986 et 2017.

Classe	Superficie en 1986		Superficie en 2000		Superficie en 2017		Dynamique entre 1986-2000		Dynamique entre 2000-2017		Dynamique entre 1986-2017	
	(ha)	%	(ha)	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Cédraie	3005,12	8,74	2203,31	6,41	1979,01	5,75	-801,81	-2,33	-224,3	-0,65	-1026,11	-2,98
Chênaie	13838,67	40,23	11394,9	33,13	10811,07	31,43	-2443,77	-7,10	-583,83	-1,70	-3027,6	-8,80
Junipéraie	2226,24	6,47	6166,44	17,93	4063,14	11,81	3940,2	11,46	-2103,3	-6,11	1836,9	5,34
Pineraie	3566,34	10,37	4694,4	13,65	2823,03	8,21	1128,06	3,28	-1871,37	-5,44	-743,31	-2,16
Pelouse	1154,97	3,36	1314,63	3,82	2523,42	7,34	159,66	0,46	1208,79	3,51	1368,45	3,98
Culture	525,15	1,53	1205,91	3,51	3138,12	9,12	680,76	1,98	1932,21	5,62	2612,97	7,60
Sol nu	10079,91	29,31	7416,81	21,56	9058,61	26,34	-2663,1	-7,74	1641,8	4,77	-1021,3	-2,97
Total	34396,4	100	34396,4	100	34396,4	100						

6.1.1 Etat d'occupation du sol en 1986

La cartographie de l'occupation du sol en 1986, montre une dominance remarquable de la chênaie, 40,23% de la surface totale, puis le sol nu, 29,31%. Les pelouses et les cultures représentent des pourcentages faibles, 3,36% et 1,53% respectivement.

La cédraie à cette date s'étend une superficie de 3005,12 ha, soit 8,74% de la surface totale de la forêt de Belezma.

D'après Sahli (2004), La superficie totale occupée par les cédraies du massif de l'Aurès est de 8000 ha morcelés en quatre forêts : forêt du Chelia, d'Ouled Yacoub, de Sgag et des Ouled Fedhala. Mais c'est sur le massif du Belezma que l'on trouve, d'un seul tenant, une cédraie de près de 5000 ha. Cependant, dans ces zones le cèdre est à la limite méridionale de son aire de répartition, sous un climat semi-aride à subhumide d'altitude où le total moyen de pluie ne dépasse que rarement 800 mm par an.

6.1.2. Etat de l'occupation du sol en 2000

En 2000, La chênaie été aussi la classe dominante dans la zone d'étude sur une extension de 11394,9 ha, soit 33,13% de la surface totale, suivi par le sol nu avec une superficie de 7416,81 ha, soit 21,56% de la surface de la zone d'étude.

La cédraie en 2000 a connu une diminution de 3005,12 ha à 2203,31 ha, soit de 8,74% à 6,41% de la surface totale. Il est signalé par Sahli (2004), De vastes surfaces de forêt se sont desséchées sur pied la décennie 1991–2000 et par Kherchouche et al (2013), la période 1993-2002 semble être la plus sèche. On peut dire que la sécheresse c'est un facteur du dépérissement de cèdre mais d'autres facteurs tels que les insectes défoliateurs peuvent affecter le cèdre.

L'augmentation des surfaces des autres formations telles que la pineraie et la junipéraie qui occupaient 13,65% et 17,93% respectivement.

6.1.3. Etat de l'occupation du sol en 2017

En ce qui concerne l'état de l'occupation du sol dans cette année la carte d'occupation du sol montre que la classe de chênaie reste toujours la classe dominante mais en diminution d'une période à l'autre. Elle occupe une superficie de 10811,07 ha, soit 31,43% de la surface de la zone d'étude. Suivi par le sol nu qui s'étend sur une superficie de 9058,61 ha, soit 26,34%.

La superficie de la cédraie a diminué à 1979,01 ha, soit 5,75% de la surface totale. On remarque aussi la diminution de la surface de la pineraie et la junipéraie et l'augmentation des superficies des cultures et des pelouses à l'inverse de l'année 2000.

La diminution des maquis de chêne vert et des formations du pin est due principalement par les incendies aux dernières années (voir annexe 5). Il est remarqué que les surfaces des cultures ont augmenté par rapport à l'année 2000 tout simplement car la population qui a quitté la région avant 2000 à cause des problèmes de sécurité, elle a revenu.

6.1.4. Les différents changements détectés entre 1986, 2000 et 2017

Entre 1986 et 2000, on peut remarquer une diminution de la cédraie (de 8,74 à 6,41%), des chênaies (de 40,23 à 33,13%) et des sols nus (de 29,31 à 21,56%). Une faible augmentation des pelouses (de 3,36 à 3,82%), des cultures (de 1,53 à 3,51%), des pineraies (de 10,37 à 13,65%) et une augmentation importante des junipéraie (de 6,47 à 17,93%).

Entre 2000 et 2017, les cédraies ont diminués de 6,41 à 5,75%, les chênaies de 33,13 à 31,43, les junipéraie de 17,93 à 11,81% et les pineraies de 13,65 à 8,21%. Tandis que les

autres classes ont augmentés, de 3,82 à 7,34% pour les pelouses, de 3,51 à 9,12% pour les cultures et de 21,56 à 26,34% pour les sols nus.

Enfin entre 1986 et 2017, on peut remarquer d'une part, la diminution des cédraies (de 8,74 à 5,75%), des chênaies (de 40,23 à 31,43%), des pineraies (de 10,37 à 8,21%) et des sols nus (de 29,31 à 26,34%), d'autre part, l'augmentation des junipéraie (de 6,47 à 11,81%), des pelouses (de 3,36 à 7,34%) et des cultures (de 1,53 à 9,12%).

Les graphes suivants représentent les différences des surfaces des unités d'occupation du sol entre les trois dates d'études :

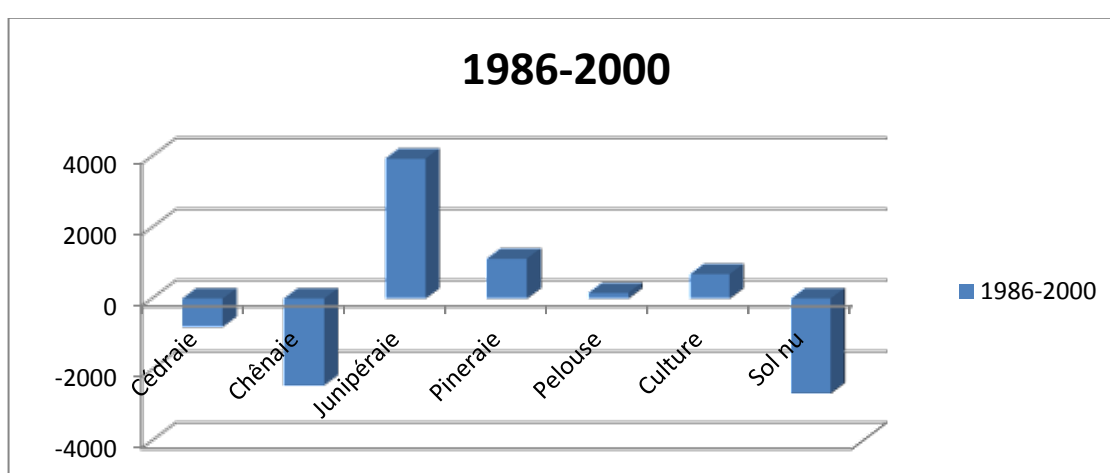


Figure 28 : Différence des surfaces des unités d'occupation du sol en hectare entre 1986 et 2000.

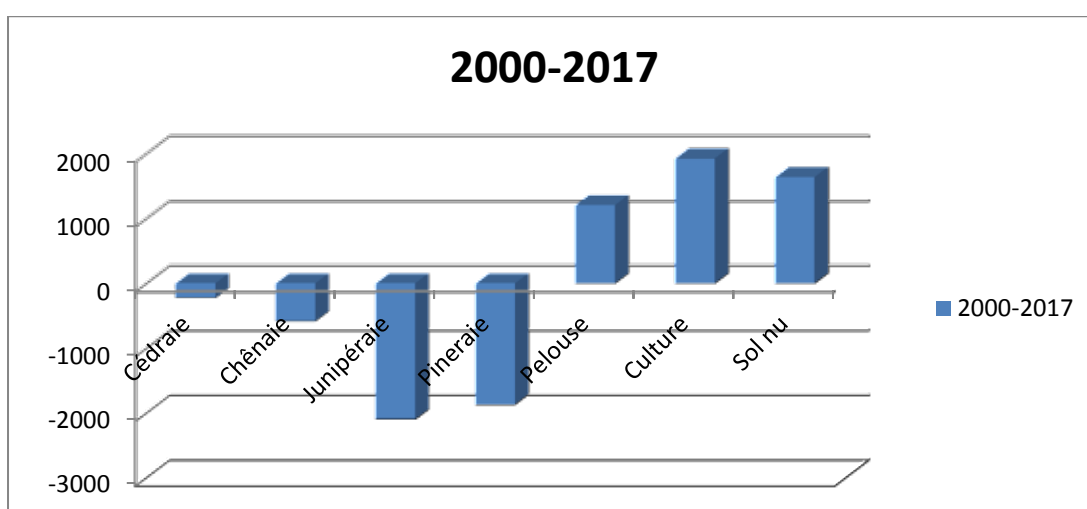


Figure 29 : Différence des surfaces des unités d'occupation du sol en hectare entre 2000 et 2017.

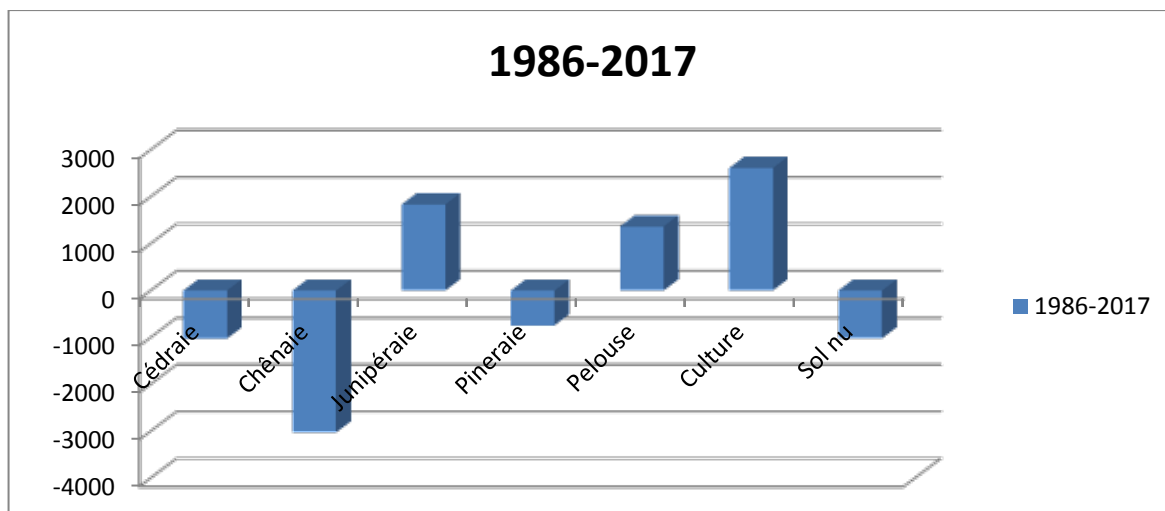


Figure 30 : Différence des surfaces des unités d'occupation du sol en hectare entre 1986 et 2017.

Au vu des résultats précédents, on peut remarquer tout au long de cette période d'étude (1986-2017), une diminution importante des formations forestières (cédraie, chênaie et pinaeraies) au contraire des autres formations telles que les pelouses, les cultures, etc. ce qui confirme une dégradation de la forêt de Belezma vers des forêts claires ou de maquis et de garrigue de chêne vert et d'oxycèdre vis-à-vis vers des autres formations plus dégradées. Cette dégradation résulte de différents facteurs soit anthropiques ou naturels.

Les cédraies de Belezma ont souffert du dépérissement du cèdre qui touche généralement toute la cédraie mais plus particulièrement la partie Nord et Nord-ouest de la forêt (Djebel bordjem et Chlaala).



Figure 31 : Dépérissement du cèdre-Bordjem (Barbache, 2015).

6.1.5. Analyse du changement des unités d'occupation du sol entre 1986 et 2017

Les changements des unités d'occupation du sol entre 1986 et 2017 sont représentés dans la carte suivante, puis on extrait la matrice de transition d'occupation du sol et le pourcentage des superficies changées et non changées. On peut illustrer par cette analyse l'évolution et la dynamique de chaque unité dans l'espace et dans le temps.

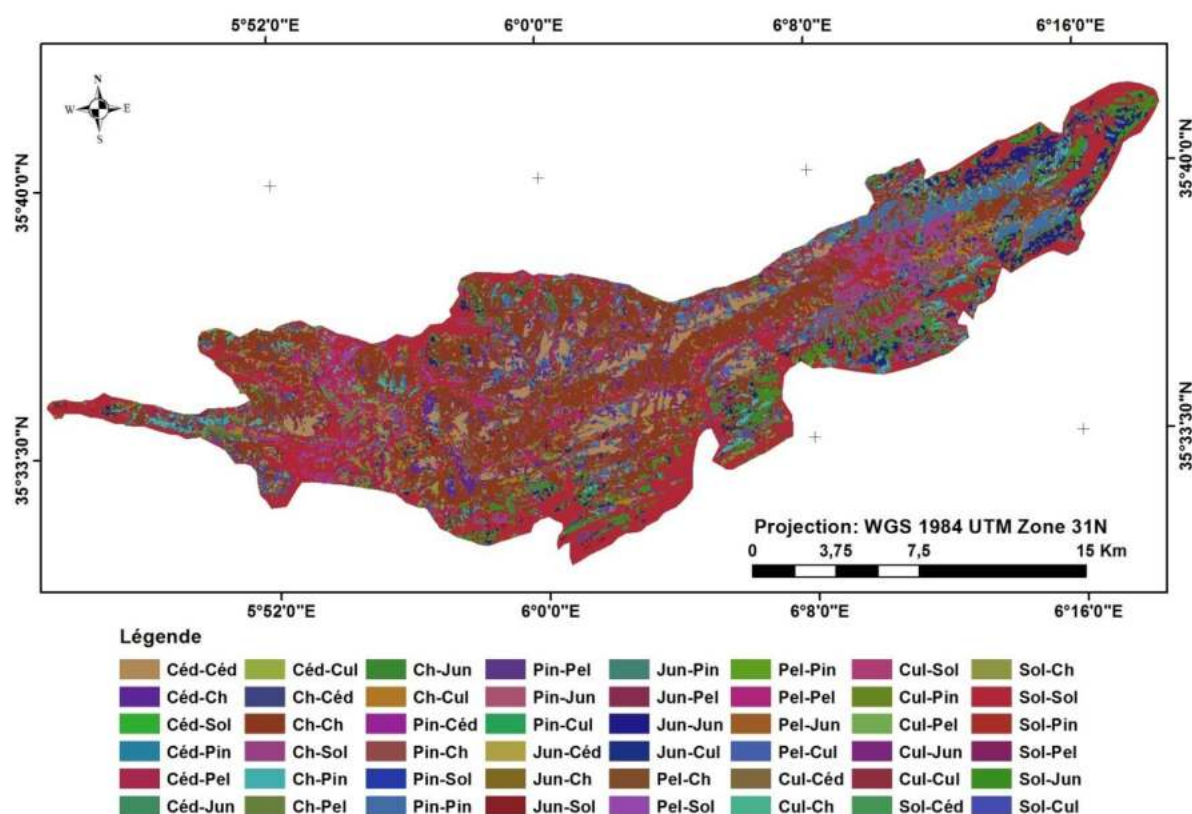


Figure 32 : Carte de changements des unités d'occupation du sol de Belezma entre 1986 et 2017

(Céd : Cédraie, Ch : Chênaie, Sol : Sol nu, Pin : Pineraie, Jun : Junipéraie, Pel : Pelouse, Cul : Culture).

6.1.5.1. Unité de Cédraie

52,53% de la forêt de cèdre reste sans changement au cours de cette période soit 1594,17 ha. Tandis que le reste de la forêt a transformé en autres formations, la plus importante surface c'est de chêne vert avec un pourcentage de 30,87% de la cédraie, puis la pineraie 12,87%.

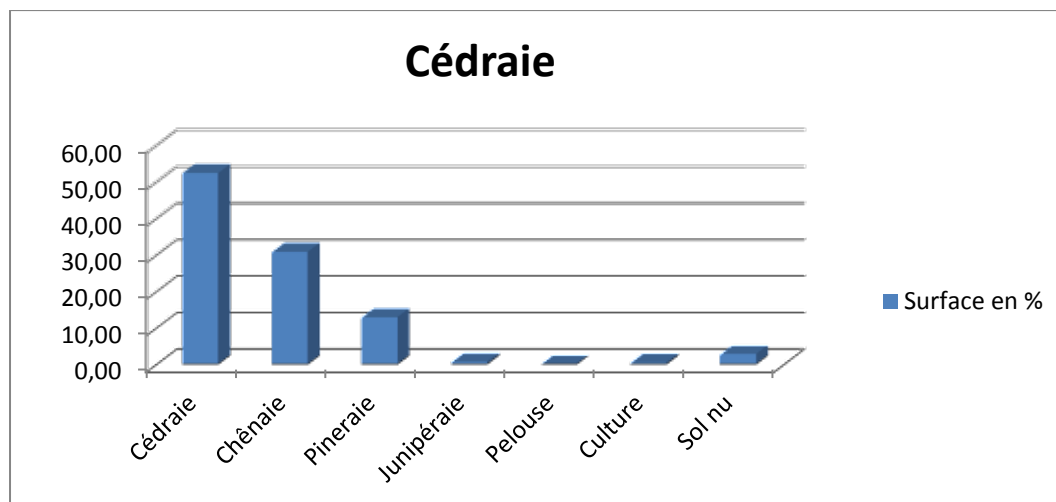


Figure 33: Présentation de dynamique des changements des cédraies entre 1986-2017.

6.1.5.2. Unité de chênaie

De 1986 jusqu'à 2017, presque 60% des chênaies restent sans changements, soit 8448 ha, alors que 10,70% de la surface totale des chênaies a transformé en sol nu, 9,69% en junipéraie, 8,92% en culture, 6,12% en pineraie et 5,81% en pelouses.

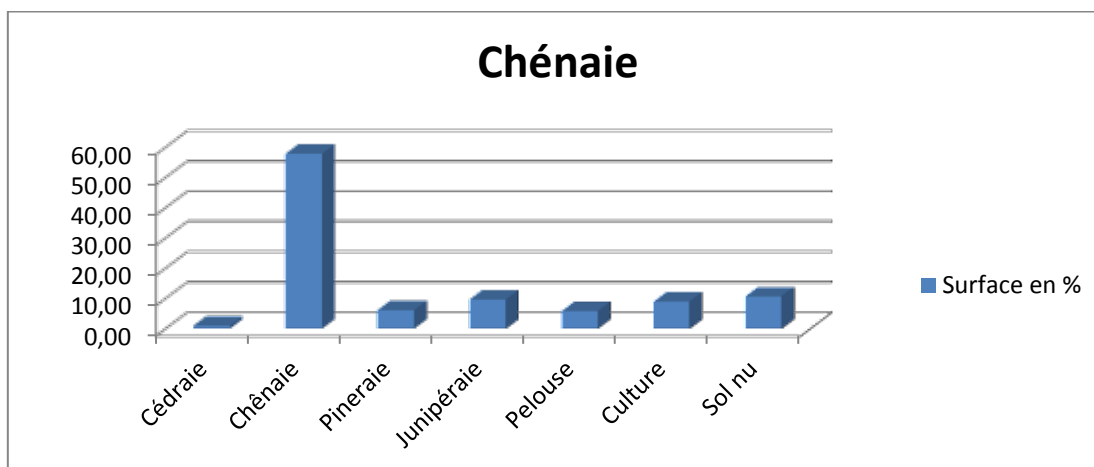


Figure 34 : Présentation de dynamique des changements des chênaies entre 1986-2017.

6.1.5.3. Unité de Pineraie

1554,12 ha de la surface totale des pineraies ont subi des transformations vers la chênaie, soit 47,13%, c'est une régression remarquable de la pineraie à cause des grands incendies au niveau de la forêt de Belezma notamment ces dernières années. 172,53 ha a

converti vers la junipéraie, soit 5,23%. 7,69% a transformé en cédraie, sous prétexte de la régénération de cèdre de l'atlas au niveau de cette forêt.



Figure 35 : Régénération de cèdre de l'atlas au niveau de Belezma -Djbel Tuggurt (Barbache, 2015).

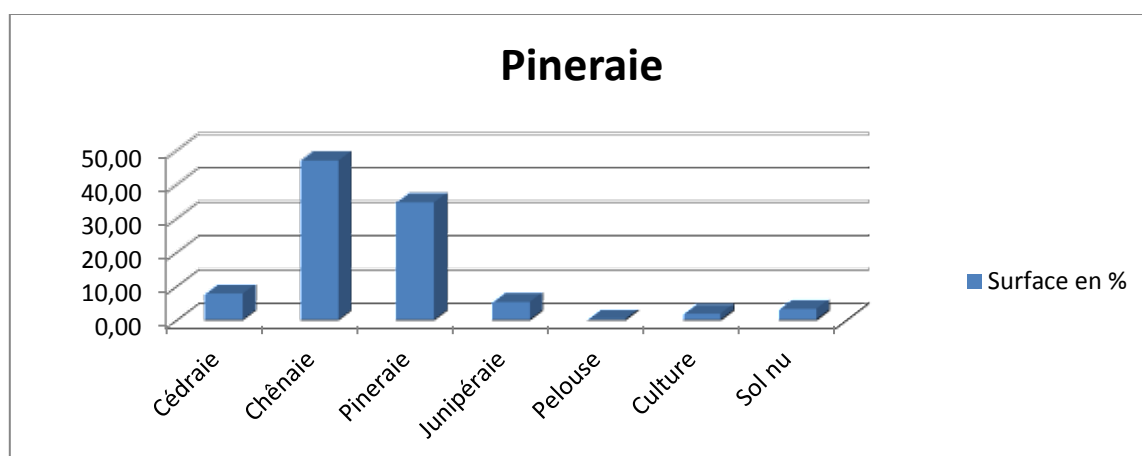


Figure 36 : Présentation de dynamique des changements des pineraies entre 1986-2017.

6.1.5.4. Unité de junipéraie

Une surface de 1109,25 ha a resté sans changements, le reste a transformé en sol nu (382,23 ha), en chênaie (187,74 ha), en culture (112,77 ha), en pineraie (62,91 ha) et en pelouse (6,12 ha).

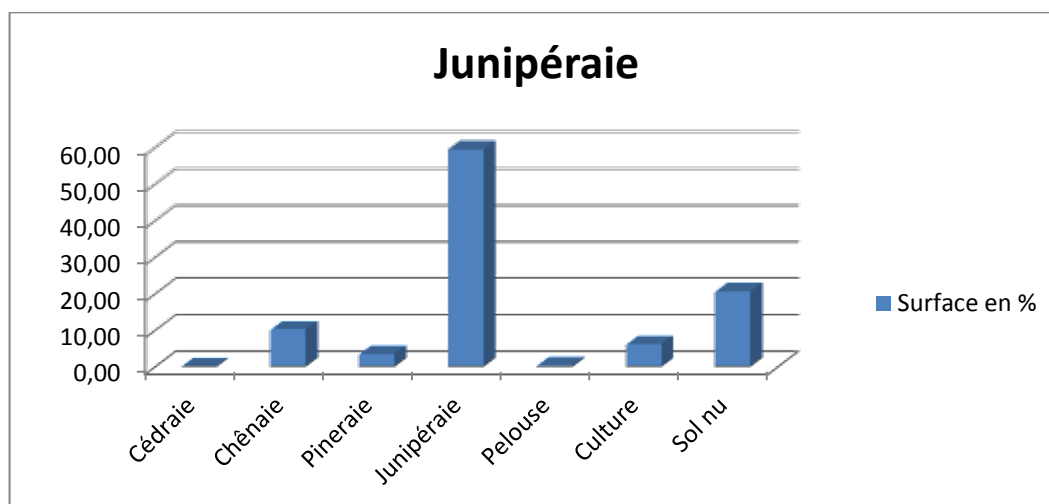


Figure 37 : Présentation de dynamique des changements de junipéraie entre 1986-2017.

6.1.5.5. Unité de pelouse

649,53 ha des pelouses a resté sans changement, 180,36 ha s'est converti en sol nu, 62,37 ha en culture et 55,98 ha en chênaie.

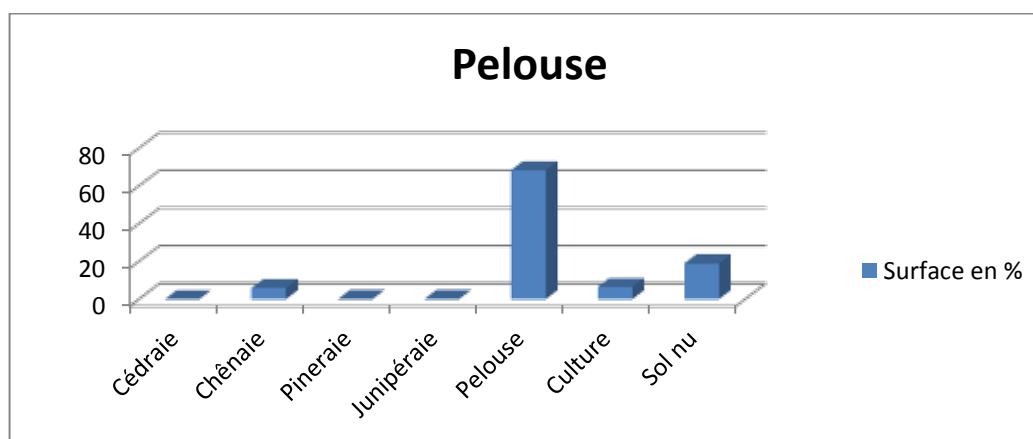


Figure 38 : Présentation de dynamique des changements des pelouses entre 1986-2017.

6.1.5.6. Unité de culture

Les surfaces occupées par les cultures ont subi des transformations importantes vers des pelouses (130,95 ha). 46,71 ha vers des sols nus et 28,44 ha vers chênaie.

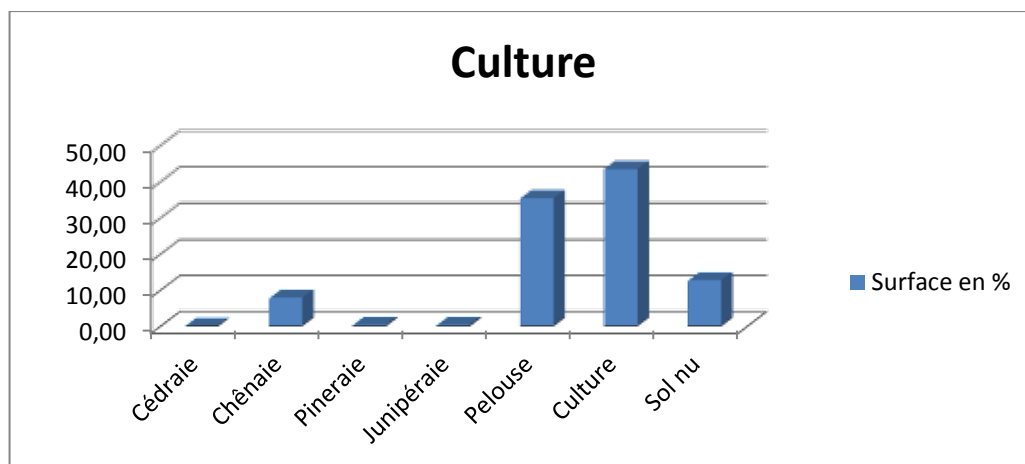


Figure 39 : Présentation de dynamique des changements des cultures entre 1986-2017.

6.1.5.7. Unité de sol nul

7227,99 ha de la surface occupée par le sol nu restent sans changement, alors que le sol nu s'est converti en junipéraie (1216,89 ha), en chênaie (476,82 ha), et en pineraie (128,7 ha). Ceci s'explique par le fait que les sols nus sont limitrophes aux junipéraie, chênaies et pineraies. 618,66 ha s'est converti en culture et 601,65 ha en pelouse.

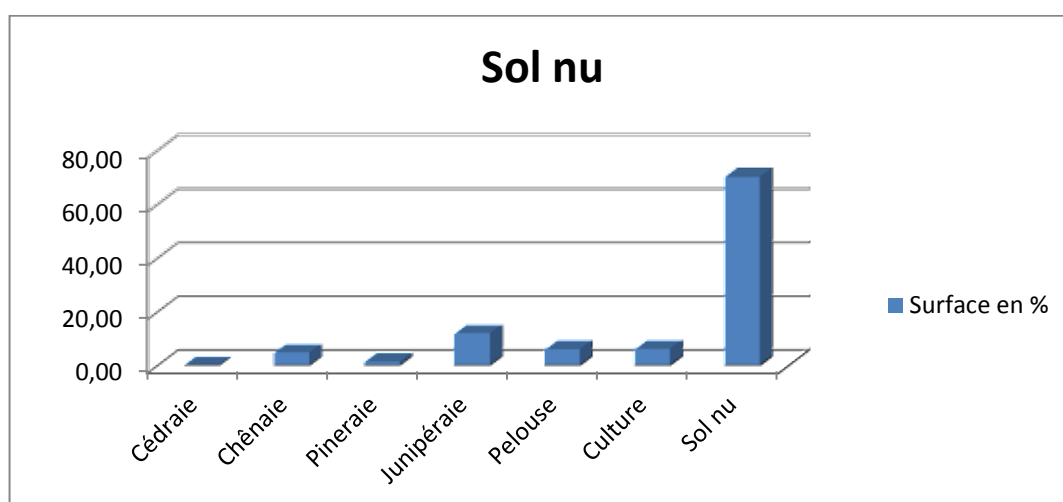


Figure 40 : Présentation de dynamique des changements des sols nus entre 1986-2017.

Tableau 7: Matrice de transition d'occupation de sol entre 1986 et 2017 (superficie en ha).

	2017							
		Cédraie	Chênaie	Pineraie	Junipéraie	Pelouse	Culture	Sol nu
1986	Cédraie	1594,17	936,81	390,51	17,46	1,08	12,78	81,54
	Chênaie	139,23	8448	894,42	1416,33	848,97	1303,56	1563,84
	Pineraie	253,53	1554,12	1144,98	172,53	7,83	59,76	104,85
	Junipéraie	0,99	187,74	62,91	1109,25	6,12	112,77	382,23
	Pelouse	0,00	55,98	0,63	1,17	649,53	62,37	180,36
	Culture	0,18	28,44	1,17	0,99	130,95	160,92	46,71
	Sol nu	1,98	476,82	128,7	1216,89	601,65	618,66	7227,99

Un pourcentage de 40,88% de la surface changée au cours d'une période de 31 ans, c'est presque la moitié de la surface étudiée (34396,4 ha) a connu un changement important au niveau de toutes les unités d'occupation du sol étudiées. Dont, 65,87% de la surface changée est une évolution régressive de la forêt.

Tableau 8 : Les changements en surface des unités entre 1986-2017.

Période	Superficie sans changement		Superficie changée						Total	
			Totale		Changement positif		Changement négatif			
1986-2017	ha	%	ha	%	ha	%	Ha	%	ha	%
	20334,84	59,12	14061,56	40,88	4 799,03	34,13	9262,53	65,87	34396,4	100

6.2.Forêt de Guettiane :

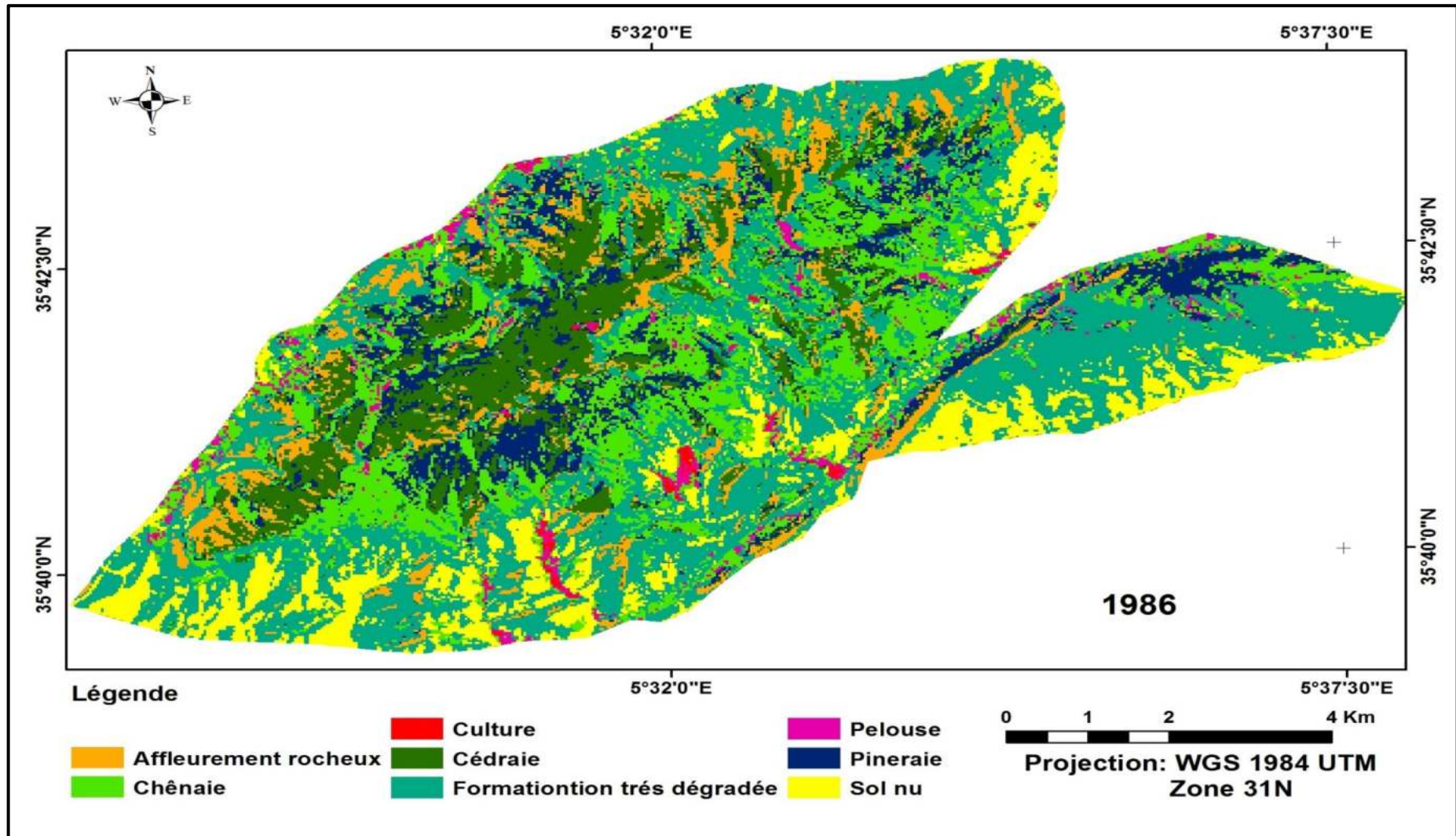


Figure 41 : Carte d'occupation du sol de Guettiane 1986.

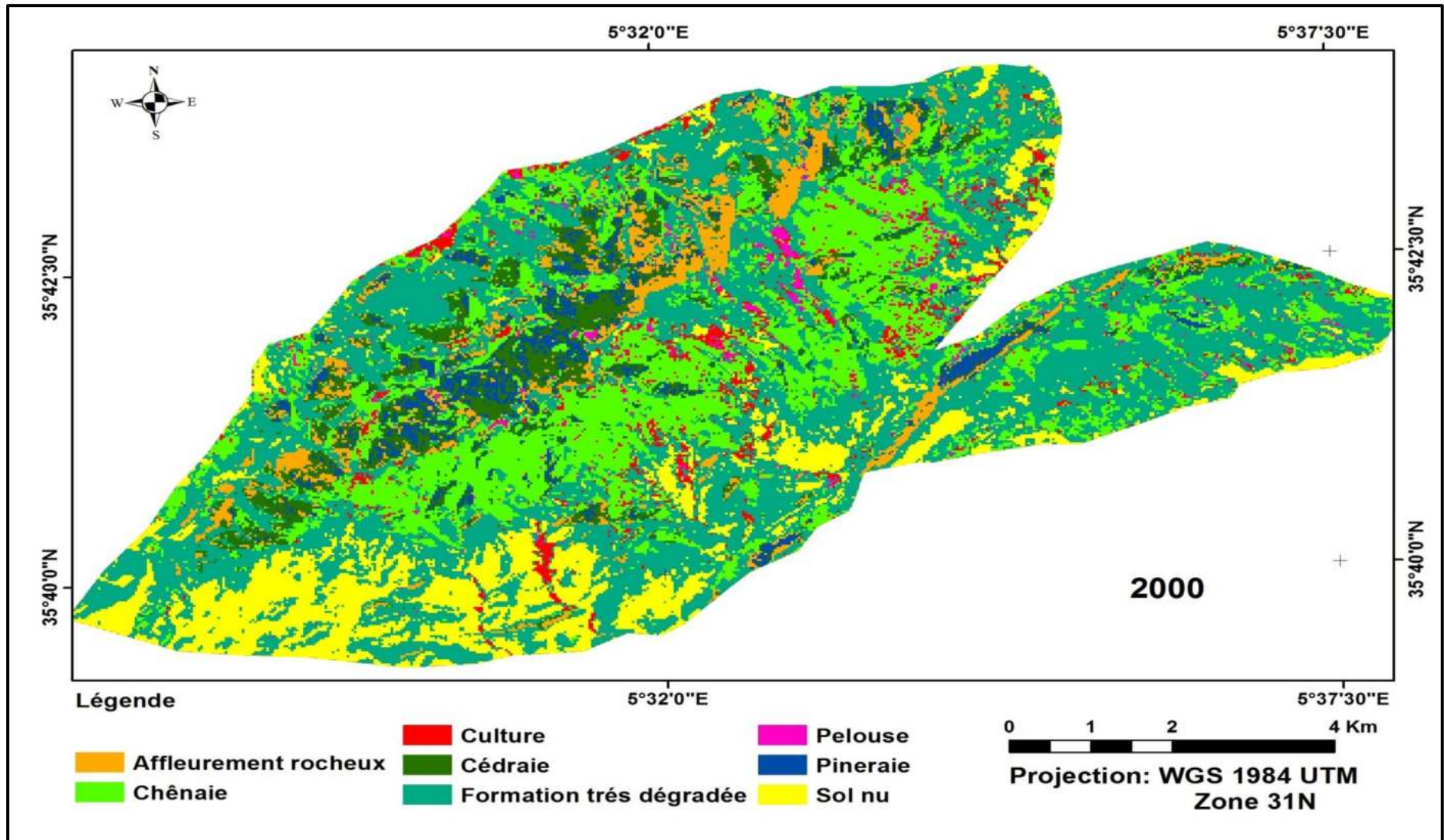


Figure 42 : Carte d'occupation du sol de Guettiane 2000.

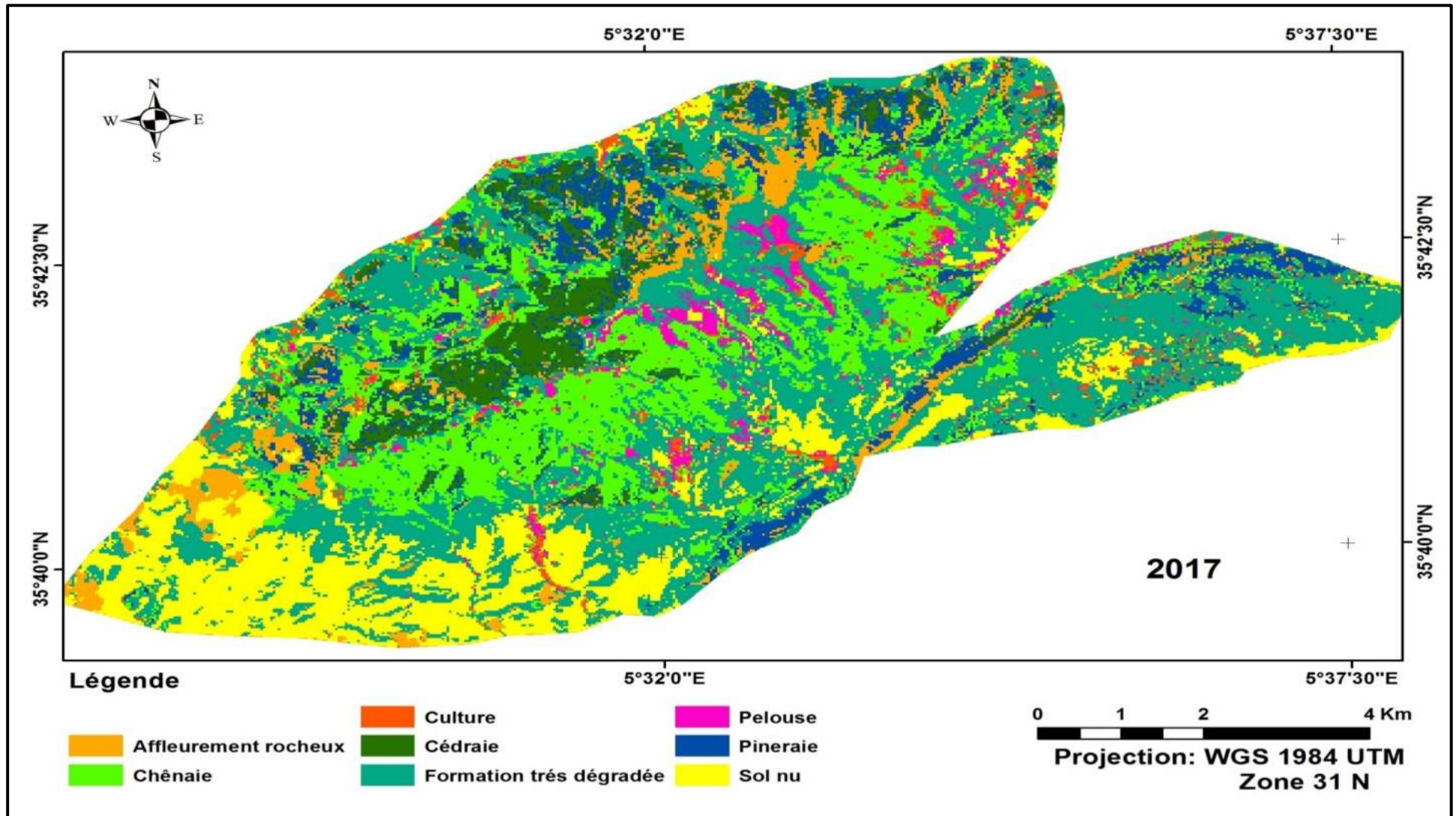


Figure 43 : Carte d'occupation du sol de Guettiane 2017.

Tableau 9: Suivi de la dynamique de la végétation de Guettiane pendant 1986 et 2017.

Classe	Superficie en 1986		Superficie en 2000		Superficie en 2017		Dynamique entre 1986-2000		Dynamique entre 2000 et 2017		Dynamique entre 1986-2017	
	(ha)	%	(ha)	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Cédraie	910,89	12,15	572,67	7,64	478,08	6,37	-338,22	-4,51	-94,59	-1,26	-432,81	-5,77
Chênaie	1388,43	18,51	1660,5	22,14	1431,9	19,09	272,07	3,63	-228,6	-3,05	43,47	0,58
Pineraie	751,59	10,02	306,54	4,09	665,55	8,87	-445,05	-5,93	359,01	4,79	-86,04	-1,15
Pelouse	187,2	2,50	103,23	1,38	213,66	2,85	-83,97	-1,12	110,43	1,47	26,46	0,35
culture	30,06	0,40	233,82	3,12	238,77	3,18	203,76	2,72	4,95	0,07	208,71	2,78
Formation très dégradée	2728,53	36,38	3174,12	42,32	2734,74	36,46	445,59	5,94	-439,38	-5,86	6,21	0,08
Affl-rocheux	572,34	7,63	418,8	5,58	462,63	6,17	-153,54	-2,05	43,83	0,58	-109,71	-1,46
Sol nu	930,96	12,41	1030,32	13,74	1274,67	17,00	99,36	1,32	244,35	3,26	343,71	4,58
Total	7500	100	7500	100	7500	100						

6.2.1. Etat d'occupation du sol en 1986

La carte de l'occupation du sol de l'année 1986 montre que les cédraies s'occupent une superficie de 910,89 ha soit, 12,15% de la surface totale de la forêt de Guettiane. Les formations très dégradées et les chênaies sont les unités majoritaires avec 36,38% et 18,51% respectivement. Les pineraies occupent 751,59 ha et les sols nus 930,96 ha dans cette année.

6.2.2. Etat d'occupation du sol en 2000

D'après la carte d'occupation du sol et les données de tableau des surfaces on peut remarquer d'un côté, une diminution des superficies des cédraies à 572,67 ha, les pineraies 306,54 ha, les pelouses 103,23 ha et d'autre côté l'augmentation des surfaces des chênaies 1660,50 ha, les cultures 233,82 ha, les formations très dégradées 3174,12 ha soit, 42,32% et les sols nus 1030,32 ha soit, 13,74%.

6.2.3. Etat d'occupation du sol en 2017

En ce qui concerne cette année, les cédraies restent toujours en diminution, elles occupent 478,08 ha soit 6,37% de la surface totale de la forêt de Guettiane. On remarque aussi

une régression des formations très dégradées 36,46% vers des pelouses et des cultures qui ont augmentés 213,66 ha et 238, 77 ha respectivement. Les pineraies aussi ont augmenté par rapport à l'année 2000 (665,55 ha), les sols nus (1274,67 ha), les chênaies (1431,90 ha) et les affleurements rocheux (462,63 ha).

6.2.4. Les différents changements détectés entre 1986, 2000 et 2017

Entre 1986 et 2000 on peut remarquer la diminution des cédraies de 12,15% à 7,64%, un taux important des cédraies de Guettiane a dégradé vers des autres formations due à plusieurs facteurs principalement : le problème de dépérissement du cèdre, le surpâturage, les coupes et les défrichements.

-Diminution des pineraies de 10,02 à 4,09%), des pelouses (de 2,50 à 1,38%) et des affleurements rocheux (de 7,63 à 5,58%).

-Augmentation des chênaies (de 18,51 à 22,14%), des formations très dégradées (de 36,38 à 42,32%), des sols nus (de 12,41 à 13,74%) et des cultures (de 0,40 à 3,12%).



Figure 44: Dépérissement du cèdre de l'atlas à Guettiane (Barbache, 2015).



Figure 45: Les coupes illicites à Guettiane (Barbache, 2015).



Figure 46: Le surpâturage à Guettiane (Barbache, 2015).

Entre 2000 et 2017, on peut remarquer les changements suivants :

-Diminution des cédraies (de 7,64 à 6,37%), des chênaies (de 22,14 à 19,09%) et des formations très dégradées (de 42,32 à 36,46%).

-Augmentation des pineraies (de 4,09 à 8,87%) due aux reboisements de pin d'Alep au niveau de la forêt de Guettiane, des pelouses (de 1,38 à 2,85%), des affleurements rocheux (de 5,58 à 6,17%), des sols nus (de 13,74 à 17%) et une faible augmentation des cultures (de 3,12 à 3,18%).

Entre 1986 et 2017, les cartes d'occupations du sol et les surfaces extraites du tableau illustrent les changements suivants :

-Presque la moitié des cédraies a dégradé (de 12,15 à 6,37%).

-Diminution des surfaces de pineraies (de 10,02 à 8,87%), et des affleurements rocheux (de 7,63 à 6,17%).

-Augmentation des surfaces de chênaies (de 18,51 à 19,09%), de pelouses (de 2,50 à 2,85%), des cultures (de 0,40 à 3,18%), des formations dégradées (36,38 à 36,46%) et des sols nus (de 12,41 à 17%).

On représente les différences des surfaces des unités d'occupation du sol entre les trois dates d'études dans les graphes suivants :

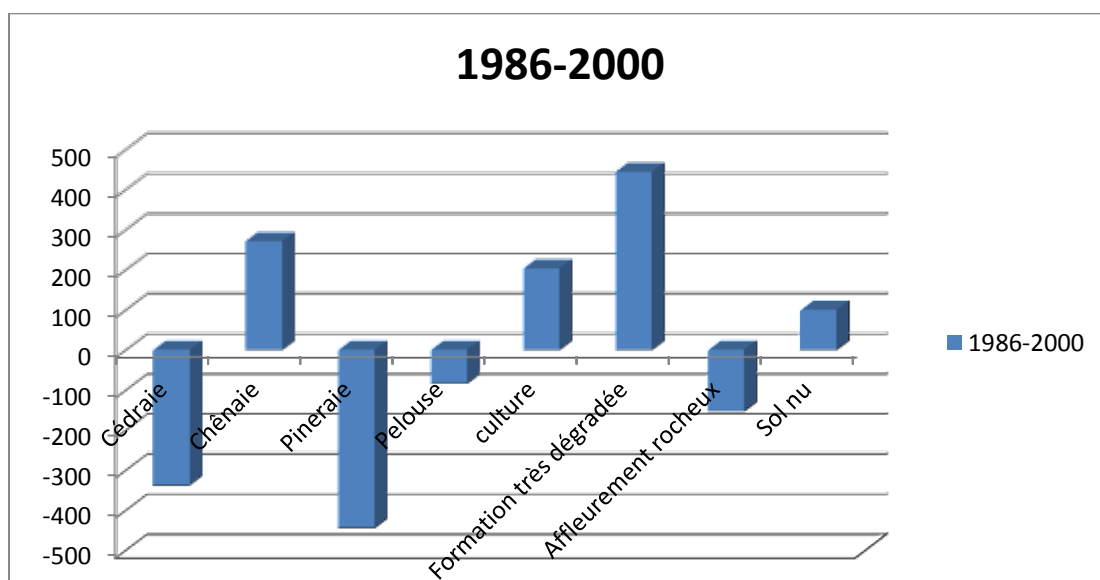


Figure 47: Différence des surfaces des unités d'occupation du sol en hectare entre 1986 et 2000.

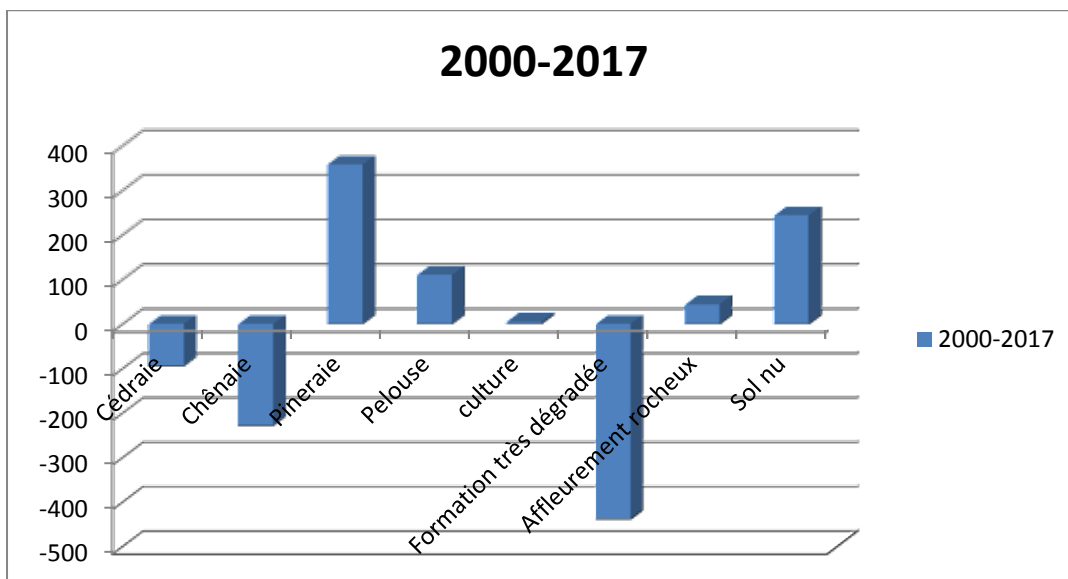


Figure 48: Différence des surfaces des unités d'occupation du sol en hectare entre 2000 et 2017.

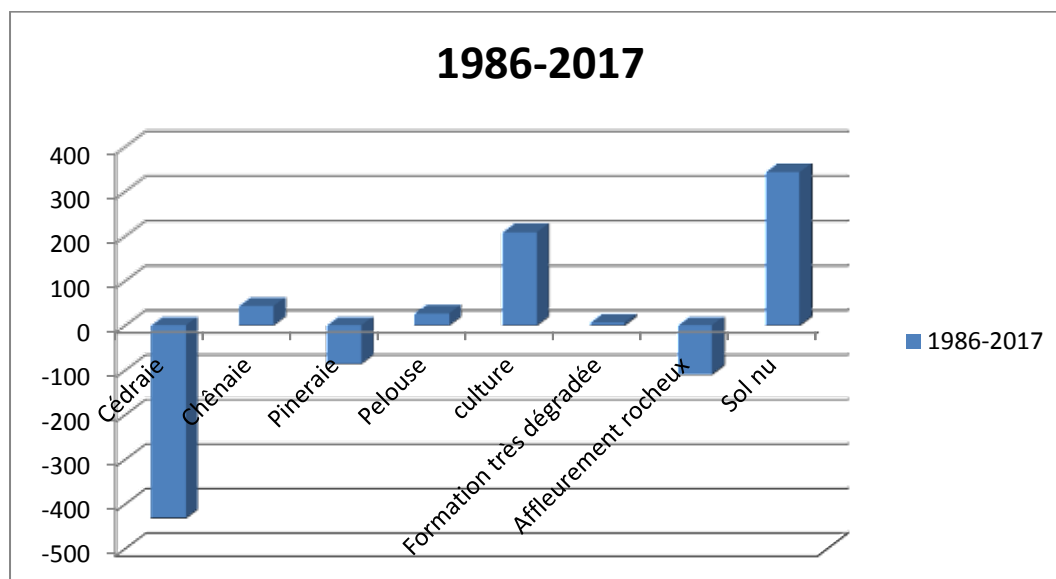


Figure 49: Différence des surfaces des unités d'occupation du sol en hectare entre 1986 et 2017.

6.2.5. Analyse du changement des unités d'occupation du sol entre 1986 et 2017

A partir de la carte des changements au-dessous, on va analyser l'évolution et la dynamique de chaque unité d'occupation du sol dans l'espace et dans le temps.

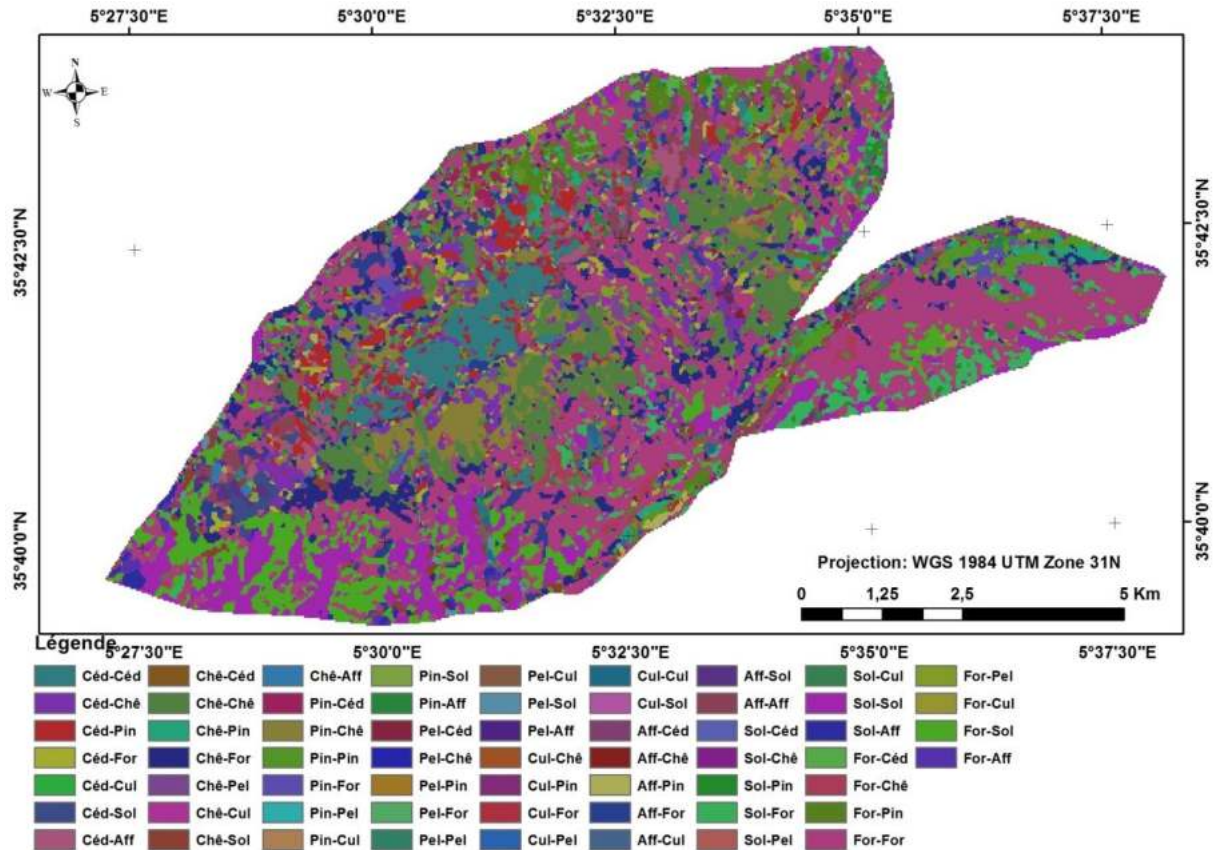


Figure 50: Carte de changements des unités d'occupation du sol de Guettiane entre 1986 et 2017

(Céd : Cédraie, Chê : Chênaie, Sol : Sol nu, Pin : Pinaie, For : Formation très dégradée, Pel : Pelouse, Cul : Culture, Aff : Affleurements rocheux).

6.2.5.1. Unité de cédraie :

Les cédraies de Guettiane ont subi des transformations vers : les chênaies (23,04%), les pinaies (20,98%), les formations très dégradées (12,05%) et les affleurements rocheux (13,39%). Ce sont les transformations les plus importantes au cours de cette période d'étude.

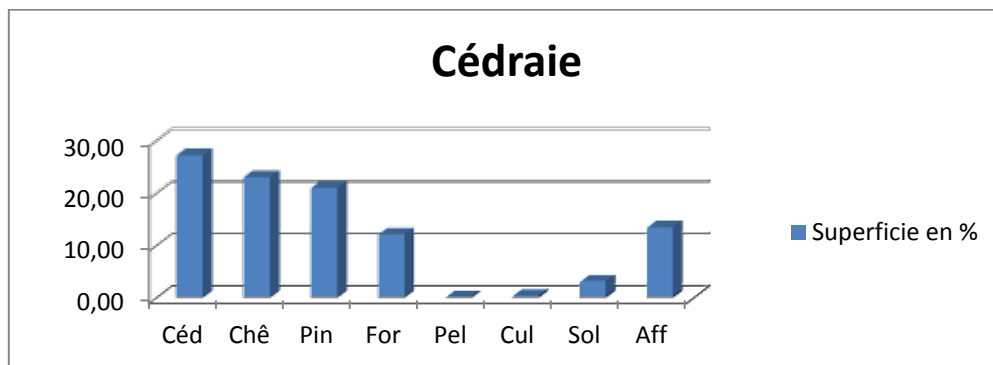


Figure 51: Présentation de dynamique des changements des cédraies entre 1986-2017.

6.2.5.2. Unité de chênaie

44,40% des chênaies n'est pas changée, 30,53% de la surface totale des chênaies a été converti vers des formations très dégradées, 6,21% vers des pineraies, 5,61% vers des sols nus, 5,17% vers des pelouses, 4,84% vers des cultures, 1,45% vers des affleurements rocheux et 1,75% vers des cédraies.

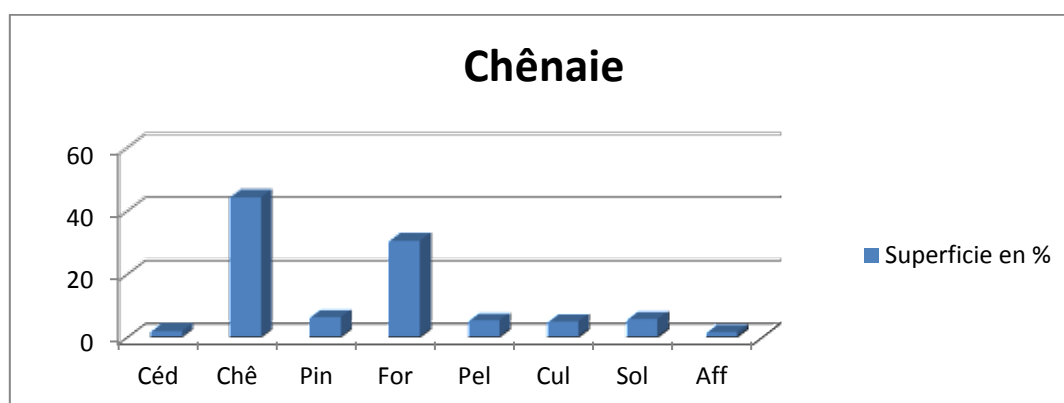


Figure 52: Présentation de dynamique des changements des chênaies entre 1986-2017.

6.2.5.3. Unité de pineraie

Une grande superficie des pineraies a transformé en chênaie (42,83%), 18,18% a resté sans changement, 11,18% a été converti vers des cédraies et 17,78% vers des formations très dégradées.

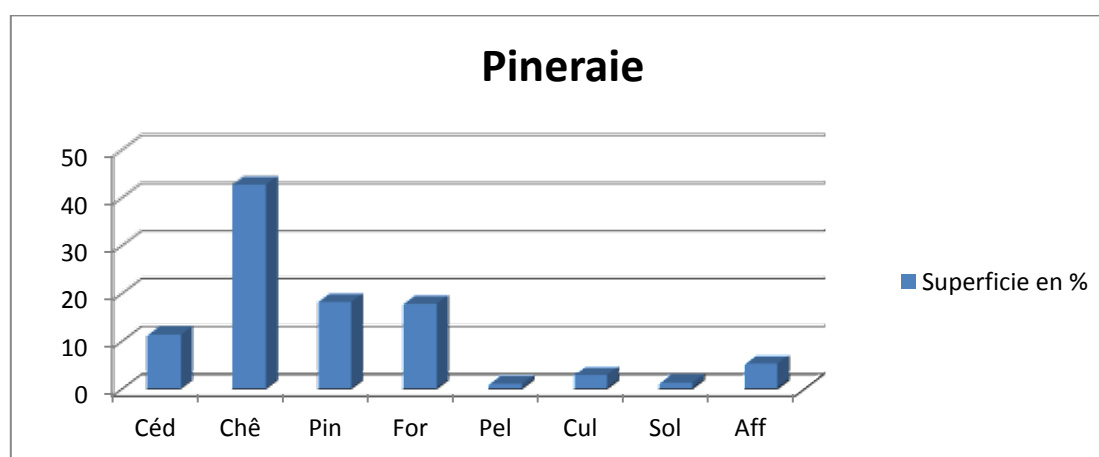


Figure 53: Présentation de dynamique des changements des pineraies entre 1986-2017.

6.2.5.4. Unité de pelouse

16,87% de la surface totale des pelouses n'est pas changée, alors que le reste a été converti beaucoup plus en formations très dégradées (27,54%), chênaie (21,01%), culture (14,95%), sol nu (10,38%) et des pineraies (5,96%).

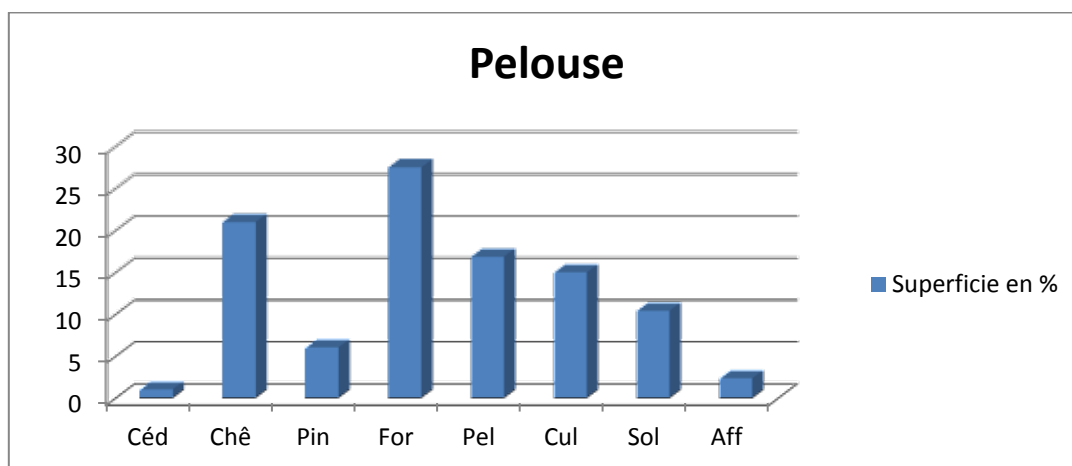


Figure 54: Présentation de dynamique des changements des pelouses entre 1986-2017.

6.2.5.5. Unité de culture

34,43% a resté sans changement, 26,94% a subi des transformations vers des pelouses, 20,35% vers des chênaies et 11,07% vers des formations très dégradées.

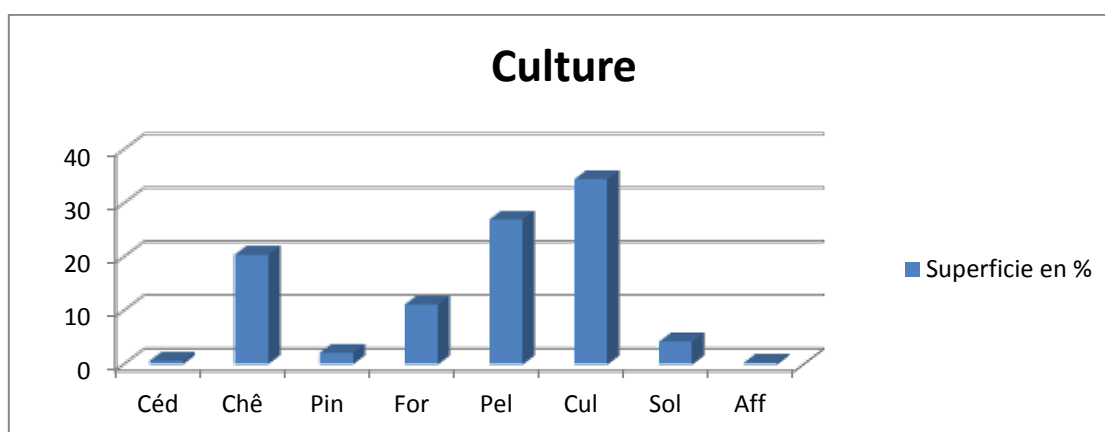


Figure 55: Présentation de dynamique des changements de culture entre 1986-2017.

6.2.5.6. Unité des affleurements rocheux

Concernant les affleurements rocheux, 28,04% a resté sans changement, 37,51% a été converti vers des formations très dégradées, 11,84% vers des pineraies, 9,02% vers des cédraies, 6,79% vers des chênaies et 5,91% vers des sols nus.

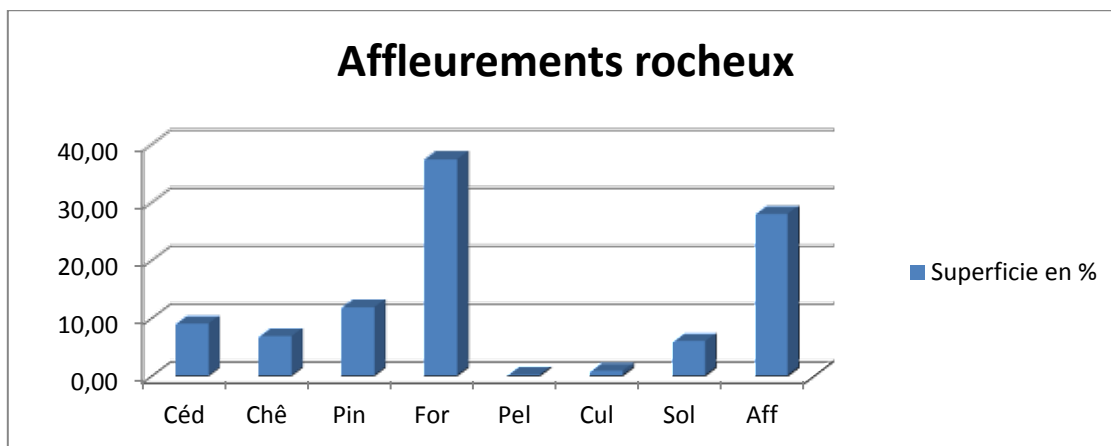


Figure 56: Présentation de dynamique des changements des affleurements rocheux entre 1986-2017.

6.2.5.7. Unité des sols nus

Pour les sols nus 59,91% a resté sans changement, 25,85% a transformé vers des formations très dégradées, 3,75% vers des cultures et 3,06% vers des chênaies.

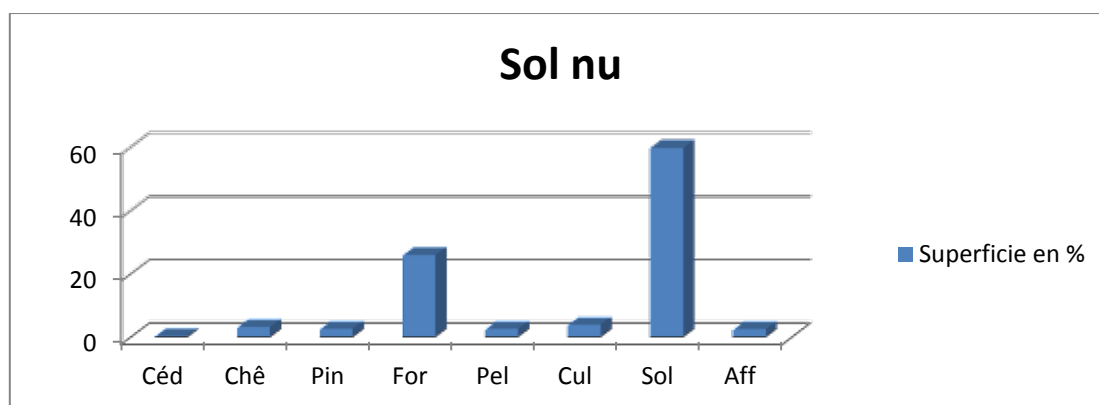


Figure 57 : Présentation de dynamique des changements des sols nus entre 1986-2017.

6.2.5.8. Unité des formations très dégradées

57,06% des formations très dégradée n'est pas changée, 20,11% a été converti vers sol nu, 6,25% vers des chênaies et 5,45% vers des pineraies.

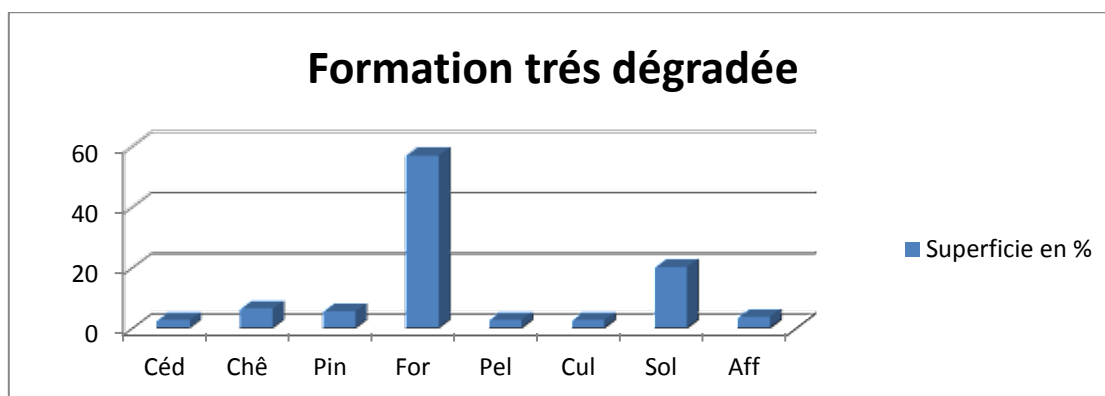


Figure 58: Présentation de dynamique des changements des formations très dégradées entre 1986-2017.

Tableau 10: Matrice de transition d'occupation de sol entre 1986 et 2017 (superficie en ha).

	2017								
	Céd	Chê	Pin	For	Pel	Cul	Sol	Aff	
1986	Céd	247,86	209,88	191,16	109,80	0,2	2,7	27,18	122,04
	Chê	24,3	616,59	86,22	423,90	71,91	67,32	77,94	20,25
	Pin	84,06	321,93	136,71	133,65	7,02	21,15	8,46	38,61
	For	66,51	170,64	148,86	1557,09	71,82	69,66	548,73	95,22
	Pel	1,8	39,33	11,16	51,57	31,59	27,99	19,44	4,32
	Cul	0,18	6,12	0,63	3,33	8,1	10,35	1,26	0,09
	Sol	1,7	28,53	23,04	240,66	22,32	35,28	557,82	21,60
	Aff	51,66	38,88	67,77	214,74	0,63	4,32	33,84	160,5

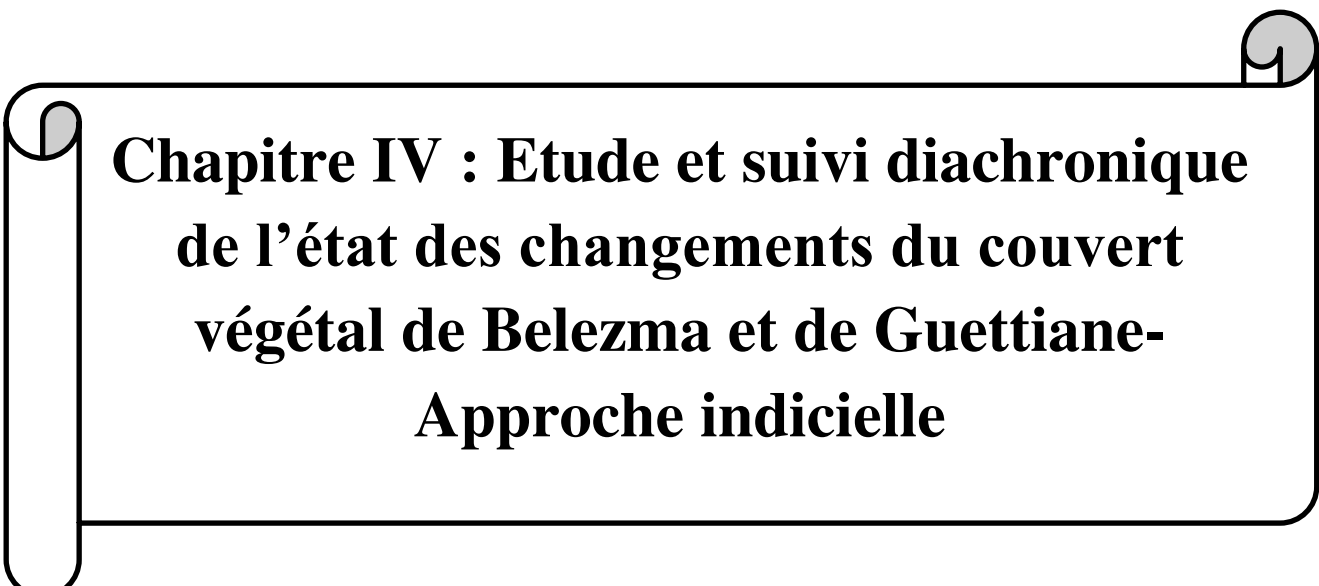
Un pourcentage de 55,75% de la surface changée au cours d'une période de 31 ans, c'est plus que la moitié de la surface étudiée (7500 ha) de la forêt de Guettiane a connu un changement important au niveau de toutes les unités d'occupation du sol étudiées et presque 70% de la surface changée est une évolution régressive de la forêt.

Tableau 11: Les changements en surface des unités entre 1986-2017.

Période	Superficie sans changement		Superficie changée						Total	
			Totale		Changement positif		Changement négatif			
1986-2017	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
		3318,51	44,25	4181,49	55,75	1466,26	35,07	2715,23	64,93	7500

Conclusion

Cette approche de l'analyse spatiotemporelle nous a permis de montrer des changements importants pendant la période 1986-2017, des changements négatifs marquants au sein des deux cédraies, la régression des forêts de cèdre, l'augmentation des surfaces occupées par des junipérais pour la forêt de Belezma, l'augmentation des chênaies pour la forêt de Guettiane et l'augmentation des pelouses, des cultures et des sols nus au cours du temps. En général une dégradation de la forêt vers des formations très claires et ouvertes.



**Chapitre IV : Etude et suivi diachronique
de l'état des changements du couvert
végétal de Belezma et de Guettiane-
Approche indicielle**

Introduction

La biodiversité forestière est en régression dans la plupart des régions forestières d'Algérie. En effet, outre la vulnérabilité naturelle qui caractérise la forêt méditerranéenne et les formations subforestières, la forêt algérienne continue à subir des pressions diverses et répétées réduisant considérablement ses potentialités végétales, hydriques et édaphiques (Chenoufet *al.*, 2009).

Les technologies d'observation de la terre jouent un rôle majeur dans l'étude, la modélisation et le suivi des phénomènes environnementaux, à des échelles spatiales et temporelles variables, et sur une base objective, exhaustive et permanente. Ces technologies ouvrent ainsi la voie à la mise en place de systèmes d'alerte précoce, et permettent aux politiques et décideurs de définir des stratégies adéquates dans le cadre d'un développement durable (Gérardet *al.*, 2014).

La télédétection permet de surveiller notre environnement sur de larges étendues, de faire des comparaisons dans le temps et dans l'espace afin de mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes (Tidjani et al, 2009). Pour cela on a choisi une des méthodes de télédétection ; l'analyse diachronique des données multidates afin de nous informer sur les signes de dégradation de l'environnement. Donc, l'objectif principal est de montrer le potentiel de l'utilisation de la télédétection et du SIG pour la caractérisation d'état de la couverture forestière et son évolution spatio-temporelle.

L'analyse de la dynamique de la végétation est faite sur la base de l'interprétation des indices végétaux et des indices de télédétection calculés à partir des images satellitaires multidates (1986-2000 et 2017).

1. Données

Les images satellitaires

Les images satellitaires utilisées dans cette étude sont des images de Landsat 5 Thematic Mapper TM (1986), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper ETM+ (2000) et Landsat 8 Operational Land Imager OLI (2017), elles sont acquises en mois d'Avril et Mai, durant ces mois la végétation est en son optimum qui permet une bonne interprétation, calcul des indices de végétation et classification d'image.

L'image LANDSAT couvre une grande superficie «185 Km x 185 Km», la résolution temporelle est potentiellement de 16 jours, la résolution spatiale est de 30 m pour LANDSAT 5 et 7 et de 15 à 100 m pour LDCM 8. La série de données Landsat, commencée en 1972, est le plus long enregistrement continu des changements à la surface de la terre vue de l'espace et le seul système satellite conçu et exploité de manière à observer à plusieurs reprises la surface émergée du globe à une résolution modérée (N.A.S.A, 2013). La charge utile du satellite LDCM se compose de deux instruments scientifiques le terrain opérationnel Imager (OLI) et le capteur infrarouge thermique (TIRS). Ces deux capteurs fourniront une couverture saisonnière de la masse globale à une résolution spatiale de 30 mètres (visible, PIR, MIR), 100 mètres (thermique) et 15 mètres (panchromatique) (N.A.S.A, 2013). Les données Landsat librement disponibles fournissent une ressource unique pour les personnes qui travaillent dans l'agriculture, la géologie, la sylviculture, aménagement du territoire, l'éducation, la cartographie et la recherche sur le changement global (N.A.S.A, 2013).

Le tableau ci-dessous montre les caractéristiques des images utilisées dans cette étude

Tableau 12: Les bandes spectrales de Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+) et Landsat 8 (OLI and TIRS).

Bandes de Landsat 5 TM (μm)	Bande 1	30 m Bleu	0.45-0.52
	Bande 2	30 m Vert	0.52-0.60
	Bande 3	30 m Rouge	0.63-0.69
	Bande 4	30 m Proche infrarouge	0.76-0.90
	Bande 5	30 m Moyen infrarouge (1)	1.55-1.75
	Bande 6	120 m infrarouge thermique	10.40-12.50
	Bande 7	30 m Moyen infrarouge (2)	2.08-2.35
Bandes de Landsat 7 ETM+ (μm)	Bande 1	30 m Bleu	0.441 - 0.514
	Bande 2	30 m Vert	0.519 - 0.601
	Bande 3	30 m Rouge	0.631 - 0.692
	Bande 4	30 m NIR	0.772 - 0.898
	Bande 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749
	Bande 6	60 m TIR-1	10.31 - 12.36
	Bande 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345
	Bande 8	15 m Pan	0.515 - 0.896
Bandes de Landsat 8 OLI and TIRS (μm)	Bande 1	30 m Coastal/Aeros	0.435 - 0.451
	Bande 2	30 m Blue	0.452 - 0.512

	Bande 3	30 m Green	0.533 - 0.590
	Bande 4	30 m Red	0.636 - 0.673
	Bande 5	30 m NIR	0.851 - 0.879
	Bande 6	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651
	Bande 7	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294
	Bande 8	15 m Pan	0.503 - 0.676
	Bande 9	30 m Cirrus	1.363 - 1.384
	Bande 10	100 m TIR-1	10.60 - 11.19
	Bande 11	100 m TIR-2	11.50 - 12.51

2. Méthodologie de travail :

La méthodologie utilisée dans cette étude consiste à une approche indicielle, pour l'extraction de l'information géographique en se basant sur le calcul des indices de végétation et des indices météorologiques NDVI et NDWI et LST à partir des images satellitaires de trois dates (1986, 2000 et 2017). Le schéma ci-dessous illustre bien les grandes étapes adoptées pour le suivi de la végétation :

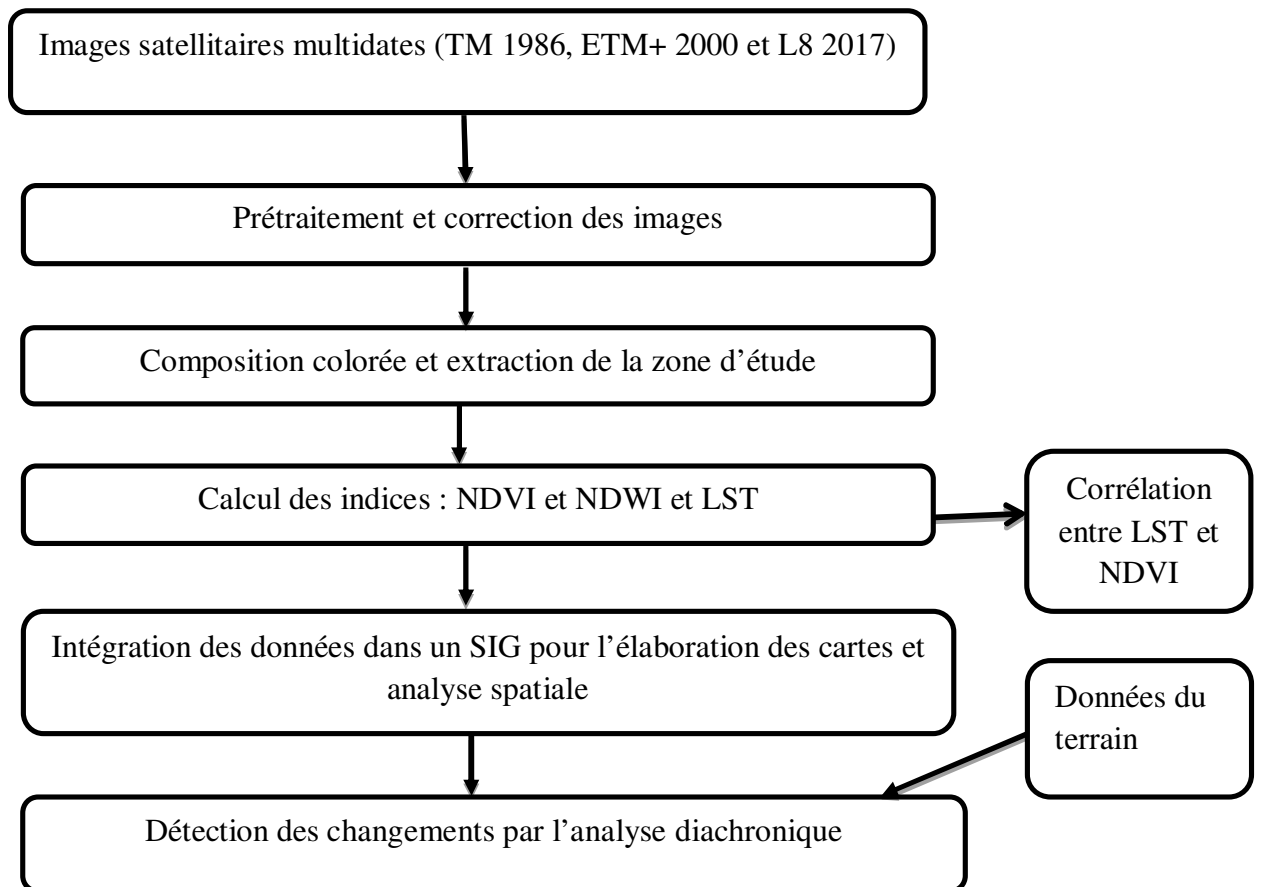


Figure59 : Organigramme méthodologique

2.1.Les corrections géométriques

Elles sont destinées à corriger l'image spatiale des déformations systématiques dues à la prise de vue afin de la rendre superposable à une carte ou à une autre image. Les images satellitaires utilisées ont été géo référencées dans le système de projection (Latitude/Longitude, Type WGS 84).

2.2.Choix de la composition colorée et application d'un masque de la zone d'étude

L'analyse de la signature spectrale des différents objets de l'occupation du sol est une étape importante pour le choix des canaux (Bensaid, 2006). Nous avons utilisé la composition colorée fausse couleur (bande : 4-3-2 pour Landsat 5 et 7 et bande : 5-4-3 pour Landsat 8). Elle associe la bande proche infrarouge, rouge et verte du capteur aux couleurs rouge verte et bleue de l'écran. Cette composition est très efficace pour analyser la végétation, Elle exploite la particularité du spectre réfléchi par les végétaux, qui présente un "pic" important dans le proche infrarouge. Sur une image en "fausses couleurs infrarouge", la végétation qui a une forte activité photosynthétique apparaît en rouge vif (pic de l'infrarouge proche), l'eau apparaît pratiquement en noir (ce matériau absorbe pratiquement toutes les longueurs d'onde) et les surfaces minérales (sol nu, béton), apparaissent dans des tons de bleu à blanc.

La fonction d'un masque est pour but d'éliminer les zones de l'image qui pourraient influencer sur les résultats finales. Dans notre travail on a appliqué un masque afin de déterminer la zone d'étude qui représente les limites de la forêt de Belezma et la forêt de Guettiane.

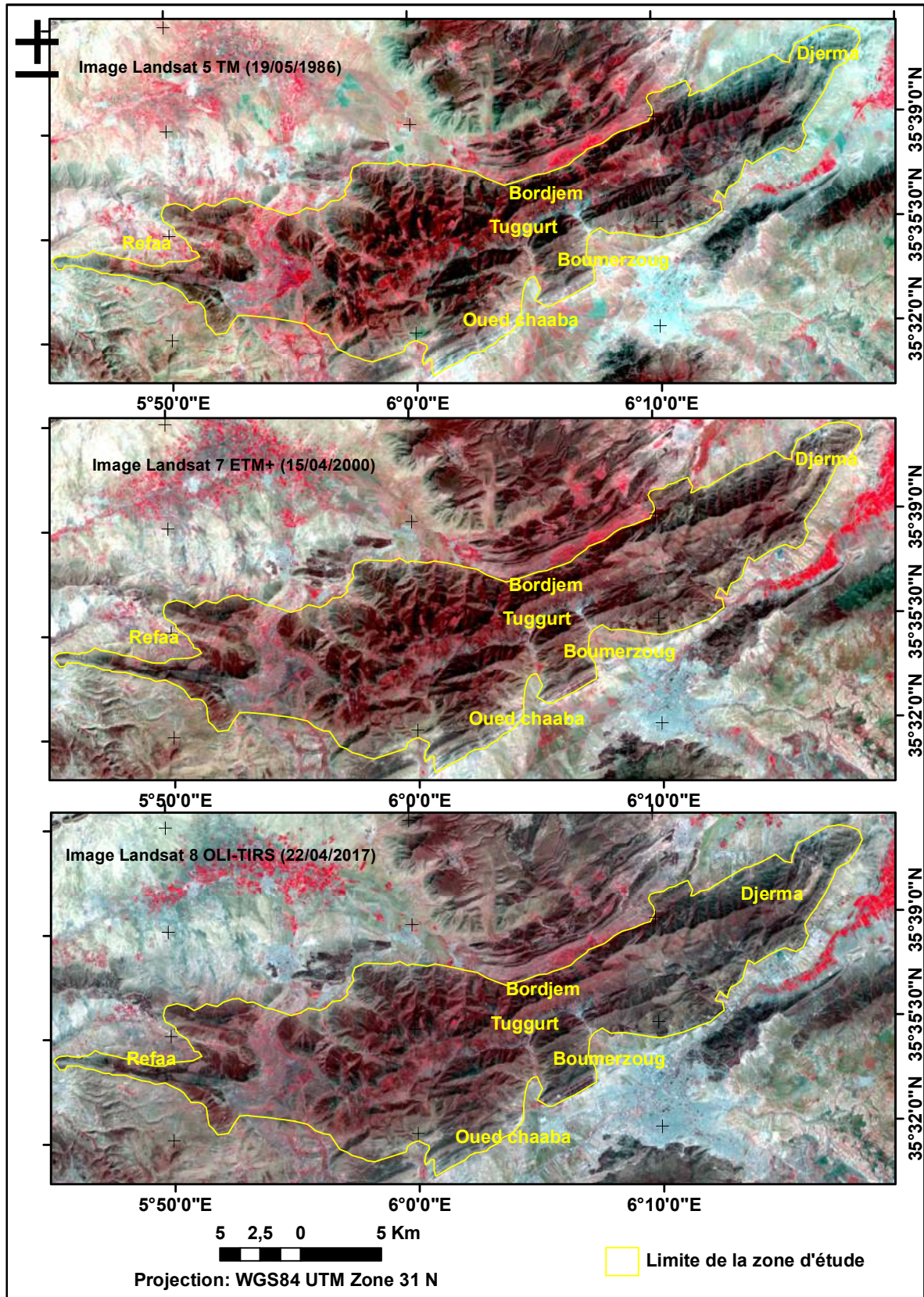


Figure 60 : La composition colorée fausse couleur (bande : 4-3-2 pour Landsat 5 et 7 et bande : 5-4-3 pour Landsat 8) de la zone de Belezma.

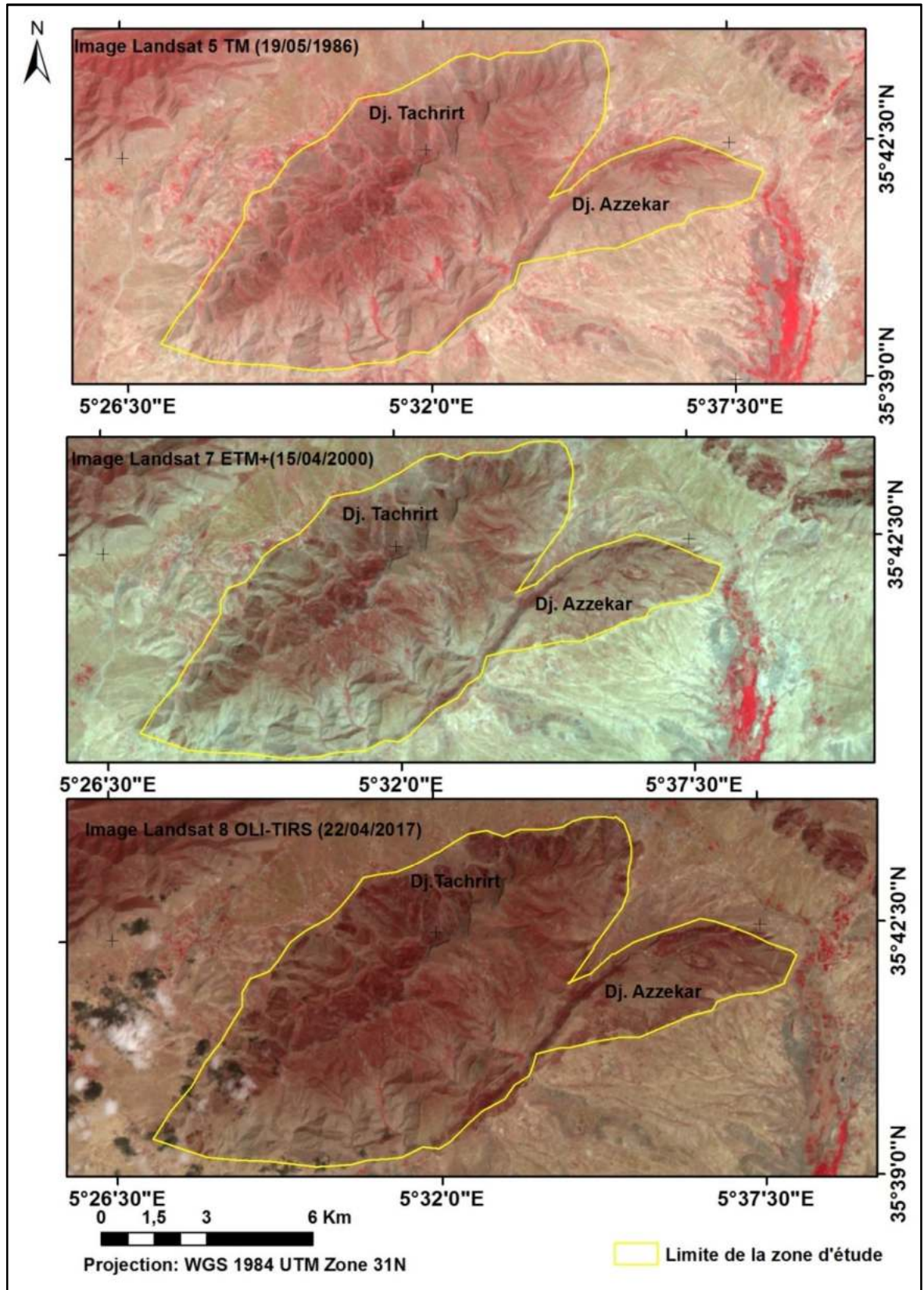


Figure61: La composition colorée fausse couleur (bande : 4-3-2 pour Landsat 5 et 7 et bande : 5-4-3 pour Landsat 8) de la zone de Guettiane.

2.3.Calcul des indices

Les indices s'obtiennent par une combinaison mathématique des bandes spectrales de l'image. Ils sont utiles pour mettre en évidence ou rehausser certains types de paysages. Il existe plusieurs types d'indices, on a calculé deux indices de végétation pour extraire les changements du couvert forestier entre les différentes dates.

2.3.1. Calcul de l'indice de végétation (NDVI)

Selon Deshayes et Maurel (1991), 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). Ainsi en phase de développement d'un couvert, 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, proportionnels à une activité chlorophyllienne active; ont ainsi été mis au point parmi lesquels un des plus connus est :

$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$ dont les valeurs varient entre - 1 et + 1.

On calcul l'NDVI parce qu'il est un bon indicateur de la biomasse et la santé du végétal. Il est utilisé pour discriminer les sols nus et les surfaces végétales.

2.3.2. Indice normalisé de différence en eau (NDWI - Normalized Water Difference Index)

En 1996, Gao proposait cet indice pour la détection de l'eau contenue dans la végétation.

L'indice normalisé de différence en eau(NDWI), est proposé pour la télédétection de l'eau liquide végétale de l'espace. NDWI est défini comme $(p(0.86 \mu m) - p(1.24 \mu m)) / (p(0.86 \mu m) + p(1.24 \mu m))$, où p représente le rayonnement dans les unités de réflectance. Les canaux de 0,86 μm et de 1,24 μm sont tous deux situés dans le haut plateau de réflexion de couverts végétaux. Ils détectent des profondeurs similaires à travers la canopée végétale. L'absorption par l'eau de végétation près de 0,86 μm est négligeable. Une faible absorption de liquide à 1,24 μm est présente. La diffusion de la canopée améliore l'absorption d'eau. Par conséquent, NDWI est sensible aux changements de la teneur en eau contenue dans la végétation. Les effets de diffusion d'aérosols atmosphériques dans la région de 0,86-1,24 μm sont faibles. NDWI est moins sensible aux effets atmosphériques que le NDVI, NDWI ne

supprime pas complètement les effets de réflectance du sol de fond, semblable à NDVI. Parce que les informations sur les canopées de végétation contenues dans le canal de 1,24 µm sont très différentes de celles contenues dans le canal rouge près de 0,66 µm, NDWI devrait être considéré comme un indice de végétation indépendant. Il est complémentaire à, pas un substitut à NDVI (Gao, 1996).

2.3.3. Estimation de la température de surface (LST):

Le réchauffement climatique a changé le monde chaque jour qui passe, et la température de la surface terrestre (LST) est l'un des paramètres clés les plus importants liés directement au réchauffement climatique (Sekertekin *et al.*, 2016).

La température de la surface terrestre (LST) est un paramètre important pour de nombreuses disciplines scientifiques car elle affecte l'interaction entre la terre et l'atmosphère (Sekertekin et Bonafoni, 2020).

Au cours de la dernière décennie, beaucoup d'efforts ont été consacrés à l'extraction de la température de surface (Ts) à partir des données de télédétection. Les capteurs thermiques, à bord de satellites et d'avions, offrent la possibilité d'obtenir des données Ts distribuées spatialement (Benmecheta, 2016).

L'image Landsat 5 TM et Landsat 7 ETM+ ont une seule bande thermique (bande 6), tandis que l'image Landsat 8 OLI a deux bandes thermiques (bande 10 et 11).

Pour estimer la température de surface il faut suivre les étapes suivantes :

Premièrement, il doit convertir les nombres numériques des pixels de l'image vers la radiance absolue selon la formule suivante :

Pour les images Landsat 8 OLI :

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL$$

Pour les images Landsat 5 TM et Landsat 7 ETM+ :

$$L\lambda = ((LMAX\lambda - LMIN\lambda) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN) + LMIN\lambda$$

Où :

$L\lambda$ = Radiance spectrale (Watts / (m² * srad * µm))

$LMAX\lambda$ = sont des valeurs de luminances maximales de chaque capteur (W m⁻² sr⁻¹ µm⁻¹)

$LMIN\lambda$ = sont des valeurs de luminances minimales de chaque capteur (W m⁻² sr⁻¹ µm⁻¹)

$QCALMAX$ = le compte numérique maximale de chaque pixel de l'image (CN=255)

$QCALMIN$ = le compte numérique minimale de chaque pixel de l'image (CN=0)

$QCAL$ = le compte numérique de chaque pixel de l'image (CN).

LMAX λ , LMIN λ , QCALMAX et QCALMIN sont des valeurs obtenues à partir des métadonnées des images satellitaires de Landsat.

Deuxièmement, convertir la radiance en température de brillance selon la formule suivante :

$$BT = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)}$$

Où :

BT : Température de brillance.

L λ = Radiance spectrale (Watts / (m² * srad * μ m))

K1 et K2 sont des constants de conversion thermique spécifique à la bande existants dans les métadonnées (fichier MTL) et déterminés selon le capteur du satellite ;

Tableau 13 : Les constants de calibration des bandes thermiques du satellite Landsat.

Satellite	K1 (Watts / (m ² * srad * μ m))	K2 (Kelvin)
Landsat 5 (Band6)	607.76	1260.56
Landsat 7 (Band6)	666.09	1282.71
Landsat 8 (Band10)	774.89	1321.08
Landsat 8 (Band11)	480.89	1201.14

Enfin, convertir la température de brillance en température de surface de sol selon la formule suivante :

$$LST = BT / (1 + w * (BT/P) * \ln(e))$$

Où :

BT = Température de brillance

w = La longueur d'onde de la radiance émise 11.5 μ m

P = h*c/s (1.438*10⁻² mk), h constant de plank (6.626*10⁻³⁴ Js)

S : constant de Boltzmann constant (1.38*10⁻²³ Jk)

C : la vitesse de lumière (2.998*10⁸ m/s)

P = 14380

e: L'émissivité de la surface de la terre, calculée par la formule : **e = 0,004PV + 0,986**

Dont, PV est la proportion de la végétation :

$$PV = (NDVI - NDVI_{min} / NDVI_{max} - NDVI_{min})^2$$

La température de la surface du sol calculée est obtenue en Kelvin, il faut la convertir en degré Celsius par la soustraction de 273,15 à l'aide de la fonction Raster calculator sous Arc gis : $LST (^{\circ}C) = LST (K) - 273,15$.

3. Résultats et discussions

3.1 L'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Les valeurs de l'NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondent aux surfaces occupées par les nuages, l'eau et la neige pour lesquelles a une réflectance plus élevée dans le rouge que dans le proche infrarouge, pour les roches et les sols nus les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de zéro (influence des minéraux par apport à l'activité chlorophyllienne) (Bouzekri, 2014).

Les résultats de l'NDVI sont des cartes présentant un gradient croissant d'activité végétale dont les valeurs sont comprises entre -1 et +1 ; les valeurs proches de -1 désignent la diminution de la végétation par contre celles qui sont proches de +1 désignent que la végétation est en bonne croissance et bonne santé. On a classé ces valeurs en quatre catégories de formations (Végétation dense, végétation à densité moyenne, végétation claire et sol nu), puis on a calculé leur surface pour faire la comparaison et voir la dynamique de la couverture végétale au cours de trois années (1986-2000 et 2017).

Comme la couverture de la végétation est très dynamique en raison du changement climatique et des activités humaines, la valeur de l'NDVI est toujours trouvée variable dans de nombreuses études de cas. Par conséquent, il est important d'évaluer le changement de la couverture de la végétation, en plus de la détection des changements (Peng *et al.*, 2012).

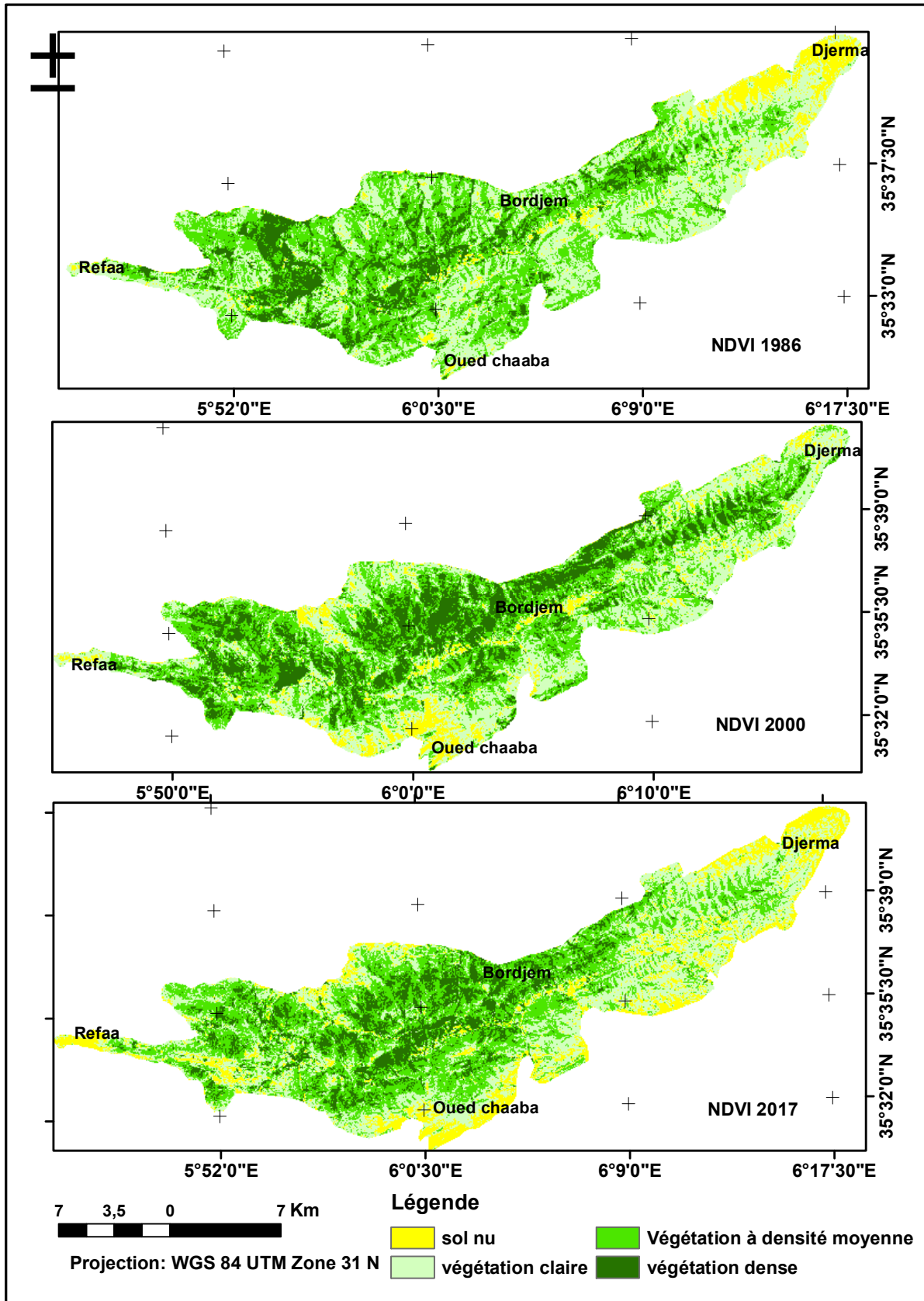


Figure 62: NDVI calculé à partir des images de Landsat 5 TM (19-05-1986), Landsat 7 ETM+ (15-04-2000) et Landsat 8 OLI-TIRS (22-04-2017).

A partir de la carte de l'NDVI on peut constater l'évolution progressive de la végétation de la forêt de Belezma entre 1986 et 2000 alors que durant la période (2000-2017) la forêt a connu une évolution régressive remarquable notamment pour la végétation dense.

Les valeurs de l'NDVI sont comprises entre -1 et +1, on peut extraire les intervalles des valeurs pour chaque formation :

En 1986 : Végétation dense (de 0,5 à 0,7), végétation à densité moyenne (de 0,3 à 0,5), végétation claire (de 0,1 à 0,3), Sol nu (de -0,1 à 0,1).

En 2000 : Végétation dense (de 0,5 à 0,7), végétation à densité moyenne (de 0,3 à 0,5), végétation claire (de 0,2 à 0,3), sol nu (de -0,01 à 0,2).

En 2017 : Végétation dense (de 0,4 à 0,6), végétation à densité moyenne (de 0,3 à 0,4), végétation claire (de 0,1 à 0,3), sol nu (de 0 à 0,1).

Tableau 14: La dynamique de la végétation (1986-2017).

Formation	Surface (ha)					
	1986	2000	2017	Dynamique (1986-2000)	Dynamique (2000-2017)	Dynamique (1986-2017)
Végétation dense	4945,14	7664,49	4959,54	2719,35	-2704,95	14,4
Végétation à densité moyenne	13579,38	12424,86	12577,85	-1154,52	152,99	-1001,53
Végétation claire	13261,05	11646,72	11884,14	-1614,33	237,42	-1376,91
Sol nu	2607,57	2657,07	4971,61	49,5	2314,54	2364,04

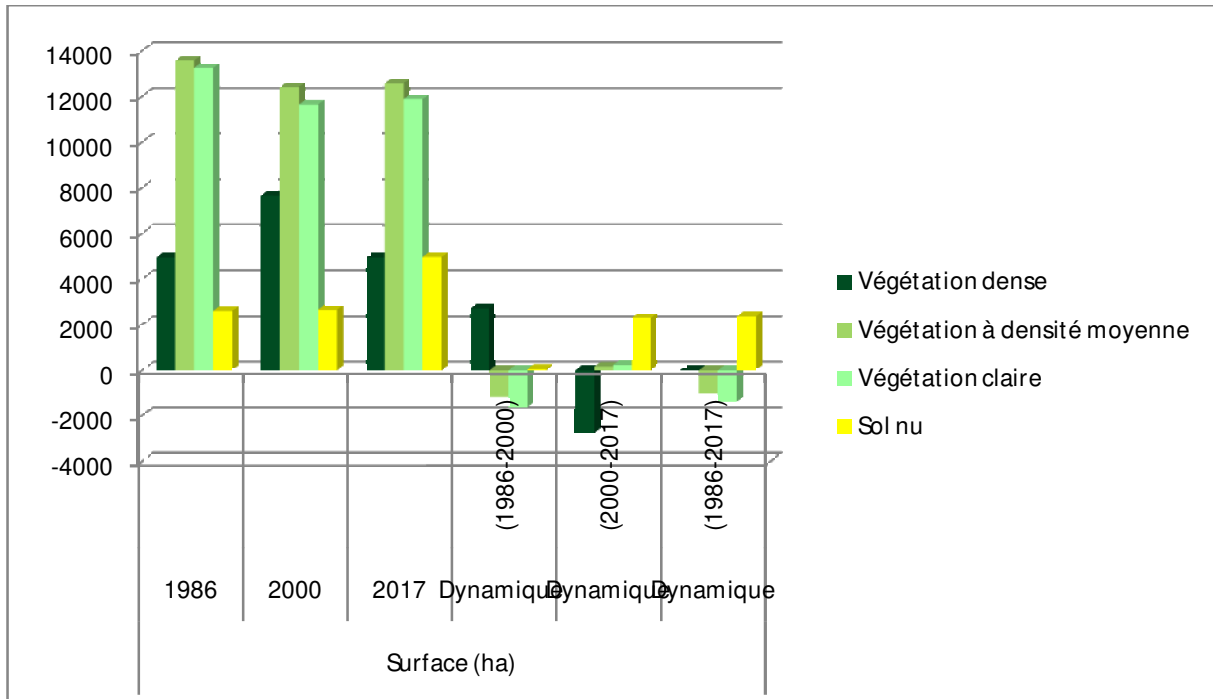


Figure 63 : Digramme des surfaces des classes des formations (Belezma)

Il ressort de l'analyse des données ci-dessus, de profondes transformations intervenues entre 1986 et 2017. L'analyse comparative montre une évolution progressive de la végétation dense de l'année 1986 à 2000, peut-être à cause de la régénération après incendies dans la forêt de Belezma au cours de la période 1986-1998 (voir annexe 5), et aussi peut être des cultures ont classé avec la végétation dense car sur une image en "fausses couleurs infrarouge", la végétation qui a une forte activité photosynthétique apparaît en rouge vif (pic de l'infrarouge proche).

Lors de la dernière décennie des années 2000, il était devenu difficile de travailler au cœur du Parc en raison des problèmes posés par l'insécurité. Cela a été l'occasion pour l'administration de se concentrer sur la périphérie du Parc et de mener une politique de développement dont la priorité est l'homme, premier utilisateur des ressources naturelles. Afin d'alléger la pression des populations autochtones et de leur troupeau sur les ressources naturelles protégées, l'administration du Parc a lancé de nombreux micro-projets de développement agricole à leur profit. La forme de programmation de ces activités traduit une prise de conscience aiguë de l'administration du rôle joué par la population autochtone dans l'utilisation des ressources naturelles du parc.

Les projets de développement concernent essentiellement :

* La généralisation de l'arboriculture et de l'apiculture à toutes les communautés rurales.

* Les travaux de protection des terres et d'amélioration foncière (Sahli, 2004a).

Tableau15 :L'arboriculture sur les communes du Parc National du Belezma.

	1987	1988	89/90	1992	1996	98/99	total
Plants	3980	7001	7850	10275	3566	10600	43272
Bénéficières	68	69	124	184	190	297	932

(Plan de gestion du parc national de Belezma, 2001 in Sahli, 2004a)

Cette évolution revient à régresser de l'année 2000 à 2017 à cause de dépérissement de cèdre et les incendies. Pour la densité moyenne et la végétation claire ont diminué en 1986-2000 mais en 2000-2017 ont augmenté ce qui confirme la dégradation du milieu forestier en particulier la partie Sud et Sud-est de la forêt de Belezma.

3.2. Résultat de l'indice NDWI

A partir des résultats de l'NDWI on peut remarquer que les années 1986 et 2017 représentent des surfaces importantes de la couverture qui indique la présence de l'eau dans la végétation c'est-à-dire des valeurs élevés de NDWI (proche de 1), à l'inverse de l'année 2000 qui montre des surfaces plus moins que les autres années (proche de -1).

-Pour l'année 1986, la valeur élevée de l'NDWI est 0,28. La valeur faible : -0,37.

- L'année 2000 : La valeur élevée : 0,37. La valeur faible : - 0,30.

- L'année 2017 : La valeur élevée : 0,36. La valeur faible : -0,15.

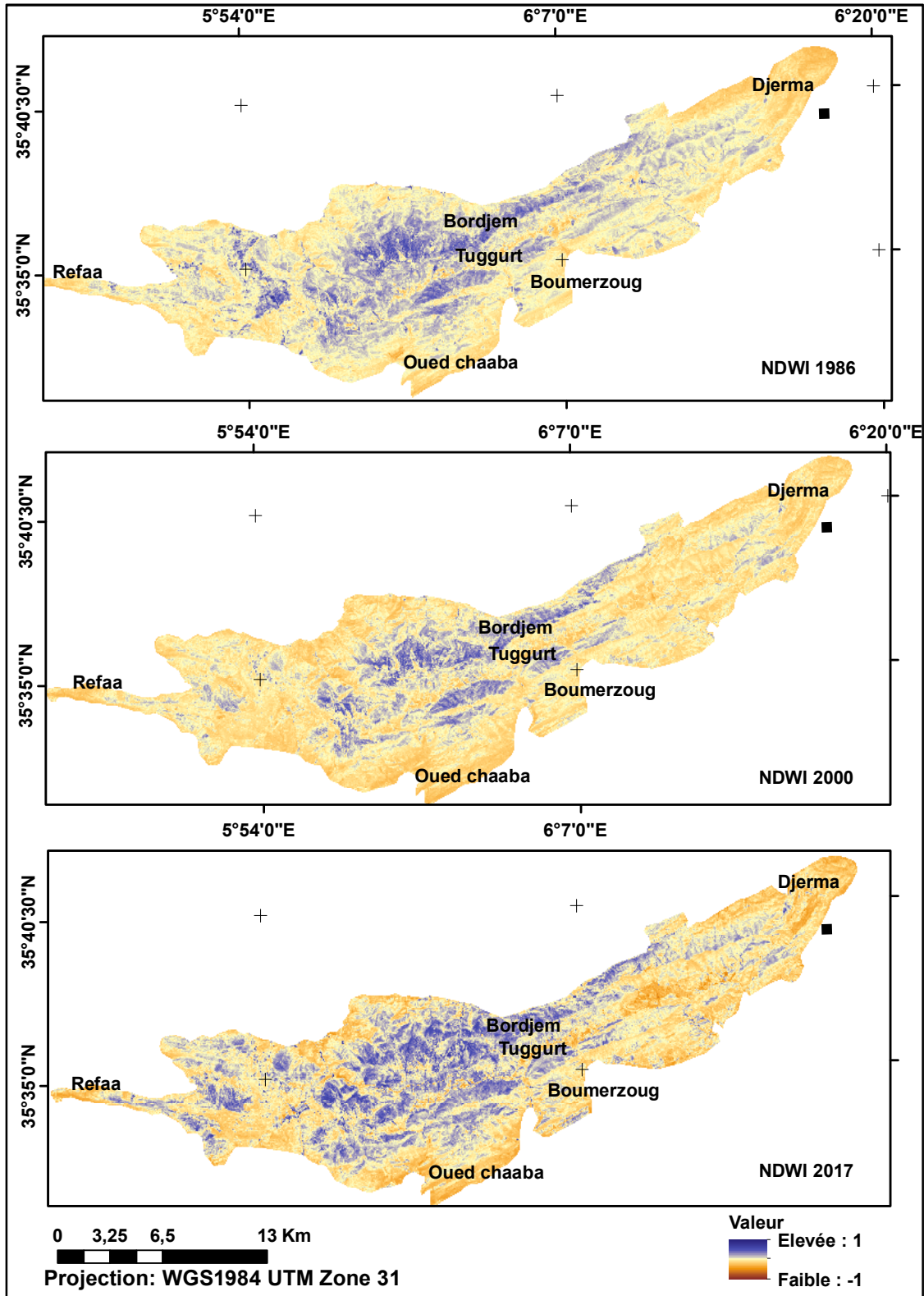


Figure 64 : NDWI calculé à partir des images de Landsat 5 TM (19-05-1986), Landsat 7 ETM+ (15-04-2000) et Landsat 8 OLI-TIRS (22-04-2017).

Confrontation des résultats des indices avec des données terrain

On a choisi des points relevés selon la graduation de la couverture végétale. Ces points sont répartis dans des classes de la végétation dense, végétation à densité moyenne et végétation claire. On a pris aussi les degrés de l'NDWI dans les mêmes points en ajoutant les autres informations de terrain comme l'altitude, la pente, l'exposition, etc. Aussi la liste des espèces recensée dans chaque relevé, pour faire une petite synthèse pour l'année 2017.

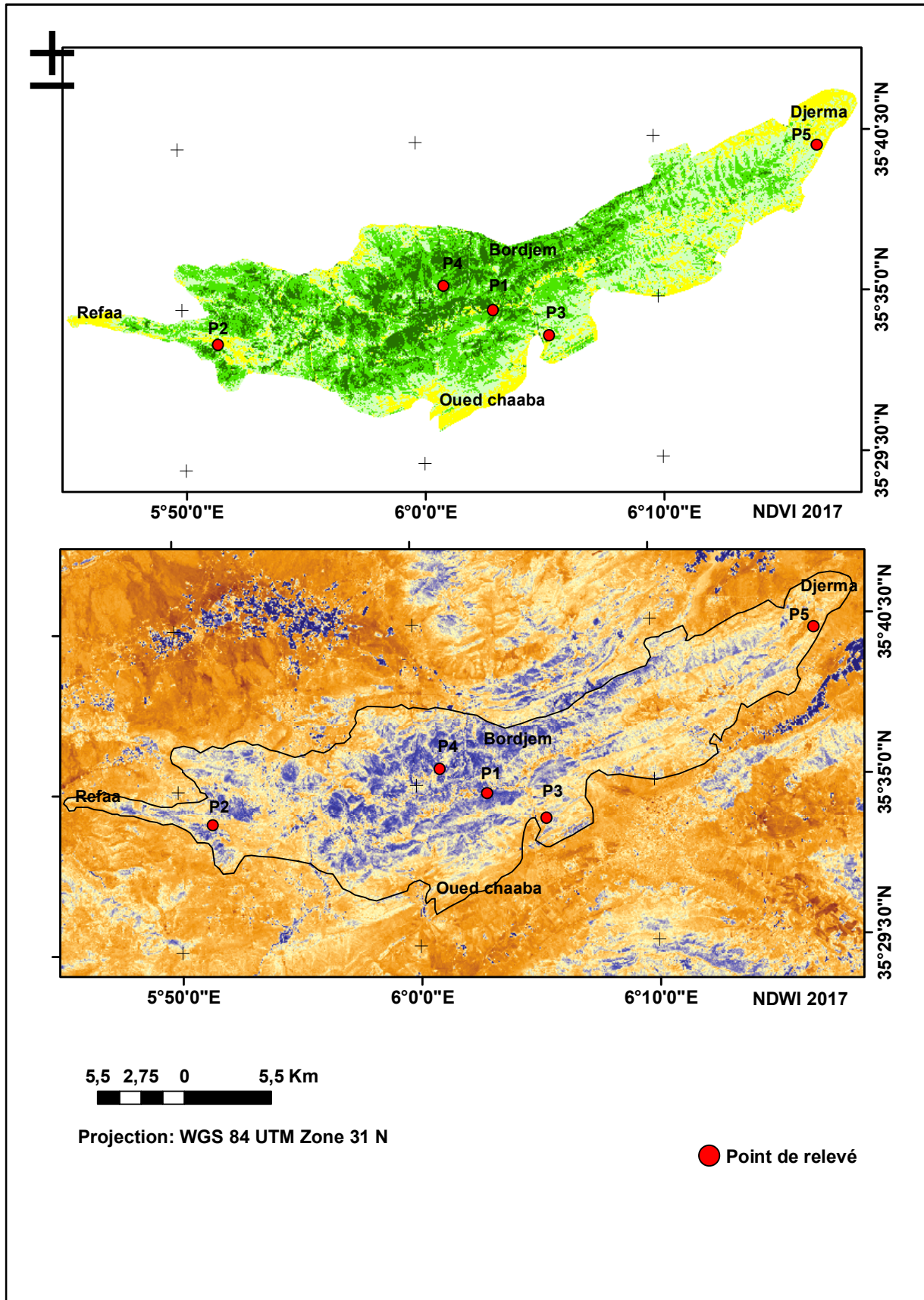


Figure 65 : Carte des points de relevés.

On a sélectionné quelques points sur carte de l'NDWI et de l'NDVI de l'année 2017 et vérifier avec les données de terrain :

Tableau 16 : Tableau des points relevés sur terrain

Relevé	Station	Longitude	latitude	Altitude (m)	NDVI	NDWI	Pente	Exposition	Recouvrement de la litière	Pâturage
P1	Tuggurt	06°03'01,6"	35°34'42,5"	1468	Végétation dense	élevé	>15%	Nord	5-10%	oui
P2	Refaa	05°51'28,8"	35°33'48,0"	2028	Végétation à densité moyenne	moyen	<5%	Sud	15%	oui
P3	Boumerzoug	06°05'21,6"	35°33'45,4"	1270	Végétation claire	faible	/	Nord	0-5%	oui
P4	Bordjem	06°1'0,5"	35°35'35,47"	1760	Végétation dense	élevé	>30%	Nord-est	5-10%	oui
P5	Djerma	06°16'52,07"	35°40'3,32"	1048	Végétation claire	moyen	/	Sud	Très faible	/

Tableau 17 : Les espèces recensées sur terrain

Espèces recensées				
P1	P2	P3	P4	P5
- <i>Cedrus atlantica</i>	- <i>Cedrus atlantica</i>	- <i>Pinus halepensis</i>	- <i>Cedrus atlantica</i>	- <i>Juniperus oxycedrus</i>
- <i>Cotoneaster racemiflora</i>	- <i>Cotoneaster racemiflora</i>	- <i>Juniperus oxycedrus</i>	- <i>Juniperus oxycedrus</i>	- <i>Cuscuta sp</i>
- <i>Quercus ilex</i>	- <i>Quercus ilex</i>	- <i>Juniperus phoenica</i>	- <i>Ranunculus spicatus</i>	- <i>Stipa tenacissima</i>
- <i>Juniperus oxycedrus</i>	- <i>Berberis hispanica</i>	- <i>Quercus ilex</i>	- <i>Thlaspi perfoliatum</i>	- <i>Rosmarinus officinalis</i>
- <i>Ornithogalum umbellatum</i>	- <i>Erinacea anthyllis</i>	- <i>Olea europea</i>	- <i>Hyoseris radiata</i>	- <i>Teucrium polium</i>
- <i>Silene italica</i>	- <i>Anacyclus clavatus</i>	- <i>Astragalus armatus</i>	- <i>Medicago lupulina</i>	- <i>Teucrium pseudo-chamaepestis</i>
- <i>Carduus nutans</i>	- <i>Helianthemum croceum</i>	- <i>Globularia alypum</i>	- <i>Geranium robertianum</i>	- <i>Brachypodium distachyum</i>
- <i>Galium aprine</i>	- <i>Centaurea alba</i>	- <i>Stipa tenacissima</i>	- <i>Knautia arvensis</i>	- <i>Euphorbia helioscopia</i>
- <i>Coronilla scorpioides</i>	- <i>Thlaspi perfoliatum</i>	- <i>Cistus monspeliensis</i>	- <i>Asphodeline lutea</i>	- <i>Sedum sediforme</i>
- <i>Ampelodesma mauritanicum</i>	- <i>Bupleurum spinosum</i>	- <i>Centaurea tougourensis</i>	- <i>Stellaria media</i>	- <i>Paronychia argentea</i>
- <i>Torilis nodosa</i>	- <i>Bellis sylvestris</i>	- <i>Helianthemum cinerum</i>	- <i>Asphodelus microcarpus</i>	- <i>Micropus bombycinus</i>
- <i>Centaurea tougourensis</i>	- <i>Carex sp</i>	- <i>Atractylis humilis</i>		- <i>Fumana sp</i>
- <i>Ranunculus spicatus</i>	- <i>Satureja granatensis</i>	- <i>Erinacea anthyllis</i>		
- <i>Ferula communis</i>	- <i>Teucrium polium</i>	- <i>Thymus sp</i>		
- <i>Asphodeline lutea</i>	- <i>Thymus ciliatus</i>	- <i>Teucrium polium</i>		
- <i>Asphodelus microcarpus</i>	- <i>Asphodeline lutea</i>	- <i>Paronychia argentea</i>		
- <i>Erinacea anthyllis</i>	- <i>Crupina vulgaris</i>			
- <i>Dactylis glomerata</i>	- <i>Xeranthemum inapartium</i>			
- <i>Malope malacoides</i>	- <i>Cerastium gibraltarium</i>			
- <i>Bellis sylvestris</i>	- <i>Sedum sediforme</i>			
- <i>Aegilops triuncialis</i>				
- <i>Poa bulbosa</i>				
- <i>Lotus corniculatus</i>				
- <i>Hyoseris radiata</i>				
- <i>Thlaspi perfoliatum</i>				
- <i>Hedypnois cretica</i>				
- <i>Rumex tuberosus</i>				
- <i>Calycotome spinosa</i>				

Les valeurs élevées de l'NDWI correspondent à la végétation dense c.à.d. des valeurs élevées de l'NDVI proche de 1, c'est le cas de la station P1 Tuggurt et P4 Bordjem dont l'exposition est Nord, Nord-est respectivement, d'autre part ces stations constituées par des formations de cédraie.

Les valeurs moyennes de l'NDWI correspondent à la végétation à densité c'est le cas de la station P2 Refaa (exposition Sud), qui représente une formation de cédraie. La station P3

Boumerzoug (exposition Nord) et la station P5 Djerma (exposition Sud) constituées par des valeurs faibles de NDWI qui correspondent à la végétation claire. Ces stations représentent des formations de pin d'Alep avec genévrier pour Boumerzoug et une formation très dégradée de genévrier oxycèdre avec un recouvrement très faible de la litière.

On remarque aussi que le pâturage se trouve presque dans toutes les stations. Selon Boudy (1952), l'action des animaux elle est représentée, avant tout, par celle du bétail pâturant en forêt. Cette action est presque toujours néfaste et constitue le principal facteur de destruction de l'état boisé. Le pâturage excessif transforme le plus souvent la forêt en une forme de végétation régressive, telle que la broussaille, le maquis, où les arbres ont disparu et où l'on ne rencontre plus que des espèces arbustives de moindre valeur.

3.3. Estimation de la température de surface (forêt de Belezma) :

La cartographie de la température de surface nous a permis de constater que l'année 2000 est l'année la plus sèche représentant des valeurs plus élevées des températures en comparant avec celles de l'année 1986 et 2017.

En 1986, les valeurs de la température de surface sont comprises entre 15,64 et 35,26°C. En 2000, elles sont comprises entre 19,69 et 43,06°C. Enfin en 2017, elles sont comprises entre 12,50 et 33,33°C.

Pour l'année 1986, les états de surface enregistrant les températures les plus élevées (>28°C) correspondent aux espaces les moins forestiers, soit plutôt la partie Nord-est de la zone d'étude (Djerma) et les limites Sud et Nord-Ouest de la zone. Les plus basses températures de surface (<22,33°C) correspondent aux régions des forêts, elles sont observées principalement dans les forêts de cèdre.

En 2000, La température de surface varie dans la carte entre 19,69 et 43,06°C. Les valeurs supérieures correspondent aux pixels dont les sols nus sont dominants, tandis que les faibles valeurs sont associées à la végétation dense.

En 2017, Les températures plus élevées (>26,15°C) correspondent aux sols nus, alors que les faibles valeurs de la température de surface (<12,50°C) associées aux forêts.

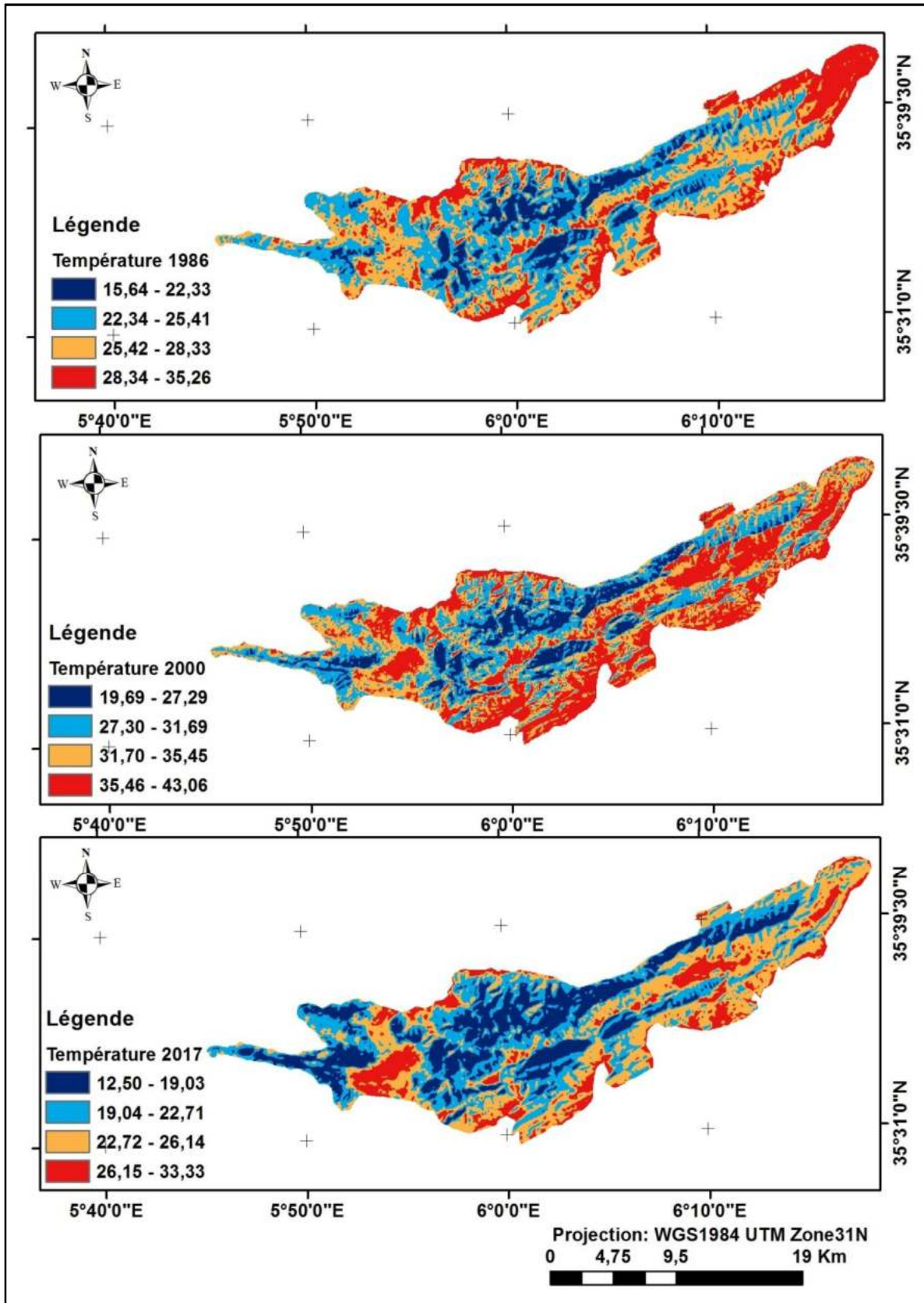


Figure66 : Estimation de la température de surface de la forêt de Belezma (1986-2000-2017).

3.4. Corrélation entre la température de surface du sol (LST) et l'indice normalisé de végétation (NDVI) :

L'état édaphique est caractérisé par l'analyse de la relation entre l'indice de végétation NDVI et la température de surface. La température de surface de sol est inversement proportionnelle avec l'NDVI.

Des fortes valeurs de l'NDVI pour des sols à recouvrement végétal élevée correspondent aux valeurs de températures de surfaces faibles.

Des valeurs de NDVI moyennes pour des sols à recouvrement végétal moyen correspondent aux températures des surfaces moyennes.

Des valeurs de NDVI faibles pour des sols à recouvrement végétal très faible et des sols nus correspondent aux fortes valeurs de température de surface. Caractérisant la partie Sud et Est de la forêt de Belezma.

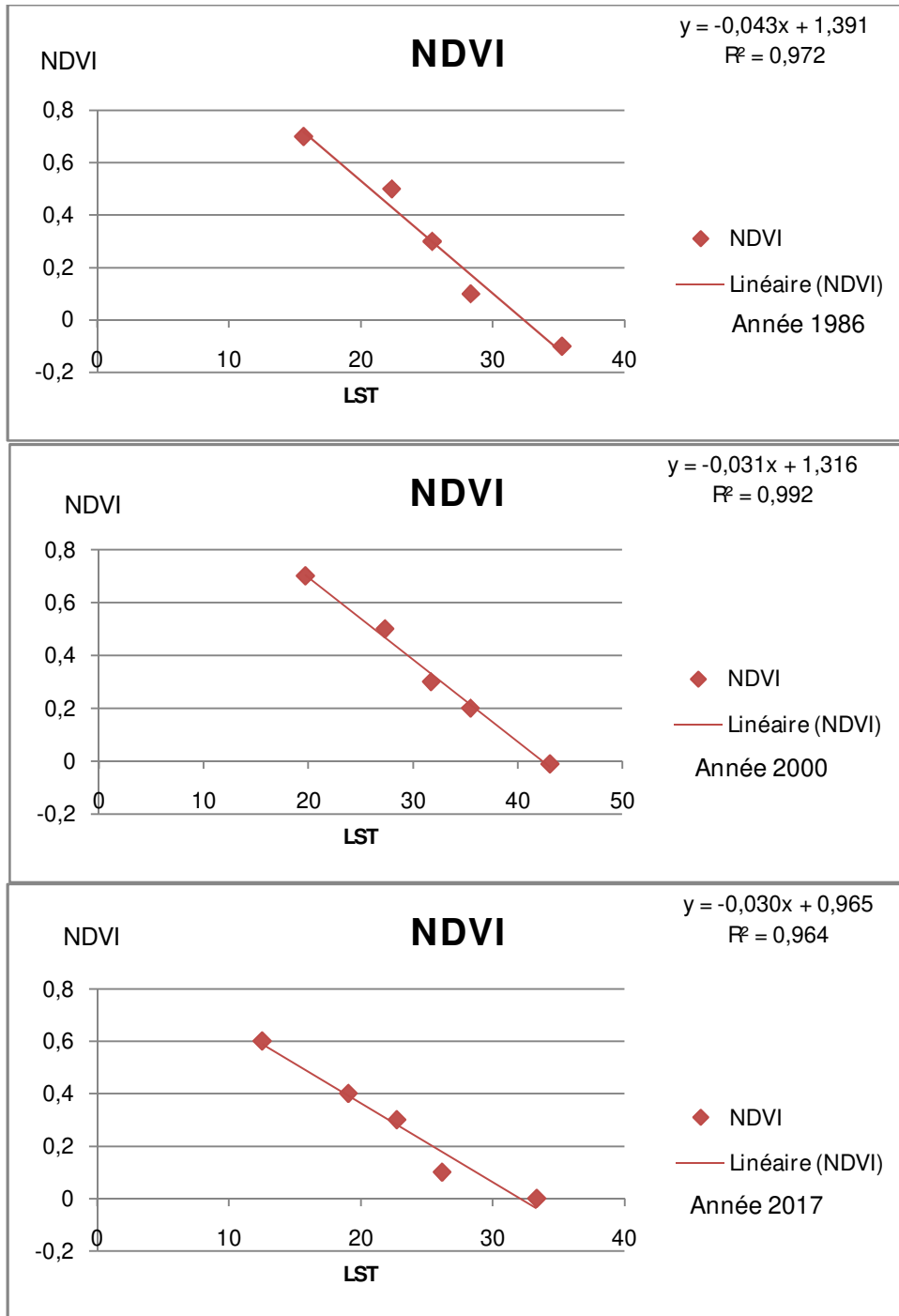


Figure 67 :Corrélation entre LST et NDVI des trois dates 1986, 2000 et 2017 de la forêt de Belezma.

3.5. Résultats de l'NDWI pour la forêt de Guettiane :

On a calculé l'NDWI pour la forêt de Guettiane, on a obtenu presque les mêmes remarques que la forêt de Belezma ; pour l'année 1986 et 2017 qui représentent des valeurs élevées de l'NDWI que l'année 2000, c'est-à-dire des surfaces importantes de la couverture qui indique la présence de l'eau dans la végétation pour les années 1986 et 2017.

-Pour l'année 1986, la valeur élevée de l'NDWI est 0,18. La valeur faible : -0,35.

- L'année 2000 : La valeur élevée : -0,0068. La valeur faible : - 0,41.

- L'année 2017 : La valeur élevée : 0,27. La valeur faible : -0,15.

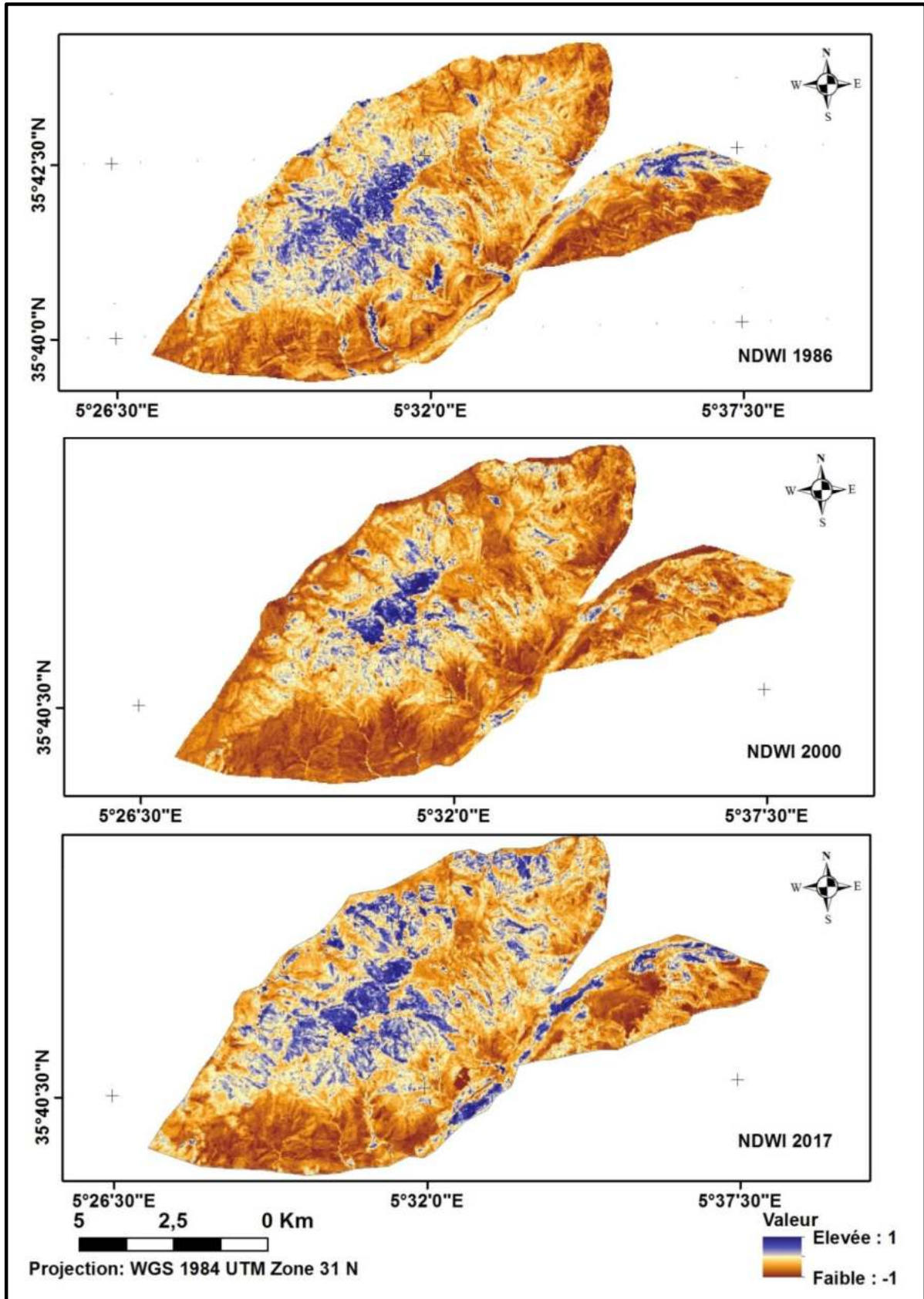


Figure 68 :NDWI calculé à partir des images de Landsat 5 TM (19-05-1986), Landsat 7 ETM+ (15-04-2000) et Landsat 8 OLI-TIRS (22-04-2017).

3.6. Résultats de l'NDVI pour la forêt de Guettiane :

Les indices de végétation sont très utilisés pour identifier et suivre la dynamique de la végétation. A partir de la carte de l'NDVI on peut constater l'évolution régressive de la végétation de la forêt de Guettiane entre 1986 et 2017.

Les valeurs de l'NDVI sont comprises entre -1 et +1, on peut extraire les intervalles des valeurs pour chaque formation :

En 1986 : Végétation dense (de 0,27 à 0,58), végétation à densité moyenne (de 0,20 à 0,27), végétation claire (de 0,14 à 0,20), Sol nu (de 0,02 à 0,14).

En 2000 les valeurs de l'NDVI sont très basses par rapport aux autres années : Végétation dense (de -0,12 à 0,02), végétation à densité moyenne (de -0,19 à -0,12), végétation claire (de -0,24 à -0,19), sol nu (de -0,32 à -0,24).

En 2017 : Végétation dense (de 0,23 à 0,47), végétation à densité moyenne (de 0,19 à 0,23), végétation claire (de 0,15 à 0,19), sol nu (de 0,02 à 0,15).

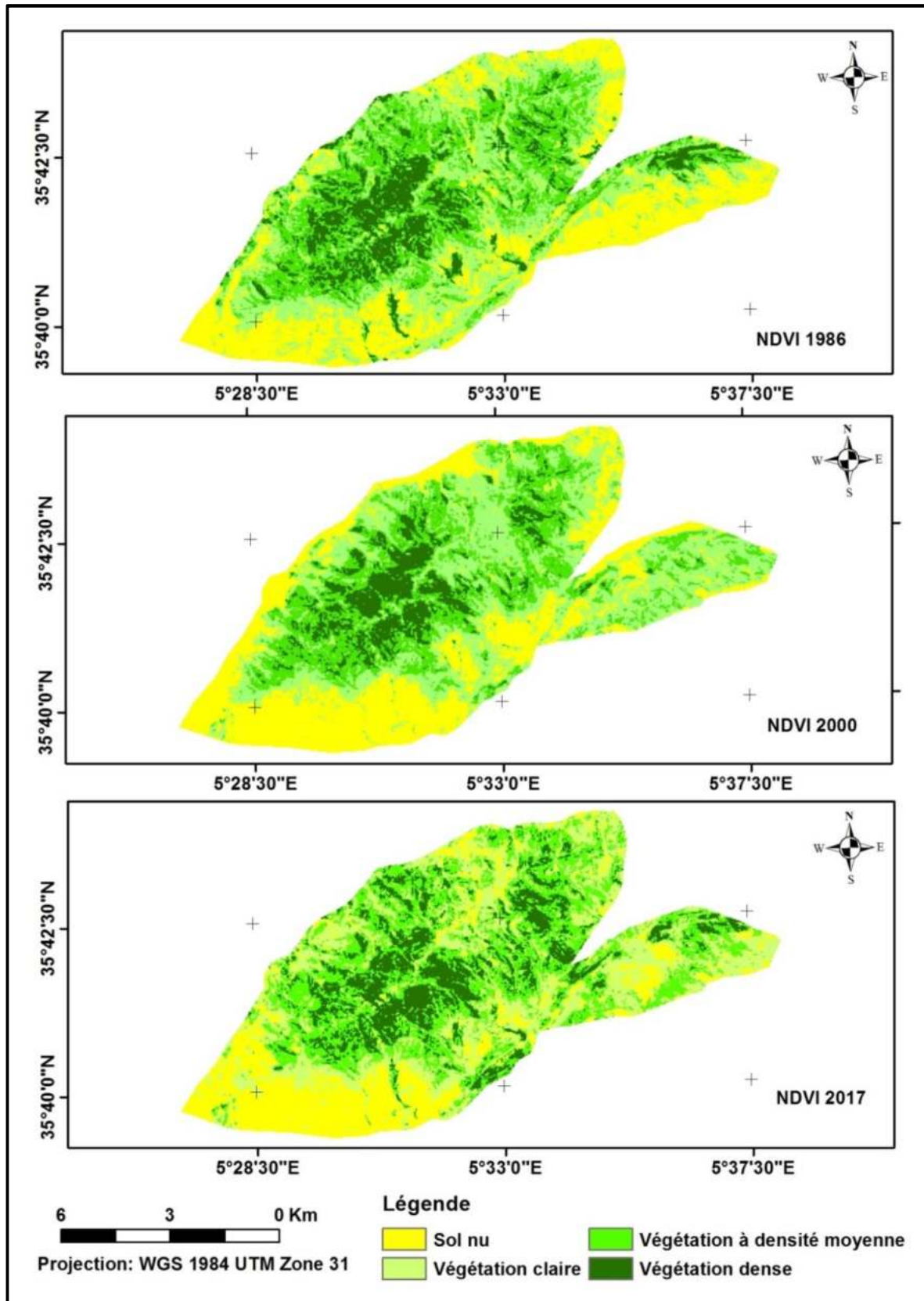


Figure 69 : NDVI calculé à partir des images de Landsat 5 TM (19-05-1986), Landsat 7 ETM+ (15-04-2000) et Landsat 8 OLI-TIRS (22-04-2017).

3.7. Estimation de la température de surface (forêt de Guettiane) :

En 1986, La température de surface varie entre 17,02 et 32,45°C. Les valeurs supérieures correspondent aux sols nus dans la partie Est et Sud-Est, tandis que les faibles valeurs sont associées à la végétation dense, dans la partie Nord et Nord-Ouest de la zone.

Même cas pour la forêt de Guettiane, l'année 2000 représente l'année sèche, dont, les températures sont comprises entre 20,73 et 40,86°C. Les faibles valeurs correspondant aux forêts, tandis que les valeurs élevées associées aux sols nus et les espaces moins forestiers

Alors qu'en 2017, les températures sont comprises entre 10,38 et 30,81°C. Les états de surface enregistrant les températures les plus élevées correspondent aux espaces les moins forestiers, soit plutôt la partie Sud et Sud-Est de la zone d'étude.

Les plus basses températures de surface correspondent aux régions des forêts, elles sont observées principalement dans les forêts existantes dans la partie Nord et Nord-Ouest de la zone de Guettiane.

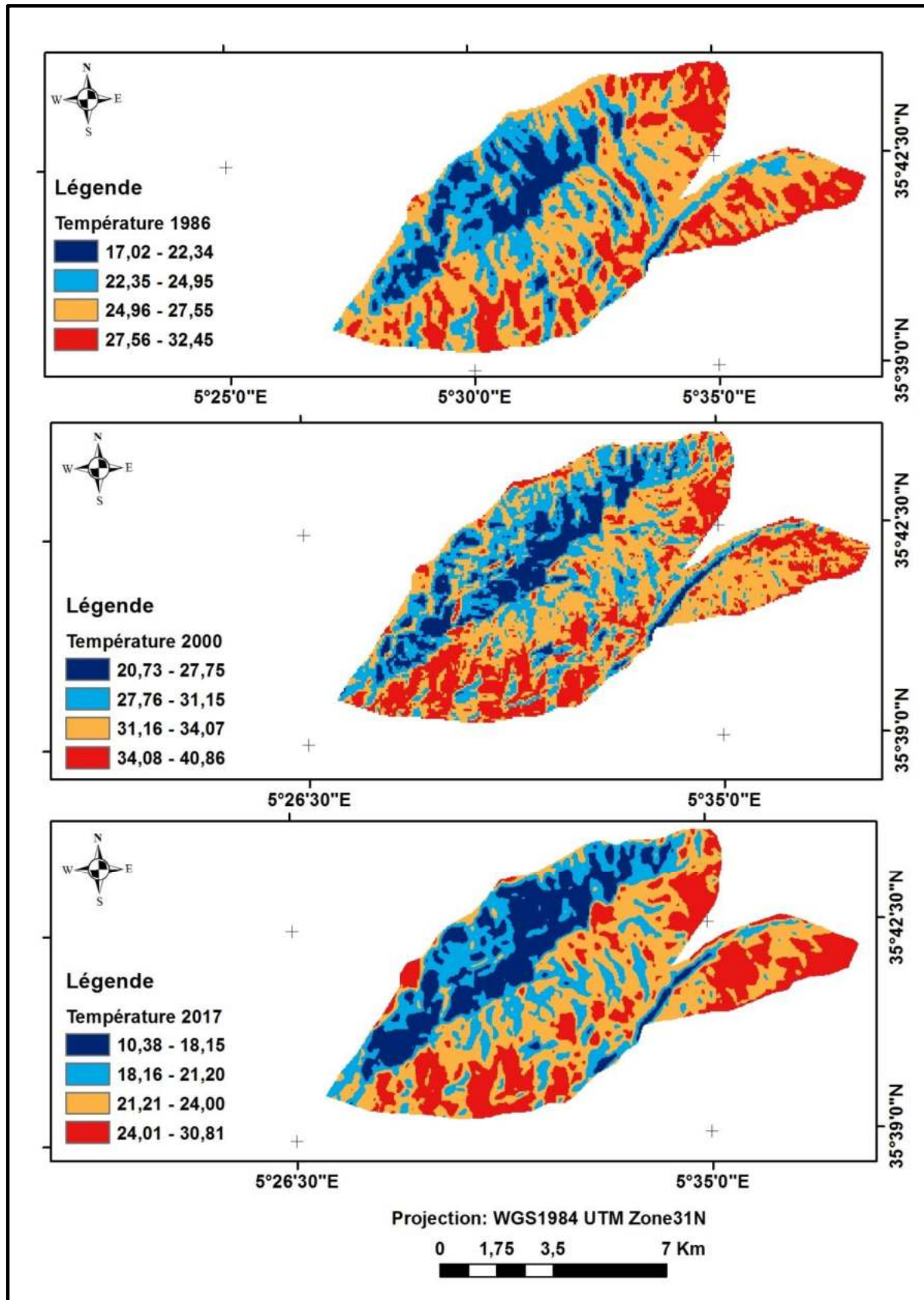


Figure 70 : Estimation de la température de surface de la forêt de Guettiane (1986-2000-2017).

3.8. Corrélation entre la température de surface de sol (LST) et l'indice de végétation normalisé (NDVI) :

L'analyse des résultats nous a permis de montrer que la température de surface est fortement corrélée à l'activité chlorophyllienne du milieu dont, les valeurs supérieures correspondent à des régions où les sols nus sont dominants, tandis que les faibles valeurs caractérisent les régions à couverture végétale dense.

L'NDVI de l'année 2000 montre un degré de végétation faible par rapport aux autres années. Les valeurs de la température de surface de sol confirment ce constat. Cela nous amène à dire que l'année 2000 est sèche par rapport aux autres années.

Des faibles températures de surface et couverture végétale dense correspondent à la partie Nord de la zone de Guettiane, tandis que la partie sud se caractérise par des températures élevées avec faible couverture végétale à sol nu, cette partie est très dégradée et semble vulnérable au phénomène de la désertification, dont les conditions sont très favorables (l'augmentation de la température de surface et la destruction de la végétation).

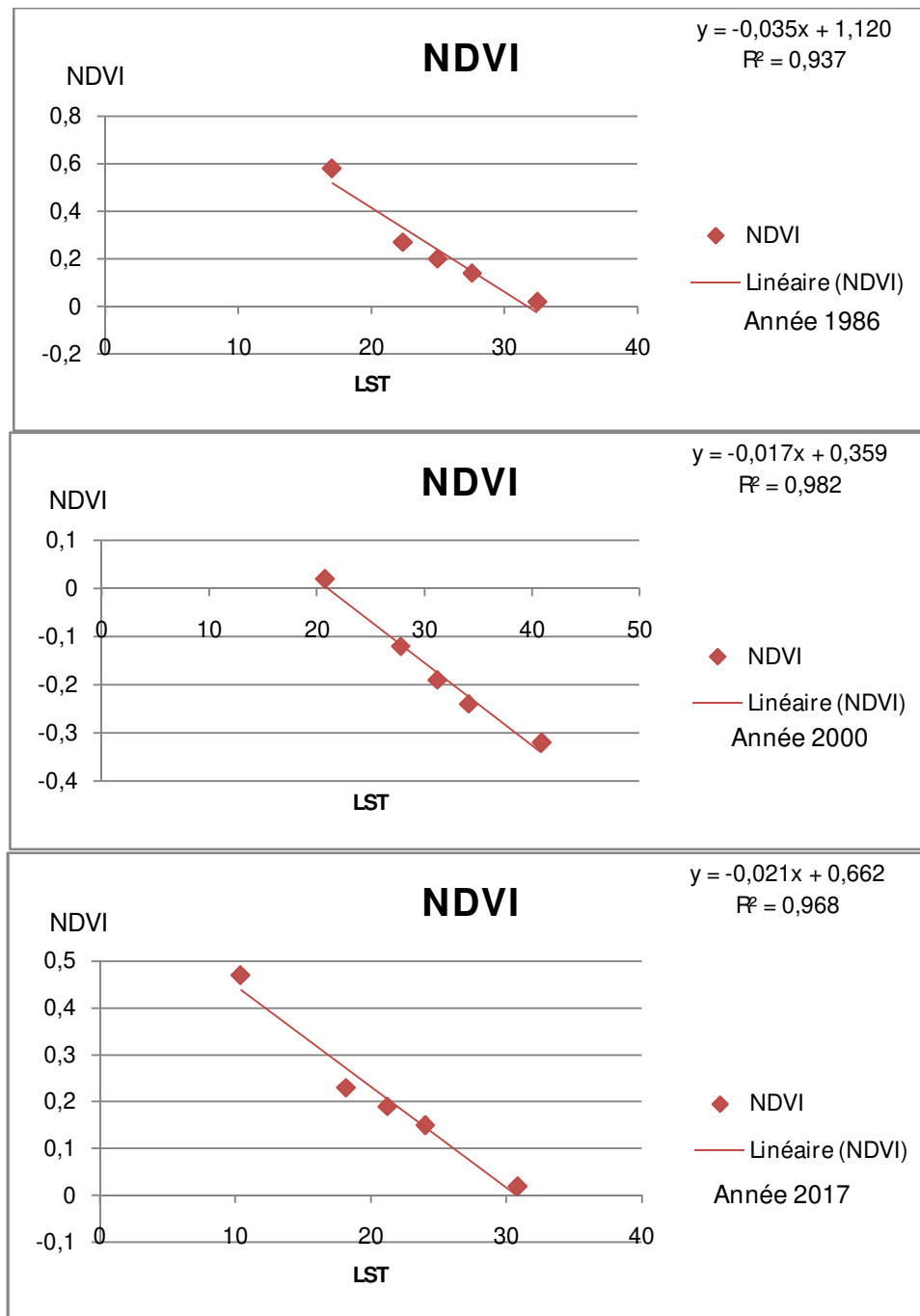


Figure 71 :Corrélation entre LST et NDVI des trois dates 1986, 2000 et 2017 de la forêt de Guettiane.

Conclusion

L'utilisation des données de télédétection nous a permis de suivre et d'analyser les changements du couvert forestier de Belezma et de Guettiane en se basant sur des indices calculés à partir des images satellitaires du capteur Landsat.

Les résultats trouvés montrent des changements régressifs au cours de cette période qui donnent une alerte précoce à la désertification du milieu particulièrement dans la partie sud et sud-ouest pour les deux zones d'étude.



**Chapitre V : Diagnostic phytoécologique
des forêts de Belezma et de Guettiane**

Introduction

Les cédraies de Belezma et de Guettiane constituent un patrimoine floristique important, et riche en biodiversité.

Les types biologiques, par leur répartition permet de comprendre les conditions écologiques d'une région.

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) est une méthode couramment utilisée par les chercheurs, pour étudier la végétation, elle permet de déterminer les facteurs de distribution de la végétation. Par ailleurs, ces analyses ont généralement été complétées par des Classifications Ascendantes Hiérarchiques (CAH) réalisées à partir des tableaux floristiques, afin d'identifier les principaux types d'assemblages d'espèces présents sur l'aire d'étude.

Dans ce chapitre nous allons faire un diagnostic phytoécologique à partir des relevés floristiques réalisés au niveau des forêts de Belezma et de Guettiane par l'étude des types biologiques, l'analyse biogéographique et les facteurs de distribution de la végétation.

1. Méthodologie de travail

La méthode est celle de Braun-Blanquet (1932) et de Guinochet (1973) dit Sigmatiste. D'après Abdessemed (1981), elle consiste à classer les relevés floristiques afin de pouvoir comparer et définir au cours de l'analyse synthétique l'association végétale qui est la base de la phytosociologie.

Notre méthodologie repose sur deux étapes, l'une analytique (réalisation des relevés) et l'autre synthétique, le traitement et l'analyse des données.

Méthode d'échantillonnage

Parmi les différents types d'échantillonnage connus en écologie végétale, l'échantillonnage adopté dans ce travail est subjectif. Selon Gounot (1969), c'est la forme la plus simple et la plus intuitive d'échantillonnage. Le chercheur choisit comme échantillon des zones qui lui paraissent particulièrement homogènes et représentatives d'après son expérience ou son flair.

1.1. L'aire minimale

Quand on fait la liste des espèces présentes sur une petite placette dans une communauté végétale floristiquement homogène, puis que l'on note les espèces nouvelles qui apparaissent quand on accroît progressivement la surface de la placette, on observe que le nombre d'espèces nouvelles est rapidement décroissant et tend vers 0. Ce fait connu depuis fort

longtemps, est à l'origine de la notion d'aire minimale conçue comme l'aire sur laquelle la quasi-totalité des espèces de la communauté végétales sont représentées (Gounot, 1969).

La méthode couramment utilisée consiste à faire la liste des espèces sur une placette de surface 1 très faible. Puis on double cette surface (1+2) et on ajoute les espèces nouvelles qui apparaissent. Par doublements successifs, on est supposé arriver à une surface (1+2+3+.....+n) à partir de laquelle il n'y a plus de (ou pratiquement plus) d'espèces nouvelles qui apparaissent (Gounot, 1969).

La surface des relevés dans un milieu forestier est de 100 à 400 m², Abdessemed dans son étude sur Belezma a fait des relevés de 400 m². Pour notre étude on a réalisé des placettes de 400 m².

1.2. Choix des placettes

La reconnaissance sur le terrain des individus d'association en fonction de l'idée que l'on se fait des associations végétales n'exclut pas la nécessité de les délimiter avant d'en entreprendre le relevé (Guinochet, 1973).

L'exécution des relevés a tenu compte de la période de développement optimal de la végétation. On a fait ces relevés dans la période de avril à juin dans 5 stations (Djebel : Boumerzoug, Bordjem, Tuggurt, Djerma et Refaa) pour le Belezma, et différentes stations dans la forêt de Guettiane. Dans chaque station nous avons prélevé des placettes sur les deux versants Sud et Nord. Nous avons choisis ces stations parce qu'elles sont les plus accessibles et les plus sécurisées sachant que nous avons trouvé des problèmes de sécurité et risques lors de notre travail.

Pour répondre à l'objectif de notre recherche, nous avons réalisé des relevés phytoécologiques sur l'ensemble de l'aire étudiée (forêt de Belezma et de Guettiane). Les parcelles choisies sur 400 m². Nous avons noté l'inventaire floristique ainsi que les conditions stationnelles.

L'exécution des relevés est accompagnée de l'enregistrement des caractères stationnels (lieu, les coordonnées géographiques, l'exposition, l'altitude, la pente, substrat géomorphologique, le recouvrement de la litière, le recouvrement des strates de végétation, le type de groupements végétaux et les activités humaines).

1.3. Prélèvement des échantillons floristiques

Dans chaque relevé floristique, nous avons récolté toutes les espèces végétales rencontrées et déterminer leur recouvrement dans chaque parcelle, chaque espèce présente, doit être affectée de l'indice d'abondance-dominance.



Figure 72 : Prélèvement des espèces et Détermination des recouvrements (Barbache, 2014).

1.4. Identification des espèces

L'identification des espèces a été faite en deux phases :

- Les espèces communes ont été reconnues sur le terrain.
- Les espèces non identifiées ont été récoltées, séchées puis déterminées à partir de la nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales de Quezel et Santa (1962,1963) et à l'aide de certains guides floristiques tels que : le guide de la flore méditerranéenne (Bayer et al, 2005).

2. Résultats et discussion

Les résultats obtenus lors de cette étude nous ont permis, en premier lieu, de faire un inventaire floristique de la cédraie de Belezma et de Guettiane suivi par l'analyse de la biodiversité en mitant en évidence la richesse de la flore de ces deux écosystèmes forestiers.

2.1. Belezma

2.1.1. Richesse par famille :

À partir de cette étude, nous avons pu recenser un total de 206 espèces réparties en 42 familles au niveau de la forêt de Belezma.

Les familles les mieux représentées dans le massif forestier de Belezma sont les Asteraceae avec 38 espèces (soit 18 % des espèces), les Fabaceae avec 26 espèces (soit 13% des espèces), les Lamiaceae avec 17 espèces (soit 8% des espèces), les Poaceae avec 15 espèces (soit 7% des espèces), les Brassicaceae avec 12 espèces (soit 6%) et enfin les Caryophyllaceae avec 11 espèces (soit 5%).

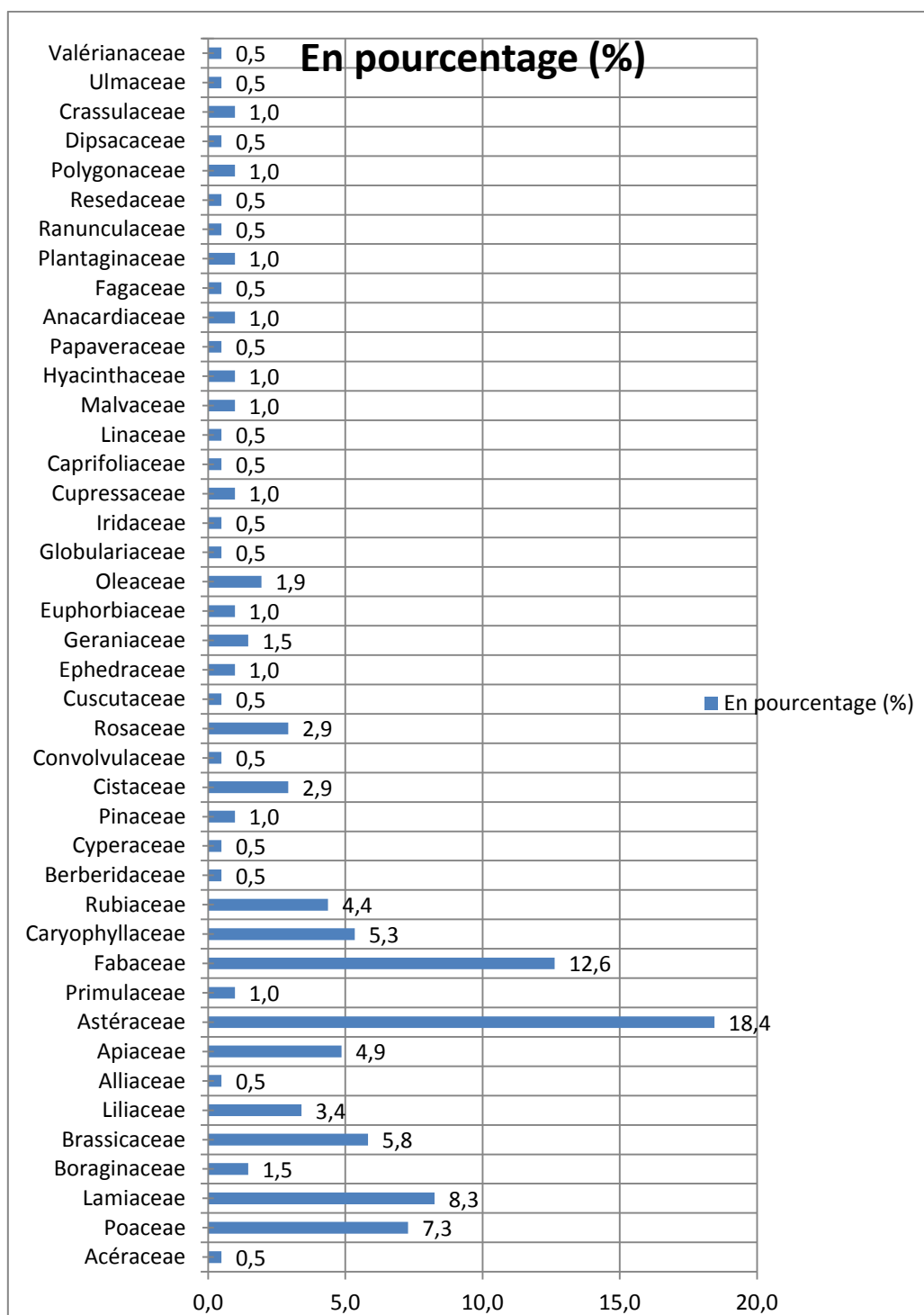


Figure 73: Répartition par famille de la flore du massif forestier de Belezma.

2.1.2. Type biologique

La classification la plus utilisée, celle de (Raunkiaer, 1934) est de nature «morphologique». Rappelons qu'elle prend en compte la position, par rapport au sol, des bourgeons de « rénovation » du végétal et permet de reconnaître cinq type.

- Phanérophyte
- Chaméphytes
- Hémicryptophytes
- Cryptophytes (Géophytes)
- Thérophytes

L'analyse des types biologiques des espèces identifiées fait ressortir la prépondérance des hémicryptophytes qui renferment un taux de 33%. La présence des thérophytes avec un taux de 30% ceci témoigne une dégradation du milieu forestier. Les chaméphytes contribuent à 13% de la flore. Les chaméphytes sont mieux adaptées que les phanérophytes à la sécheresse car ces derniers sont plus xérophiles (Bouazza et Benabadi, 2002).

Les hémicryptophytes traduisent l'effet de la pluviosité et du froid (Floret *et al.*, 1990 *in* Beghami, 2012). Quant aux thérophytes, ils témoignent un degré d'ouverture et de dégradation très important dues au pâturage, à la surexploitation du milieu et à toutes dégradations naturelles ou artificielles (Beghami, 2012).

Tableau 18 : Répartition globale des types biologiques de Belezma.

Type biologique	Nombre d'espèces	%
Phanérophyte	22	11
Chaméphyte	26	13
Hémicryptophyte	68	33
Thérophyte	62	30
Géophyte	11	5

Le spectre biologique de notre zone d'étude est le suivant :

He > Th > Ch > Ph > Ge

Malgré l'importance des hémicryptophytes, les thérophytes gardent une place importante dans les formations végétales de la zone d'étude.

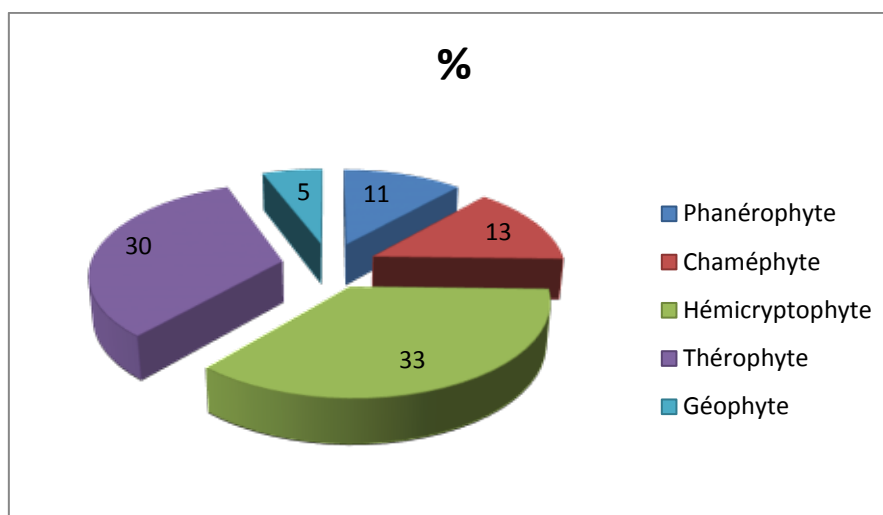


Figure 74 : Spectre biologique de la forêt de Belezma.

2.1.3. Caractéristiques biogéographiques

L'analyse biogéographique donne un spectre dominé particulièrement par le domaine méditerranéen avec 55 espèces suivi par le domaine Euro-méditerranéen avec 19 espèces. Le domaine Eurasiatique formé par 14 espèces. Les domaines West-Méditerranéen et Ibéro-mauritanien avec 9 espèces. Paléo-tempéré formé par 7 espèces et Endémique du Nord-africain par 7 espèces.

L'analyse biogéographique montre que le spectre méditerranéen au sens large ce qui prouve d'avantage que ces écosystèmes sont encore sous l'influence méditerranéen et peu continental.

Nous avons recensé 16 espèces endémiques au niveau de la forêt de Belezma : *Arabis pubescens* (Desf.)Poir., *Astragalus armatus* Willd., *Avena macrostachya* Balansa, *Cedrus atlantica* (Manetti), *Centaurea acaulis* L. p. p., *Centaurea tougourensis* B. et R., *Crucianella patula* L., *Ephedra altissima* Desf., *Erodium montanum*, *Genista microcephala* Coss. et Dur., *Hertia cheirifolia* (L.) O.K., *Hypochoeris glabra* L., *Nepeta algeriensis* de Noé., *Rosmarinus tournefortii* de Noé, *Thymus algeriensis* Boiss & Reut., *Thymus ciliatus* Desf.

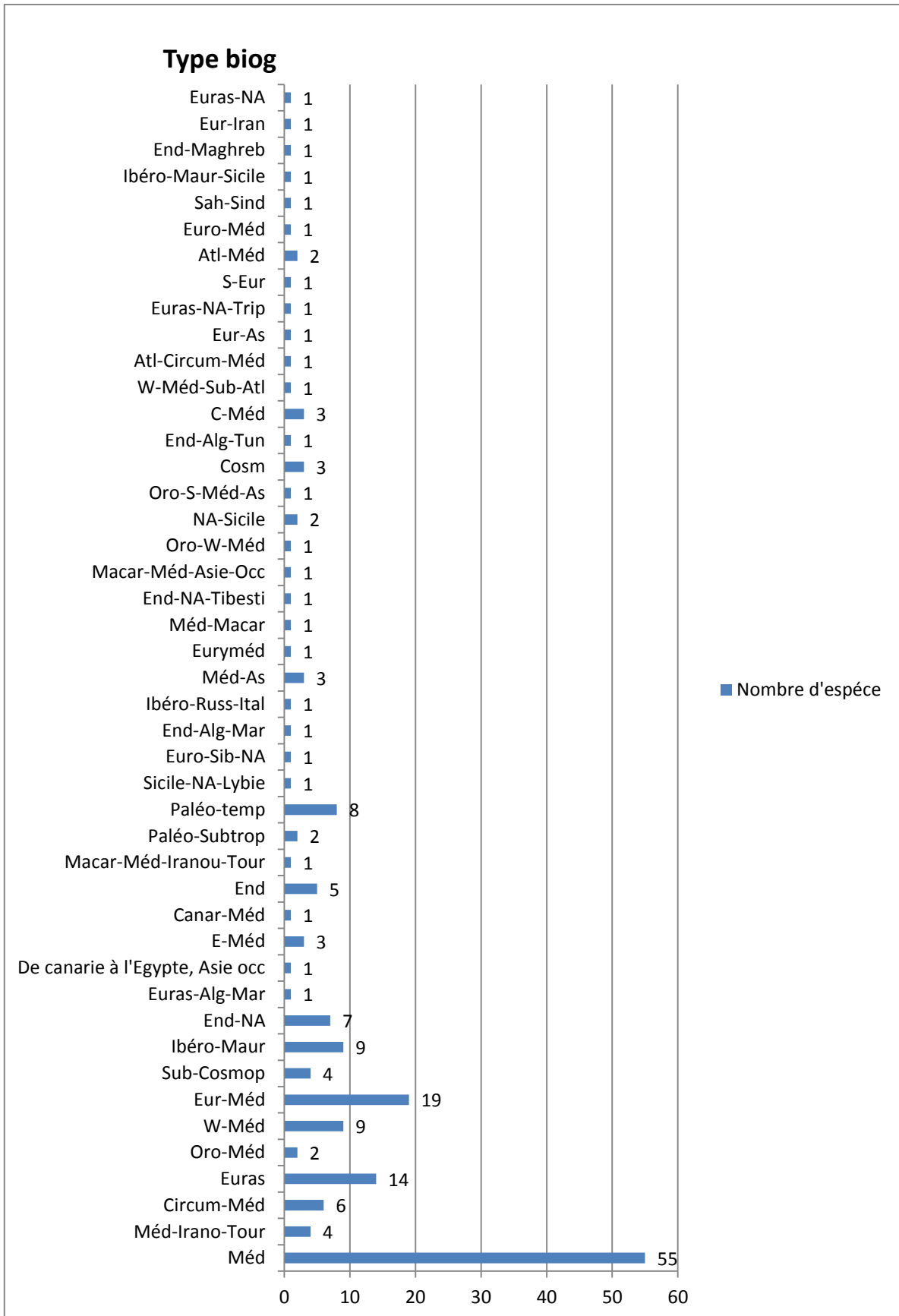


Figure 75 : Types biogéographiques de la flore de Belezma.

2.2. Guettiane

2.2.1. Richesse par famille :

Au terme de notre travail, nous avons pu recenser un total de 122 espèces réparties en 28 familles au niveau de la forêt de Guettiane. Les familles les mieux représentées dans la zone d'étude de Guettiane sont les Asteraceae avec 18 espèces (soit 15% des espèces), les Fabaceae et les Poaceae avec 14 espèces (soit 11% des espèces), les Brassicaceae avec 10 espèces (soit 8%) et enfin les Caryophyllaceae avec 9 espèces (soit 7%).

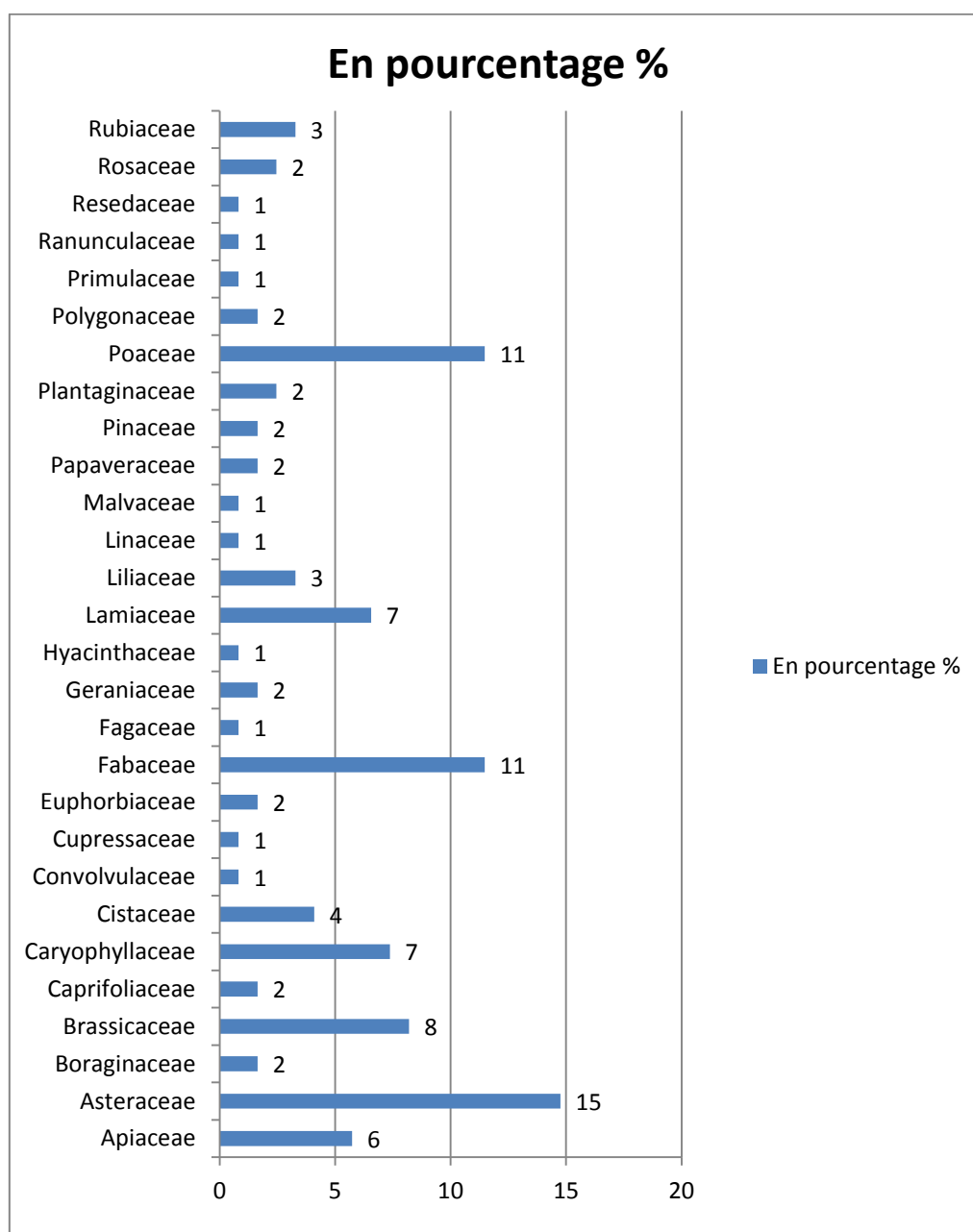


Figure 76: Répartition par famille de la flore du massif forestier de Guettiane.

2.2.2. Type biologique

Les caractéristiques des types biologiques végétaux sont en relation étroite avec les conditions environnementales et le degré de perturbation des communautés végétales (Beghami *et al.*, 2013).

L'analyse des types biologiques des espèces identifiées fait ressortir la prépondérance des hémicryptophytes qui renferment un taux de 40%. La présence des thérophytes avec un taux de 38% ceci témoigne une perturbation du milieu forestier par le surpâturage. Les chaméphytes contribuent à 14% de la flore. La dominance des hémicryptophytes et des thérophytes remarquée au niveau de la zone d'étude, reflète la régression que subissent les formations végétales de la forêt. Le faible pourcentage des phanérophytes (6 %) nous a permis de confirmer la dégradation de cette formation forestière. Ceci peut être expliqué par la sur-utilisation du bois et les incendies.

Tableau 19 : Répartition globale des types biologiques de Guettiane.

Type biologique	Nombre d'espèces	%
Phanérophyte	6	6
Chaméphyte	15	14
Hémicryptophyte	43	40
Thérophyte	41	38
Géophyte	3	3

Le spectre biologique de notre zone d'étude est le suivant :

He > Th > Ch > Ph > Ge

Malgré l'importance des hémicryptophytes, les thérophytes gardent une place importante dans les formations végétales de la zone d'étude avec 41 espèces soit 38%.

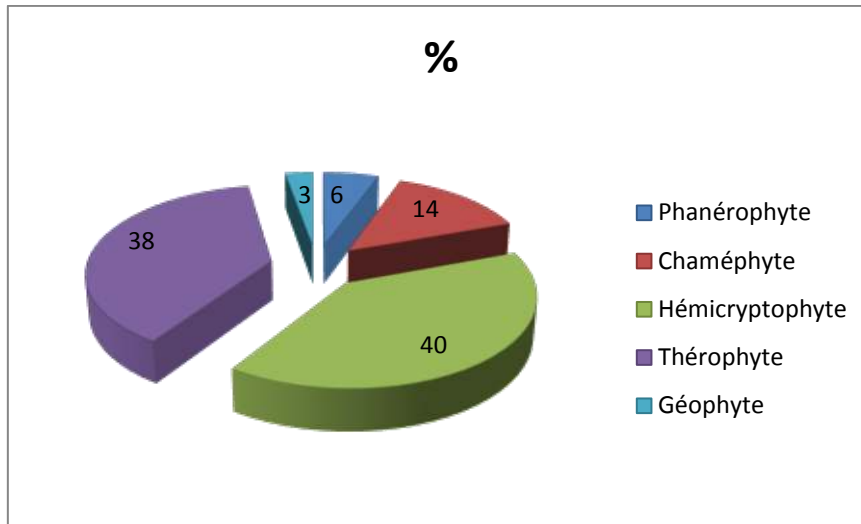


Figure 77 : Spectre biologique de la forêt de Guettiane.

2.2.3. Caractéristiques biogéographiques

Le spectre chorologique de la flore de Guettiane révèle la prédominance des espèces à aire géographique méditerranéenne avec 33 espèces suivi par les espèces à aire géographique Eurasiatique avec 10 espèces. Les espèces à aire Euro-Méditerranéenne et West-Méditerranéenne par 9 espèces. 6 espèces pour l'aire Ibéro-Mauritanienne, 5 espèces pour Paléo-tempéré et 4 espèces sont endémiques du Nord-africain. Nous avons recensé 8 espèces endémiques au niveau de la forêt de Guettiane : *Astragalus armatus Willd.*, *Cedrus atlantica (Manetti)*, *Centaurea tougourensis B. et R.*, *Crucianella patula L.*, *Hertia cheirifolia (L.) O.K.*, *Hypochoeris glabra L.*, *Thymus algeriensis Boiss & Reut.*, *Thymus ciliatus Desf.*

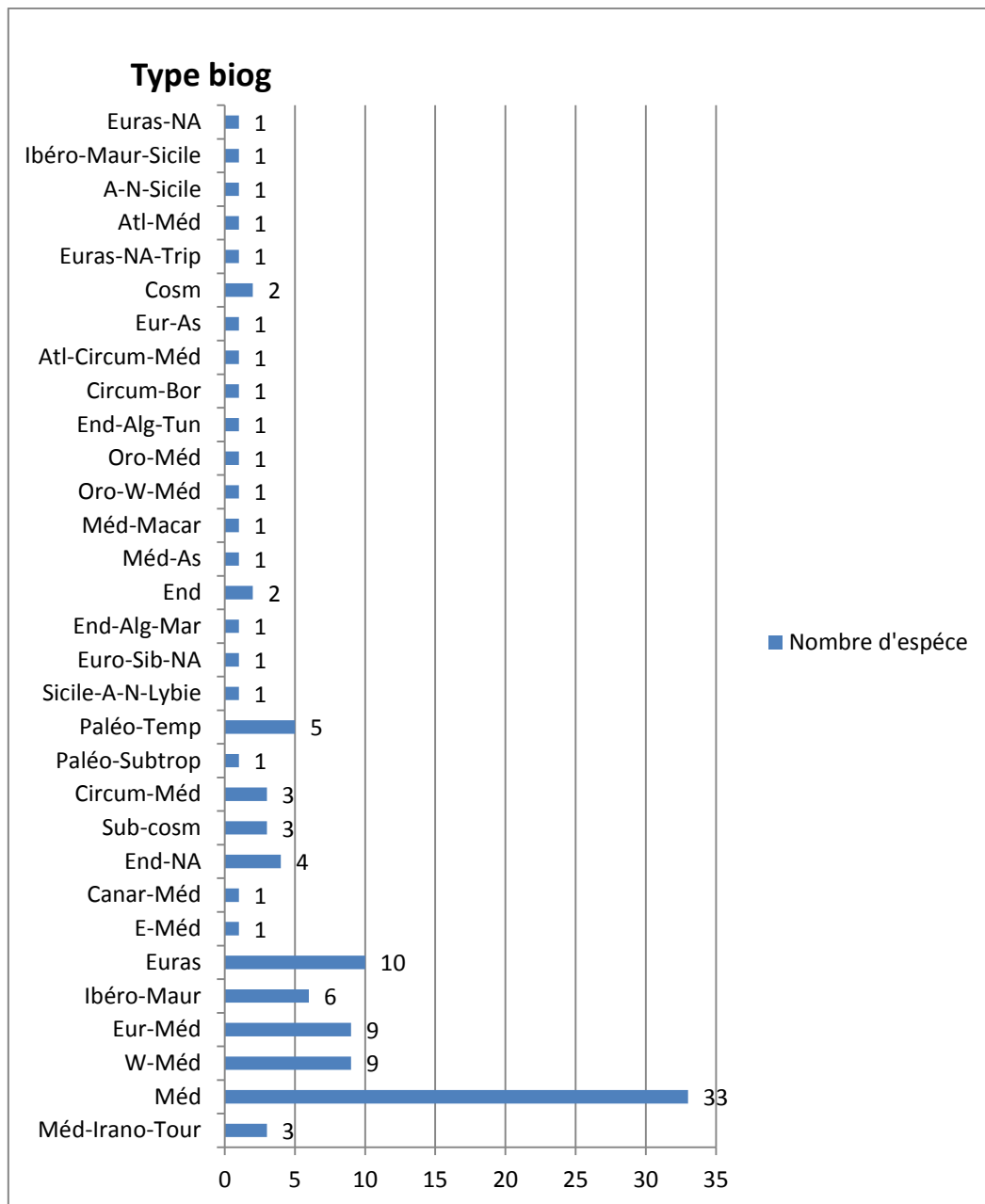


Figure 78 : Types biogéographiques de la flore de Guettiane.

2.3. Indice de perturbation

L'indice de perturbation est calculé selon Loisel et Gamila (1993) in (El bouhissi et al., 2014), il nous a permis de quantifier la thérophytisation d'un milieu.

$$IP = \frac{\text{Chaméphytes} + \text{Thérophytes}}{\text{Nombre total des espèces}} \times 100$$

L'indice de perturbation étant de l'ordre de 42,71 pour la zone d'étude Belezma et de l'ordre de 45,90 pour la zone de Guettiane. Ceci montre nettement la dégradation que subissent ces formations végétales.

Plus l'indice est élevé plus le milieu est perturbé (Beghami, 2012), Autant que l'indice est élevé autant que la dégradation est poussée. Cette thérophytisation, des formations forestières est liée à leur envahissement généralisées par des espèces annuelles souvent sub-nitrophiles et disséminées essentiellement par les troupeaux (Barbero *et al.*, 1990 *in* Beghami, 2012).

2.4. Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)

Les méthodes numériques habituellement utilisées sont fondées sur une représentation vectorielle des relevés et des espèces. Elles permettent de traiter en un minimum de temps une quantité très grande de relevés extraits de bases de données. Leur principal avantage est qu'elles imposent un contrôle beaucoup plus strict du protocole de traitement des données : en rendant explicite le choix des indices de similarité et des algorithmes, elles rendent l'analyse plus objective (reproductibilité des résultats, indépendance vis-à-vis de l'expérience du phytosociologue). Néanmoins, elles ne suppriment pas les choix nécessaires en amont et en aval de la phase d'analyse proprement dite (Gillet, 2000).

L'Analyse Factorielle des Correspondances (A.F.C.) est une méthode factorielle de Statistique Descriptive Multidimensionnelle, Son objectif est d'analyser la liaison existant entre plusieurs variables qualitatives.

2.4.1. Significations écologiques des axes :

A défaut de la prise en compte effective de variables écologiques dans le traitement, l'interprétation des axes principaux (facteurs) peut s'effectuer indirectement en fonction des espèces présentant une forte contribution relative aux valeurs propres de chacun des axes, compte-tenu de leur type biologique et de leur chorologie, mais aussi et surtout de leurs caractères autécologiques (Kaabache, 1990).

D'après Beghami (2012), les relevés à forte contribution correspondent des conditions stationnelles privilégiés, parallèlement les espèces à forte contribution possèdent une amplitude écologique particulière. Il en résulte que chaque axe interprétable traduit indirectement à une information à caractère écologique sous forme de gradient, que nous cherchons à mettre en évidence.

L'interprétation des axes factoriel nous a permet de déterminer les facteurs responsables de distribution de la végétation.

Cette analyse porte sur un tableau composé de 206 espèces distribuées sur 68 relevés codées en présence-absence pour la forêt de Belezma et 122 espèces distribuées sur 20 relevés

pour la forêt de Guettiane . Les relevés sont classés sur le plan des deux premiers axes qui totalisent 30,30 de la variance totale : 19,95 % pour le premier axe et 10,35% pour le deuxième axe (Belezma), pour la zone de Guettiane les deux axes totalisent 34,87 : 20,04% pour le premier axe et 14,83% pour le deuxième axe.

Tableau 20 : Pourcentage de variance des axes.

	Axe	% de la variance	% cumulé
Belezma	1	19,95	19,95
	2	10,35	30,30
Guettiane	1	20,04	20,04
	2	14,83	34,87

Les valeurs propres pour les deux zones d'étude montre que les deux premiers axes donnent plus de 30% de l'information totale, nous arrêtons donc notre investigation aux ces deux premiers axes.

A partir des nuages de points obtenus relatifs aux axes factoriels significatifs, on peut mettre en évidence des gradients écologiques qui agissent sur la distribution des végétaux dans les deux massifs de Belezma et de Guettiane. Nous avons retenu les relevés qui apportent le plus d'informations à l'axe considéré et à sa répartition d'une part du côté négatif et d'autre part du côté positif de chacun des axes.

2.4.1.1. Signification écologique de l'axe 1 (Belezma):

Interprétation du côté positif de l'axe 1 :

Les relevés de la partie positive rapportent aux formations de cèdre sur des hautes altitudes entre 1235 et 2028 m avec des expositions Nord, dominés par les espèces suivantes : *Cedrus atlantica* (Manetti), *Anacyclus clavatus* (Desf.), *Helianthemum croceum* (Desf.) Pers.p.p., *Quercus ilex* L., *Sedum sediforme* (Jacq.) Pau., *Juniperus oxycédrus* L., *Silene italica* L., *Bupleurum spinosum* L.

L'analyse des types biologiques des espèces constituant les relevés de la partie positive démontre la dominance des hémicryptophytes (24 espèces) suivi par les thérophytes (23 espèces), les chaméphytes (9 espèces), les phanérophytes (6 espèces) et les géophytes (2 espèces). Les hémicryptophytes traduisent l'effet de la pluviosité et du froid (Floret *et al.*, 1990 in Beghami, 2012), la présence des thérophytes témoigne une perturbation du milieu forestier par le surpâturage.

Interprétation du côté négatif de l'axe 1 :

A l'opposé, les relevés qui contribuent le plus dans le sens négatif de l'axe 1 correspondent à des relevés relatifs aux maquis de chêne vert (*Quercus ilex L.*) et de genévrier oxycèdre et de genévrier de Phénicie (*Juniperus oxycédrus L.* et *Juniperus phoenica L.*) attachés dans quelques relevés par l'olivier (*Olea europea*) sur des basses altitudes entre 1007 et 1334m, dominés par les espèces suivantes : *Quercus ilex L.*, *Pistacia lentiscus L.*, *Juniperus oxycédrus L.*, *Juniperus phoenica L.*, *Teucrium polium L. (p. p.)*, *Teucrium pseudo-chamaepitys L.*, *Stipa tenacissima L.*, *Olea europea*, *Mentha aquatica L.*, *Globularia alypum L.*, *Rosmarinus officinalis L.*, *Paronychia argentea (Pourr.) Lamk.*

L'analyse des types biologiques des espèces constituant les relevés du sens négatif de l'axe 1 démontre la dominance des chaméphytes (15 espèces), suivi par les hémicryptophytes (13 espèces), les thérophytes (11 espèces), les phanérophytes (7 espèces) et les géophytes (6 espèces). La dominance des chaméphytes indique l'ouverture du milieu forestier, le faible nombre de ce type biologique pourra témoigner d'un bon état de santé au niveau des formations forestières. En effet leur proportion augmente dès qu'il y a dégradation des milieux forestiers car ce type biologique semble être mieux adapté que les phanérophytes à la sécheresse estivale.

Après cette analyse on peut constater que l'axe 1 montre la dynamique régressive de la végétation du côté positif vers le côté négatif, ce qui montre un gradient d'ouverture du milieu et une dégradation des cédraies vers des maquis de chêne vert liée au dépérissement du cèdre, la sur-utilisation du bois et le surpâturage.

2.4.1.2. Signification écologique de l'axe 2 (Belezma):**Interprétation du côté positif de l'axe 2 :**

Les relevés du sens positif de l'axe 2 rapportent aux formations plus évoluées sur des altitudes entre 1192 et 1733 m dominées par les espèces suivantes : *Cedrus atlantica (Manetti)*, *Quercus ilex L.*, *Juniperus oxycédrus L.*, *Anacyclus clavatus (Desf.)*, *Asphodeline lutea (L.) Rchb.*, *Helianthemum croceum (Desf.) Pers.p.p.*, *Silene italica L.*, *Ampelodesma mauritanicum (Poir.) Dur. Et Schinz.*, *Catananche coerulea L.*, *Asperula hirsuta Desf.*, *Dactylis glomerata L.*, *Erinacea anthyllis Link.*, *Micropus bombicinus Lag.*, *Hypochoeris glabra L.*, *Torilis nodosa Gaertn.*

L'analyse des types biologiques des espèces constituant ces relevés démontre la dominance des hémicryptophytes (31 espèces) suivi par thérophytes (27 espèces), les chaméphytes (14 espèces), les phanérophytes (8 espèces) et les géophytes (5 espèces).

Interprétation du côté négatif de l'axe 2 :

Les relevés du sens négatif de l'axe 2 rapportent aux formations plus ouvertes et très dégradées ; des junipérais sur des altitudes entre 1007 et 1408 m dominées par les espèces suivantes : *Juniperus phoenicea* L., *Olea europea*, *Teucrium pseudo-chamaepitys* L., *Teucrium polium* L. (p. p.), *Rosmarinus officinalis* L., *Stipa tenacissima* L., *Mentha aquatica* L., *Brachypodium distachyon* (L.) P.B., *Sedum sediforme* (Jacq.) Pau, *Pistacia lentiscus* L. et *Globularia alypum* L.

L'analyse des types biologiques des espèces constituant ces relevés montre la dominance des chaméphytes (7 espèces) suivi par les hémicryptophytes (6 espèces), les phanérophytes (6 espèces) les thérophytes (5 espèces), et les géophytes (2 espèces).

La dominance des hémicryptophytes dans le sens positif de l'axe 2 traduit l'effet de la pluviosité et du froid, tandis que la dominance des chaméphytes dans le sens négatif de cet axe traduit l'ouverture du milieu, les chaméphytes résistent mieux à la sécheresse. Dans le sens positif de l'axe 2 apparaissent les relevés de hautes altitudes allant de 1192 à 1733 m. Alors que les relevés de basses altitudes allant de 1007 à 1408 m se concentrent dans le sens négatif de cet axe, ce qui traduit l'effet de l'altitude dans la répartition des espèces. Dans ce contexte, il est clair qu'au niveau du massif de Belezma la disposition des espèces dans cet axe traduit un gradient d'aridité.

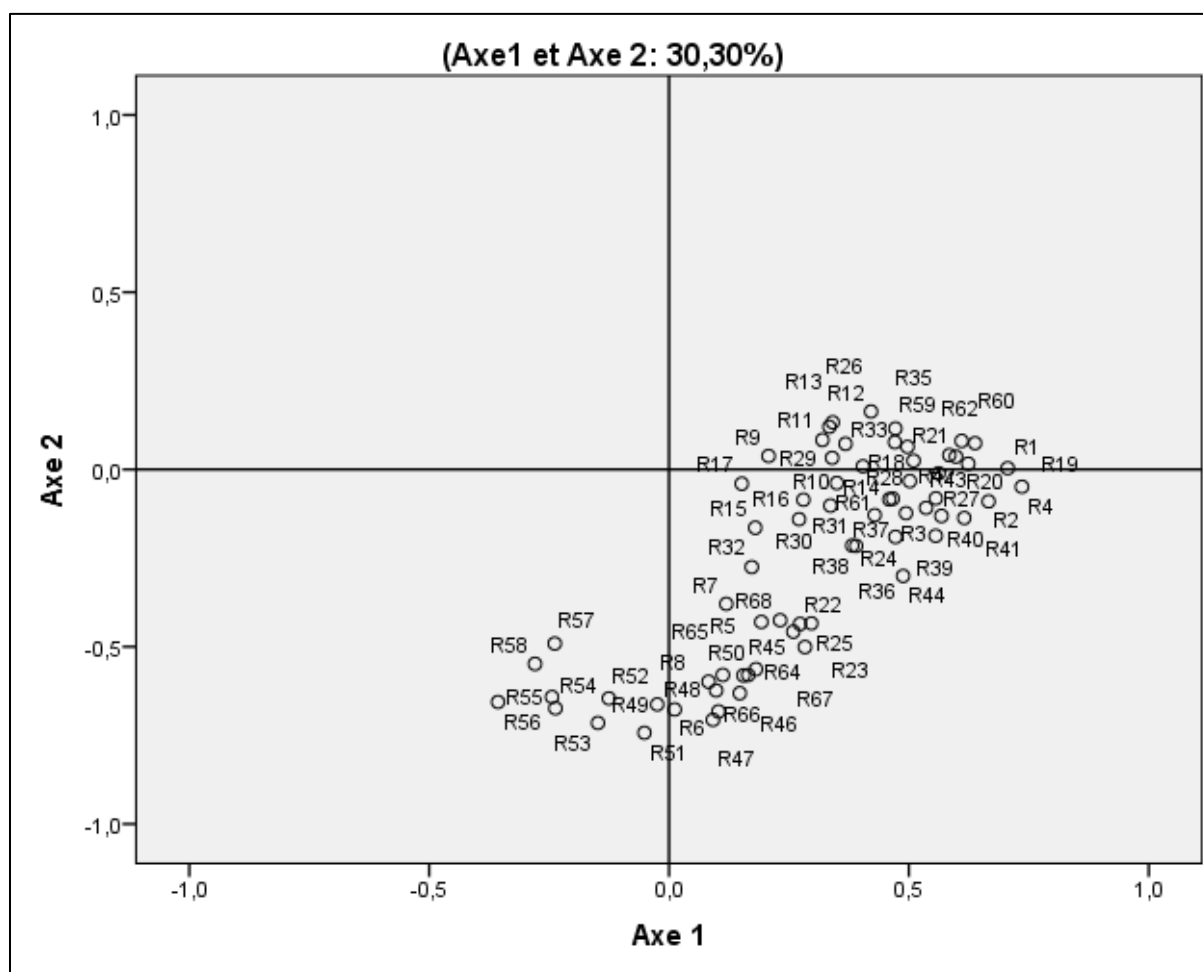


Figure 79: Graphique factoriel des axes 1 et 2 (Belezma).

2.4.1.3. Signification écologique de l'axe 1 (Guettiane):

Interprétation du côté positif de l'axe 1 :

Le sens positif de l'axe 1 réunit des relevés qui rapportent aux formations de Pin d'Alep attachées parfois par le chêne vert et genévrier oxycédre, dont les espèces les plus dominantes au niveau de ces relevés sont :

Asperula hirsuta Desf., *Coronilla scorpioides* Koch., *Cynosurus echinatus* L., *Eryngium campestre* L., *Micropus bombicinus* Lag., *Paronychia argentea* (Pourr.) Lamk., *Pinus halepensis* Mill., *Polycarpon polycarpoides* (Biv.) Zodda., *Centaurea tougourensis* B. et R., *Teucrium polium* L. (p. p.).

L'analyse des types biologiques des espèces recensées au niveau de ces relevés démontre une dominance des hémicryptophytes (22 espèces), suivi par les thérophytes (16

espèces), les chaméphytes (9 espèces), les phanérophytes (3 espèces). La faible proportion des phanérophytes met en évidence les impacts anthropiques au niveau de la forêt.

Interprétation du côté négatif de l'axe 1 :

Les relevés du sens négatif de l'axe 1 rapportent aux formations de cèdre situées sur des altitudes entre 1580 et 1640 m où les expositions des versants sont nord, dont les espèces les plus dominantes sont : *Anacyclus clavatus* (Desf.), *Anagallis monelli* L., *Arenaria serpyllifolia* L., *Astragalus armatus* Willd., *Bellis silvestris* L., *Bromus erectus* Huds., *Carduncellus pinnatus* (Desf.) DC., *Catananche coerulea* L., *Cedrus atlantica* (Manetti), *Centaurea tougourensis* B. et R., *Crataegus laciniata*, *Cynosurus echinatus* L., *Helianthemum croceum* (Desf.) Pers. p.p., *Juniperus oxycédrus* L., *Petrorhagia prolifera* L., *Quercus ilex* L., *Thymus algeriensis* Boiss & Reut., *Satureja granatensis* (Boiss. Et Reut.) R. Fernandes., *Scandix pecten-veneris* L., *Xeranthemum inapertum* (L.) Mill.

L'analyse des types biologiques de ces relevés démontre une dominance des thérophytes (25 espèces) au niveau de ces cédraies ce qui confirme une thérophytisation, la présence des thérophytes témoigne une perturbation du milieu forestier par le surpâturage, suivi par les hémicryptophytes (24 espèces), les chaméphytes (9 espèces), les phanérophytes (5 espèces) et les géophytes (2 espèces).

Les espèces du côté positif de l'axe 1 annoncent un stade de dégradation du couvert végétal (*Pinus halepensis* Mill., *Quercus ilex* L., *Juniperus oxycédrus* L.), à l'opposé du sens négatif qui réunit des espèces forestières plus évoluées (*Cedrus atlantica* (Manetti)).

La dominance des thérophytes dans le sens négatif de l'axe 1 indique la présence de surpâturage au niveau des cédraies de Guettiane, selon Beghami (2012), la présence des thérophytes témoigne un degré d'ouverture et de dégradation très important dues au pâturage, à la surexploitation du milieu et à toutes dégradations naturelles ou artificielles. Dans ce contexte, il est clair qu'au niveau du massif de Guettiane la disposition des espèces dans cet axe traduit un gradient de dynamique régressive et de la dégradation de la végétation.

2.4.1.4. Signification écologique de l'axe 2 (Guettiane):

Interprétation du côté positif de l'axe 2 :

Le côté positif de l'axe 1 regroupe des relevés réalisés sur des altitudes entre 1400 et 1600 m, ils rapportent aux cédraies, dont les espèces dominantes recensées au niveau ces

relevés sont : *Anacyclus clavatus* (Desf.), *Asperula hirsuta* Desf., *Cistus monspeliensis* L., *Astragalus armatus* Willd., *Dactylis glomerata* L., *Quercus ilex* L., *Juniperus oxycédrus* L., *Helianthemum cinerum* (Cav.) Pers., *Micropus bombicinus* Lag., *Polycarpon polycarpoides* (Biv.) Zodda., *Teucrium polium* L. (p. p.), *Thymus algeriensis* Boiss & Reut., *Bromus erectus* Huds, *Centaurea tougourensis* B. et R., *Catananche coerulea* L., *Helianthemum croceum* (Desf.) Pers. p.p.

Les hémicryptophytes sont les espèces les plus dominantes au niveau de ces relevés (31 espèces), suivi par les thérophytes (14 espèces), les chaméphytes (10 espèces) et les phanérophytes (4 espèces).

Interprétation du côté négatif de l'axe 2 :

Le sens négatif de cet axe regroupe des relevés réalisés au niveau des pineraies régénérés après incendies, dominés par les espèces suivantes :

Alkanna tinctoria (L.) Taush, *Asperula hirsuta* Desf., *Biscutella didyma* L., *Bromus rubens* L., *Centaurea tougourensis* B. et R., *Crepis vesicaria* p.p., *Dactylis glomerata* L., *Erodium cicutarium* L'Her., *Eruca vesicaria* (L.)Car., *Eryngium campestre* L., *Euphorbia helioscopia* L., *Linum strictum* L., *Micropus bombicinus* Lag., *Pinus halepensis* Mill., *Stipa tenacissima* L., *Teucrium pseudo-chamaepitys* L., *Xeranthemum inapertum* (L.) Mill., *Reseda alba* L., *Paronychia argentea* (Pourr.) Lamk.

Les thérophytes sont les espèces les plus représentées dans ces relevés (16 espèces). Ce sont des plantes à cycle court adaptées à la sécheresse, suivi par les hémicryptophytes (12 espèces), les chaméphytes (5 espèces) et une espèce de phanérophytes (*Pinus halepensis* Mill.).

On remarque également la présence de l'espèce *Asphodelus microcarpus* Salzm et Viv pour les deux sens positif et négatif de l'axe 2. Elle indique un gradient croissant d'anthropisation (surpâturage) qui va du côté positif au côté négatif.

La rareté des chaméphytes témoigne de la forte pression pastorale sur le milieu, tandis que la faible proportion des phanérophytes met en évidence les impacts des coupes des arbres et de brûlis au niveau de la forêt. La dominance des thérophytes reflète la régression que subissent les formations végétales de la forêt de Guettiane. D'une manière générale on peut

constater que cet axe traduit un gradient d'anthropisation (surpâturage, incendie et coupe du bois).

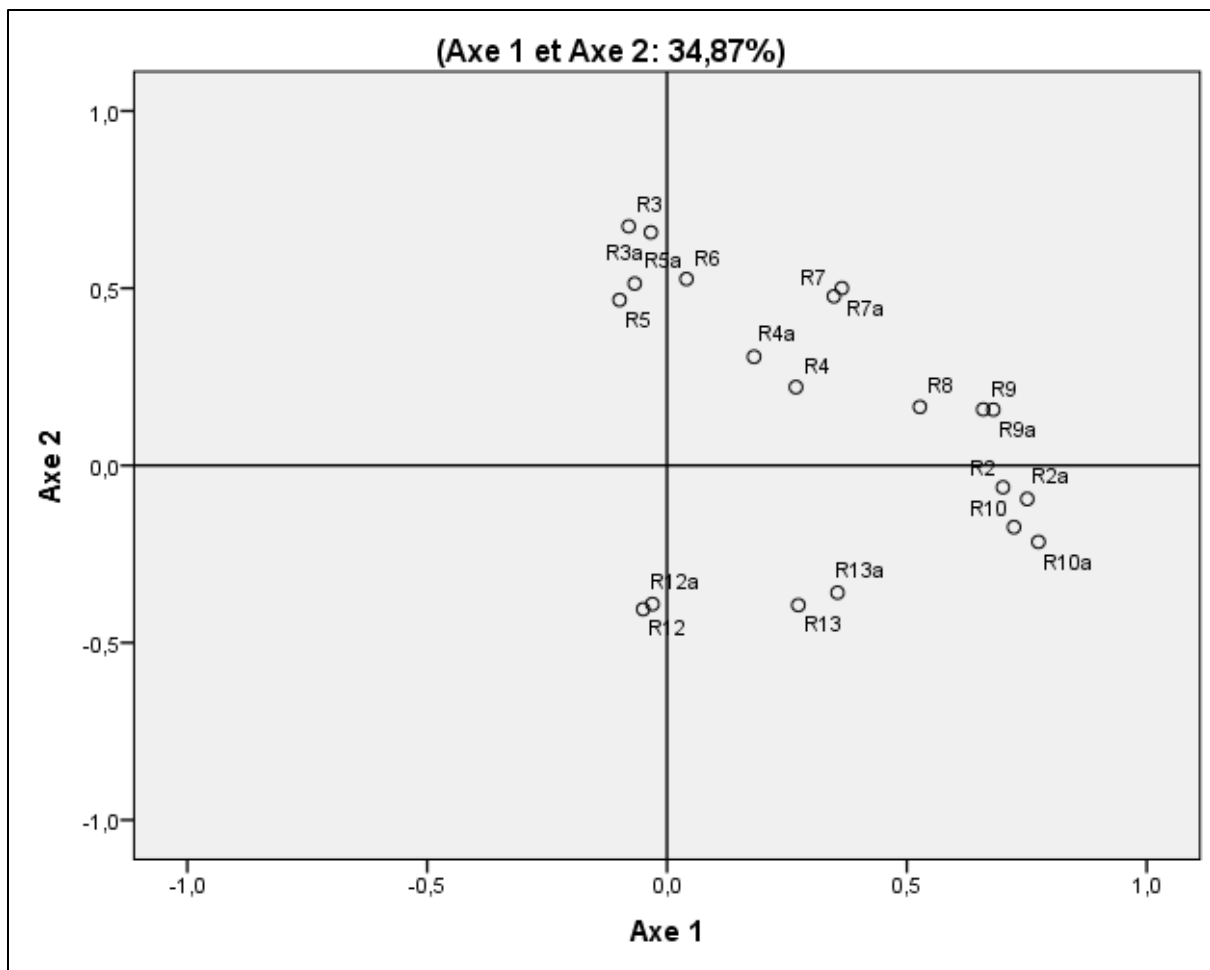


Figure 80: Graphique factoriel des axes 1 et 2 (Guettiane).

2.5. Classification ascendante hiérarchique (CAH)

Les méthodes de classification ont pour objectif de constituer des groupes d'individus aussi similaires que possible. La classification est une méthode de regroupement des individus selon leurs ressemblances. La classification agglomérative (encore appelée classification hiérarchique ascendante) est une méthode de classification dont le principe est de regrouper des individus selon leurs ressemblances et les représenter sous la forme d'un arbre de classification appelé dendrogramme. Le nombre de groupes n'est pas connu a priori. L'élaboration de cet arbre est ascendante, par regroupements successifs des individus. L'arbre de classification relie un individu à un autre ou à un sous-groupe d'individus issus eux-mêmes de regroupements antérieurs (Glèlè Kakai *et al.*, 2016).

2.5.1. Discriminations des groupements végétaux

2.5.1.1. La forêt de BELEZMA

L'étude de la carte factorielle des relevés et le dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique nous a permis la différenciation de quatre groupements de végétation :

Groupement A

Les relevés représentés ce groupement ont une altitude de 1192 m à 1469 m et des expositions généralement Sud. Ce sont des maquis de chêne vert avec genévrier oxycédre et genévrier de Phénicie attachés parfois par le Pin d'Alep. Le cortège floristique de cette formation est constitué par les espèces suivantes :

Quercus ilex L., Juniperus oxycédrus L., Juniperus phoenicea L., Pinus halepensis Mill., Pistacia lentiscus L., Aegilops triuncialis L., Ampelodesma mauritanicum (Poir.) Dur. Et Schinz., Anacyclus clavatus (Desf.), Asperula hirsuta Desf., Asphodelus microcarpus Salzm et Viv., Atractylis cancellata L., Atractylis humilis L., Calycotome spinosa (L.) Lamk, Centaurea tougourensis B. et R., Cistus monspeliensis L., Coronilla scorpioides Koch., Dactylis glomerata L., Eryngium campestre L., Euphorbia helioscopia L., Globularia alypum L., Helianthemum cinerum (Cav.) Pers., Linum strictum L., Micropus bombicinus Lag., Muscari neglectum Guss., Pallenis spinosa (L.) Cass., Paronychia argentea (Pourr.) Lamk., Scabiosa crenata Cyr., Stipa tenacissima L., Teucrium polium L. (p. p.), Thymus ciliatus Desf.

Groupement B

Ce groupe est représenté par des relevés effectués au Djerma qui se caractérise par des maquis de chêne vert ou des garrigues selon le type du sol sur lequel reposent, qui se trouvent aussi sur des basses altitudes comprises entre 1007 m et 1076 m, avec des expositions Nord et Sud. Ce sont des formations très ouvertes et dégradées. Les espèces caractéristiques de ces formations sont :

Juniperus oxycédrus L., Juniperus phoenicea L., Olea europea, Pistacia lentiscus L., Quercus ilex L., Aegilops triuncialis L., Artemisia herba-alba, Asphodelus microcarpus Salzm et Viv., Astragalus armatus Willd., Atractylis cancellata L., Atractylis humilis L., Avena macrostachya Balansa., Brachypodium distachyon (L.) P.B., Centaurea tougourensis B. et R., Convolvulus cantabrica L., Dactylis glomerata L., Ephedra altissima Desf., Erodium montanum, Fumana thymifolia (L.) Verlot., Globularia alypum L., Helianthemum cinerum (Cav.) Pers., Jasminum fruticans L., Micropus bombicinus Lag., Linum strictum L., Paronychia argentea (Pourr.) Lamk., Phillyrea angustifolia L., Rosmarinus officinalis L.,

Sideritis montana L., *Sedum sediforme* (Jacq.) Pau, *Stipa tenacissima* L., *Teucrium polium* L. (p. p.), *Thymus ciliatus* Desf., *Teucrium pseudo-chamaepitys* L.

Groupement C

Le groupement C se caractérise par des relevés effectués au niveau des altitudes comprises entre 1340 m et 1566 m avec une majorité des expositions sud. C'est un maquis de chêne vert et de Genévrier oxycédre attaché par pistachier de l'Atlas et du frêne, constitué par les espèces suivantes : *Juniperus oxycedrus*, *Quercus ilex*, *Pistacia lentiscus* L., *Pistacia terebinthus*, *Fraxinus xanthoxyloides*, *Ampelodesma mauritanicum*, *Carduus pycnocephalus* L., *Asphodeline lutea*, *Asphodelus microcarpus*, *Carduus nutans*, *Teucrium polium*, *Carduncelus pinatus*, *Anthyllis vulneraria*, *Astragalus peregrinus*, *Bromus rubens* L., *Aegilops triuncialis*, *Aegilops ovata*, *Biscutella didyma*, *Coronilla scorpioides*, *Crucianella patulla*, *Hypochoeris radicata* L., *Muscari comosum*, *Senecio vulgaris*, *Psoralea bituminosa*, *Alkana tinctoria*, *Papaver dubium*, *Rumex bucephalophorus* L., *Sedum sediforme*, *Teucrium pseudo-chamaepitys*, *Thymus algeriensis*, *Centaurea incana*, *Cistus monspeliensis*, *Convolvulus cantabrica*, *Asperula hirsuta*, *Calycotome spinosa*, *Catananche coerulea*, *Centaurea alba*, *Dactylis glomerata*, *Erinacea anthyllis*, *Ferula communis*, *Micropus bombycinus*, *Scabiosa crenata*, *Xeranthemum inapartium*, *Avena macrostachya*, *Centaurea tougourensis*, *Helianthemum cinerum*, *Salvia verbenaca*, *Centaurea acaulis*, *Crepis visicaria*, *Jasminum fruticans*, *Thymus ciliatus*, *Cistus villosus* L., *Crupina vulgaris*, *Hypochoeris achyrophorus* L., *Ornithogalum tenuifolium* Guss, *Artemisia herba-alba.*, *Astragalus armatus* Willd., *Paronychia argentea* (Pourr.) Lamk., *Anacyclus clavatus*.

La présence du Diss (*Ampelodesma mauritanicum*) et de l'Asphodèle (*Asphodeline lutea*, *Asphodelus microcarpus*) indique une certaine dégradation du milieu (anthropisation), l'Asphodèle est une espèce qui résiste à la sécheresse, d'autre part elle est indicatrice de surpâturage, sous l'effet de ce dernier, le couvert végétal se dégrade fortement avec un grand développement de Poaceae (*Bromus rubens* L., *Aegilops triuncialis*, *Aegilops ovata*, *Avena macrostachya*).

Ce groupe représente une forme de dégradation de la cédraie de Belezma qui donne ce maquis de chêne vert et de Genévrier, notant que quelques relevés de ce groupe comprennent des souches de cèdre dépéris totalement (Figure 81).



Figure 81: Dépérissement totale des cédraies de Belezma-Bordjem à 1556 m d'altitude (Barbache, 2013).

Groupement D

Ce groupe englobe des relevés réalisés sur des altitudes entre 1323 m et 2028 m, presque toutes les expositions sont Nord, il s'agit des Cédraies soit pure, ou mixte avec le chêne vert et le genévrier. Les espèces constituantes ce groupement sont :

Cedrus atlantica (Manetti), *Quercus ilex* L., *Juniperus oxycédrus* L., *Ampelodesma mauritanicum* (Poir.) Dur. Et Schinz., *Anacyclus clavatus* (Desf.), *Asperula hirsuta* Desf., *Asphodeline lutea* (L.) Rchb., *Centaurea tougourensis* B. et R., *Coronilla scorpioides* Koch., *Calycotome spinosa* (L.) Lamk, *Carduus nutans* L., *Dactylis glomerata* L., *Erinacea anthyllis* Link., *Eryngium campestre* L., *Ferula communis* L. *Helianthemum croceum* (Desf.) Pers. p.p., *Hyoseris radiata* L., *Hypochoeris glabra* L., *Lotus corniculatus* L., *Poa bulbosa* L., *Ranunculus spicatus* Maire., *Silene italica* L., *Thlaspi perfoliatum* L., *Torilis nodosa* Gaertn., *Anthyllis vulneraria* L., *Catananche coerulea* L., *Helianthemum cinerum* (Cav.) Pers., *Cynosurus echinatus* L., *Ornithogalum umbellatum* L., *Sedum sediforme* (Jacq.) Pau, *Bellis silvestris* L., *Geranium robertianum* L., *Rumex tuberosus* L., *Thymus ciliatus* Desf., *Bifora testiculata* Roth., *Centaurea alba* L., *Leuzea conifera* (L.) DC., *Satureja granatensis* (Boiss. Et Reut.) R. Fernandes.

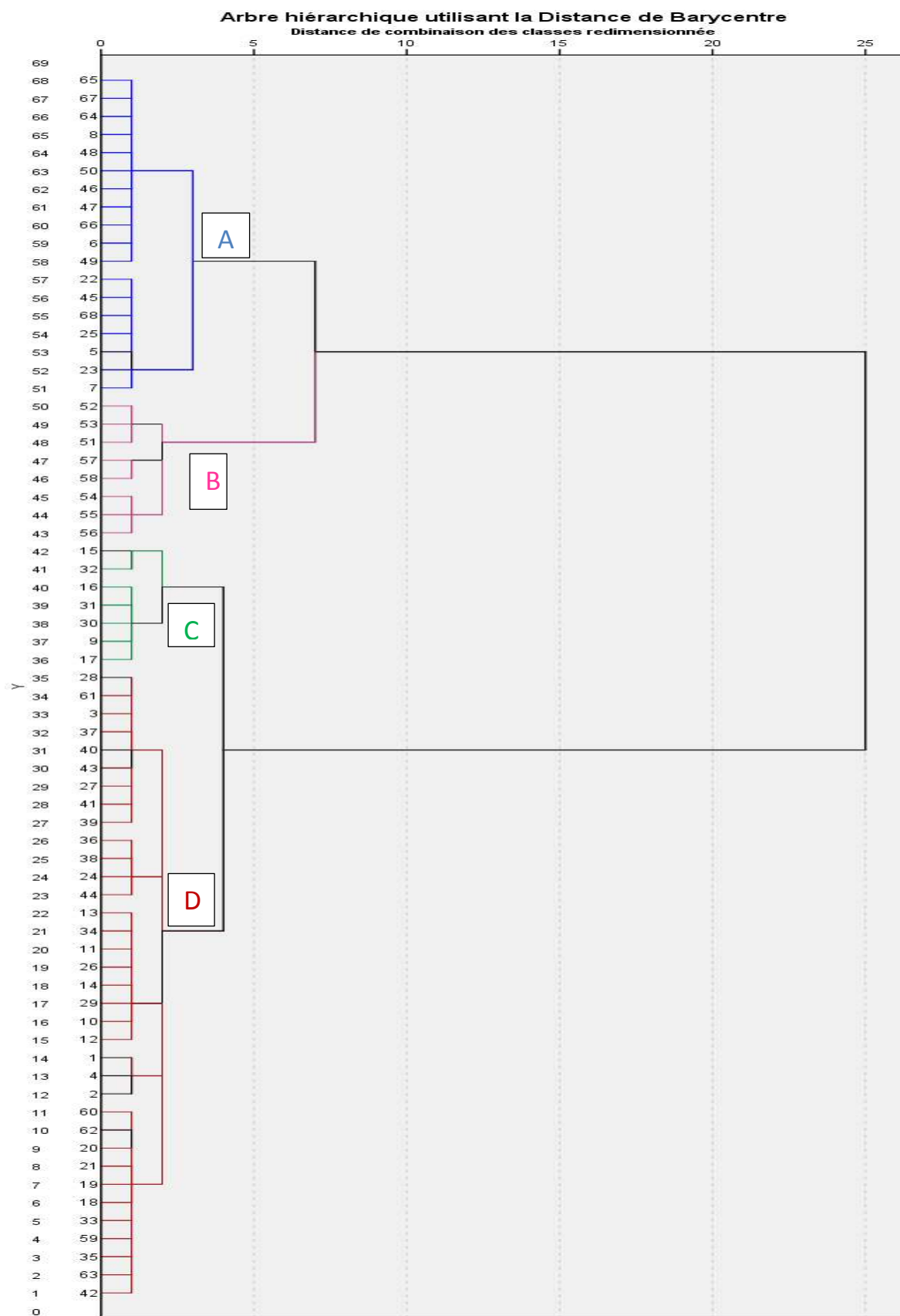


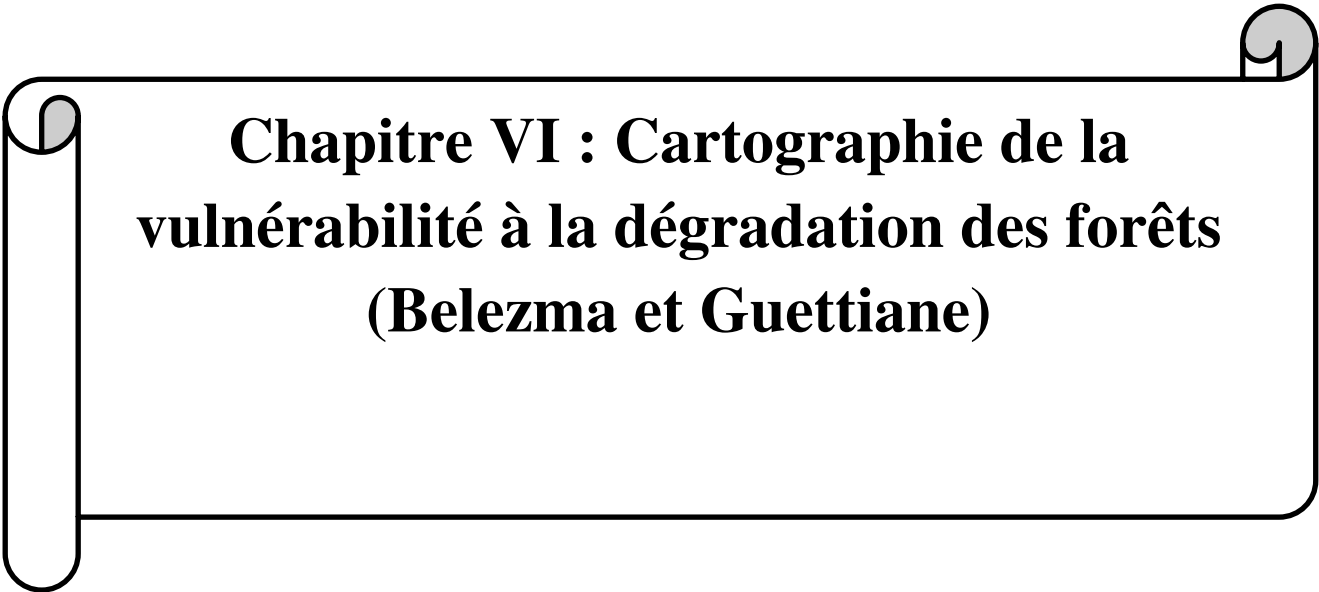
Figure 82: Dendrogramme de la classification hiérarchique des groupements végétaux de la forêt de Belezma.

Conclusion

Cet inventaire renferme un total de 206 espèces réparties en 42 familles au niveau de la forêt de Belezma et 122 espèces réparties en 28 familles au niveau de la forêt de Guettiane. Ces familles sont dominées essentiellement par les Asteraceae (C'est l'une des caractéristiques de la méditerranée), les Fabaceae, les Lamiaceae, les Brassicaceae et les Poaceae.

L'analyse de spectre biologique des zones d'étude révèle la dominance des hémicryptophyte et les thérophytes sur l'ensemble des types biologiques, dont cette forte représentation des thérophytes montre une certaine ouverture de ces écosystèmes forestiers. Abdessemed (1981), indique que les formations forestière les plus remarquables dans les Aurès et le Belezma, les cédraies et les pinèdes forment les plus beaux boisements et constituent les véritables forêts, le reste de la végétation n'étant que des matorrals plus ou moins arborés.

L'étude phytosociologique d'Abdessemed (1981), permet de montrer que le cèdre participe à des groupements très variés dans des conditions écologiques très diverses allant du semi-aride à l'humide et sur différents substrats.



**Chapitre VI : Cartographie de la
vulnérabilité à la dégradation des forêts
(Belezma et Guettiane)**

Introduction

En Algérie, comme dans la plupart des pays en développement, la conjugaison de la pauvreté et de la croissance démographique dans les milieux naturels fragiles aboutit à une dégradation des ressources non-renouvelables, ou difficilement renouvelables, notamment les forêts, les sols et les eaux (Benmessaoud *et al.*, 2009).

La Forêt algérienne est directement liée au climat méditerranéen qui caractérise tout le nord de L'Algérie. Ces forêts sont hétérogènes et inégalement réparties en fonction de la distribution des méso-climats, de l'orographie et de l'action anthropique. Les caractères du milieu confèrent à la forêt une vulnérabilité et une fragilité accentuées par une exploitation qui dure depuis quelques millénaires. Les forêts climaciques sont assez réduites, de grandes superficies sont remplacées par des formations de dégradation telles que les maquis, les garrigues et les pelouses. La dégradation ancienne de la forêt a entraîné un déséquilibre important entre les superficies existantes et les superficies potentielles. Les massifs littoraux du Nord-Est, les plus humides, sont aussi les régions les plus forestières (Benderradji *et al.*, 2006).

Les méthodes d'analyse multicritère sont des outils d'aide à la décision développées depuis des années 1960. De nombreuses méthodes ont été proposées afin de permettre aux décideurs de faire un bon choix. Pour certains experts du domaine, ce choix existe dans l'esprit du décideur, et le processus d'aide à la décision doit le faire ressortir. Pour d'autres, le processus d'aide à la décision doit créer ce choix (Caillet, 2003).

Le changement climatique, l'augmentation de la température, la diminution de taux de précipitation, les maladies phytosanitaires telles que la chenille processionnaire, les incendies, combinés avec l'action anthropique (éradication et exploitation exhaustive des ressources naturelles et surpâturage) sont des facteurs qui provoquent la fragilisation et la dégradation des écosystèmes forestiers algériens. A cet effet, il est nécessaire de créer une stratégie pour objet de connaissance précoce ou bien d'une alerte d'un risque ou de l'état de la dégradation du couvert.

L'objectif de ce chapitre est de faire une carte de vulnérabilité à la dégradation des forêts en utilisant la méthode de l'analyse multicritère sous le logiciel Arc gis.

1-Notion de vulnérabilité

Avant d'expliquer la méthodologie de travail adoptée dans cette approche il est nécessaire de définir de façon brève mais claire les notions de bases suivantes :

Vulnérabilité : Degré de perte d'un élément ou d'un ensemble d'éléments exposés en cas de phénomènes dangereux (Julião et *al.*, 2009).

Risque : Possibilité d'occurrence d'un phénomène dangereux (aléa) et estimation respective de ses conséquences sur les personnes et les biens ou sur l'environnement, exprimés en dommages corporels et/ou préjudices matériels et fonctionnels, directs ou indirects (vulnérabilité) (Julião et *al.*, 2009).

Aléa : Correspond à la probabilité de l'occurrence d'un phénomène ou d'une action potentiellement destructeurs (ou capable de provoquer des dommages), d'une certaine brutalité, dans une zone et une période de temps données (Julião et *al.*, 2009).

Susceptibilité : Représente la prédisposition d'une zone à être touchée par certains phénomènes dangereux, en un temps indéterminé, évaluée à l'aide de critères de prédisposition à ces phénomènes ou actions, sans prendre en compte sa période de retour ou la possibilité de se reproduire (Julião et *al.*, 2009).

Analyse multicritère : L'analyse multicritère est un outil d'aide à la décision développé pour résoudre des problèmes multicritère complexes qui incluent des aspects qualitatifs et/ou quantitatifs dans un processus décisionnel (Mendoza et Macoun, 2000).

Indicateur : Variable ou composante de l'écosystème forestier ou du système de gestion qui est utilisée pour caractériser l'état d'un critère particulier. Chaque indicateur ne doit véhiculer qu'un seul « message significatif » appelé « information ». Il représente l'agrégation d'une ou de plusieurs données liées entre elles par des relations bien établies (Mendoza et Macoun, 2000).

D'après Roselt/Oss, (2004) Un indicateur est un paramètre, ou une valeur calculée à partir d'un ensemble de paramètre, qui fournit des informations sur un phénomène ou sur son état. Un indicateur est conçu pour un certain objectif, et au profit d'un certain groupe d'utilisateurs. Il reflète une certaine situation et aide à la décision par rapport à cette situation. Un indicateur peut donc être :

- Un étalon de mesure quantitatif (calculé à partir d'observations réalisées sur le terrain en divers points, exprimé en proportion de la superficie totale d'un pays ou d'une région donnée)
- Une description qualitative.

Critère : Norme qui permet de porter un jugement. Un critère peut donc être assimilé à un principe de deuxième ordre. Il précise la signification et le sens d'application d'un principe sans être lui-même une mesure de performance directe. Les critères sont des niveaux intermédiaires qui intègrent l'information fournie par les indicateurs et où se cristallise une évaluation interprétable. Les principes constituent les points finaux de cette intégration (Mendoza et Macoun, 2000).

2-Données utilisées

- Données satellitaires : Image satellitaire Landsat 8 (année 2017) du capteur Operational Land Imager (OLI).
- Données cartographiques : Carte d'occupation du sol de l'année 2017
- Modèle numérique du terrain (MNT).

3-Démarche d'étude pour cartographier la vulnérabilité à la dégradation des forêts

3.1. Standardisation des critères

3.1.1. Critère du couvert végétal

L'état de la végétation dans un écosystème forestier est un critère qui doit être prise en considération dans l'évaluation multicritère des situations critiques de risque de la dégradation des forêts dont, l'absence de la végétation accélère le phénomène de la dégradation alors que par sa présence la dégradation est freinée.

Concernant la carte d'occupation du sol a été établie à partir de la classification supervisée de l'image Landsat 8 OLI 2017, par la méthode du maximum de vraisemblance, cette méthode est considérée comme la plus performante dans la production des cartes d'occupation du sol, les classes déterminées caractérisant l'occupation du sol de la forêt de Belezma sont : Cédraie, Pineraie, Junipéraie, Chênaie, Pelouse, Culture et Sol nu. Celles qui caractérisent la forêt de Guettiane sont : Cédraie, Pineraie, Chênaie, Formations très dégradées, Culture, Pelouse, Affleurement rocheux et Sol nu.

L'indice de végétation normalisé (NDVI) est calculé à partir des canaux rouge et infrarouge de l'image satellitaire Landsat 8 OLI, donne une information sur l'état de la végétation.

Le critère du couvert végétal est évalué par les sous-critères suivants : résistance aux incendies et types de couverture végétale qui influent sur la dégradation des forêts.

3.1.2. Critère du sol

Le sol est un facteur important dans les écosystèmes forestiers, dans notre étude le critère du sol a été évalué par trois sous-critères : La pente, l'occupation du sol et l'indice de brillance.

La pente représente un paramètre important dans l'étude et la caractérisation de l'état de dégradation du sol. Une pente forte accélère le ruissellement; par conséquent, la vulnérabilité du sol à l'érosion augmente (Chikhaoui *et al.*, 2010). La carte des pentes est obtenue après traitement du MNT (Modèle numérique du terrain) à l'aide du SIG.

En pédologie, de nombreux indices ont été créés pour mettre en évidence diverses composantes du sol mais l'indice de brillance = $(R2 + PIR2)^{1/2}$, est le plus connu.

3.1.3. Critère de climat

Dans notre étude, le critère du climat est évalué par trois sous-critères : l'NDWI, l'exposition et la température de surface.

Indice normalisé de différence en eau (NDWI - Normalized Water Difference Index) : En 1996, Gao proposait cet indice pour la détection de l'eau contenue dans la végétation. Cet indice est calculé par des images satellitaires Landsat 8 OLI.

La carte d'exposition du terrain est établie à partir de l'MNT (modèle numérique du terrain) sous le logiciel Arc gis. L'exposition est fortement corrélée au taux de la végétation, celle exposée au sud étant caractérisée par un taux de couverture végétale faible à l'inverse de celle exposée au nord caractérisée par un taux de couverture végétale élevé.

La température de surface (LST) est estimée par des bandes thermiques des images satellitaires, dont l'image Landsat 5 TM et Landsat 7 ETM+ ont une seule bande thermique (bande 6), tandis que l'image Landsat 8 OLI a deux bandes thermiques (bande 10 et 11).

Tableau 21 : Les valeurs d'attribut pour les sous-critères constituant les critères entrés dans la dégradation de la végétation (forêt de Belezma).

Facteur (critère)	Paramètre (sous-critère)	Valeur	Valeur d'attribut
Végétation	NDVI	0,4-0,6	1
		0,3-0,4	2
		0,1-0,3	3
		0-0,1	4
	RI (Résistance aux incendies)	Cédraie-Pineraie	4
	Chênaie	3	
	Junipéraie-Culture	2	
	Pelouse-Sol nu	1	
Climat	LST	11,52-18,06 (faible)	1
		18,06-21,73 (moyenne)	2
		21,73-25,17 (forte)	3
		25,17-32,36 (très forte)	4
	NDWI	(-0,15)-(-0,023)	4
		-0,023-0,029	3
		0,029-0,087	2
		0,087-0,36	1
	Exposition	Nord	1
		Plat	1
Est		1	
Sud		2	
Ouest		2	
Sol	Pente	Faible	1
		Moyenne	2
		Forte	3
		Très forte	4
	Occupation du sol	Cédraie-Pineraie	1
		Chênaie-Junipéraie	2
		Culture	3

		Pelouse-Sol nu	4
	IB	Faible	1
		Moyen	2
		Fort	3
		Très fort	4

Les mêmes étapes et les mêmes critères d'étude sont déterminés pour la forêt de Guettiane. Le tableau suivant montre les critères et les sous-critères avec leur valeur d'attribut entrés dans la dégradation de la forêt.

Tableau 22 : Les valeurs d'attribut pour les sous-critères constituant les critères entrés dans la dégradation de la végétation (forêt de Guettiane).

Facteur (critère)	Paramètre (sous-critère)	Valeur	Valeur d'attribut
Végétation	NDVI	0,23-0,47	1
		0,19-0,23	2
		0,15-0,19	3
		0,02-0,15	4
	RI (Résistance aux incendies)	Cédraie-Pineraie	4
		Chênaie	3
		Formation très dégradée-Culture	2
		Pelouse-Sol nu-Affleurement rocheux	1
Climat	LST	10,38-18,15 (faible)	1
		18,15-21,20 (moyenne)	2
		21,20-24 (forte)	3
		24-30,81 (très forte)	4
	NDWI	(-0,15)-(-0,04)	4
		-0,04-0,0008	3
		0,0008-0,05	2
		0,05-0,27	1

	Exposition	Nord	1
		Plat	1
		Est	1
		Sud	2
		Ouest	2
Sol	Pente	Faible	1
		Moyenne	2
		Forte	3
		Très forte	4
	Occupation du sol	Cédraie-Pineraie	1
		Chênaie	2
		Culture-Formation très dégradée	3
		Pelouse-Sol nu-	4
		Affleurement rocheux	
	IB	Faible	1
		Moyen	2
		Fort	3
Très fort		4	

3.2. Évaluation multicritère

3.2.1. Pondération des critères

L'étape de la pondération exige l'intervention des décideurs ainsi que les spécialistes dans le domaine de l'écologie pour l'affectation d'un degré d'importance à chaque comparaison par paire, pour notre étude, nous avons utilisé les valeurs présentées sur la matrice suivante:

Tableau 23: Matrice de pondération par paire des critères.

Critère	Couvert végétal	Sol	Climat
Couvert végétal	1	5	3
Sol	1/5	1	1/3
Climat	1/3	3	1
Somme	1,53333	9	4,3333

La détermination des poids pour chaque critère consiste à la comparaison par paire de l'importance relative établie à partir de l'échelle numérique SAATY, qui aboutit à la configuration de La matrice réciproque M de décision, cette matrice produite les coefficients de pondération, ces coefficient est obtenues à partir des calculs complexes du vecteur propre (Vp) de la matrice de comparaison par paire, les valeurs de ces vecteurs propres (Vp) sont déterminer en calculant leur moyenne géométrique par lige pour chaque critère, ainsi le coefficient de pondération pour chaque critère est déduit par standardisation du vecteur propre en divisant chaque vecteur propre par leur somme et à condition que la somme des coefficients de pondération doit être égale à 1 (Bouzekri, 2014).

Tableau 24 : valeurs des poids pour les différents critères.

Critère	Poids
Couvert végétal	0,6054
Sol	0,1031
Climat	0,2915
Somme	1

Les résultats obtenus par la méthode AHP doit être vérifiées pour assurer que les jugements de la matrice réciproque de décision sont cohérents, cette vérification est évaluée par l'indice décohérence CI, la notion de cohérence dans la comparaison par paire de SAATY (1977-1980) est basée sur le respect de la transitivité de notre jugement, cela passe par le calcul de l'indice de cohérence :

$$CI = (\lambda_{max} - K) / (K - 1)$$

Où :

K : le nombre des éléments comparés.

λ_{max} : une valeur calculée sur la base de la matrice de SAATY, des vecteurs propres et de K.

SAATY (1990) a défini un indice de cohérence aléatoire (IA) d'une matrice de même Dimension, où IA c'est un indice obtenu par un grand nombre de simulation et fixé en fonction du nombre de critères.

Tableau 25: Tableau d'indice aléatoire de Saaty.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Dans le cas de notre étude λ max qui est égale à la somme des produits de chaque poids avec la somme par colonne de la matrice initiale

$$\lambda_{max} = (0,6054 * 1,53) + (0,1031 * 9) + (0,2915 * 4,33) = 3,1$$

$$CI = (3,1 - 3) / (3 - 1) = 0,05$$

Le ratio de cohérence (CR) est calculé par :

$$CR = CI / AI = 0,05 / 0,58 = 0,08$$

D'après SAATY, si CR est supérieur à 0,1 la matrice de décision devrait être réévaluée, dans notre cas la comparaison par paire effectuée indique un ratio de cohérence égale à 0,08, ce qui permet d'affirmer que les jugements d'appréciation des critères ont été cohérents.

3.2.2. Agrégation complète des critères :

La dernière étape consiste à agréger les couches des critères (couvert végétal, sol et climat), pour construire la carte finale de la sensibilité à la dégradation des forêts par la méthode de somme pondérée (outil dans l'Arc gis 10.2.2) où chaque couche par son poids calculé.

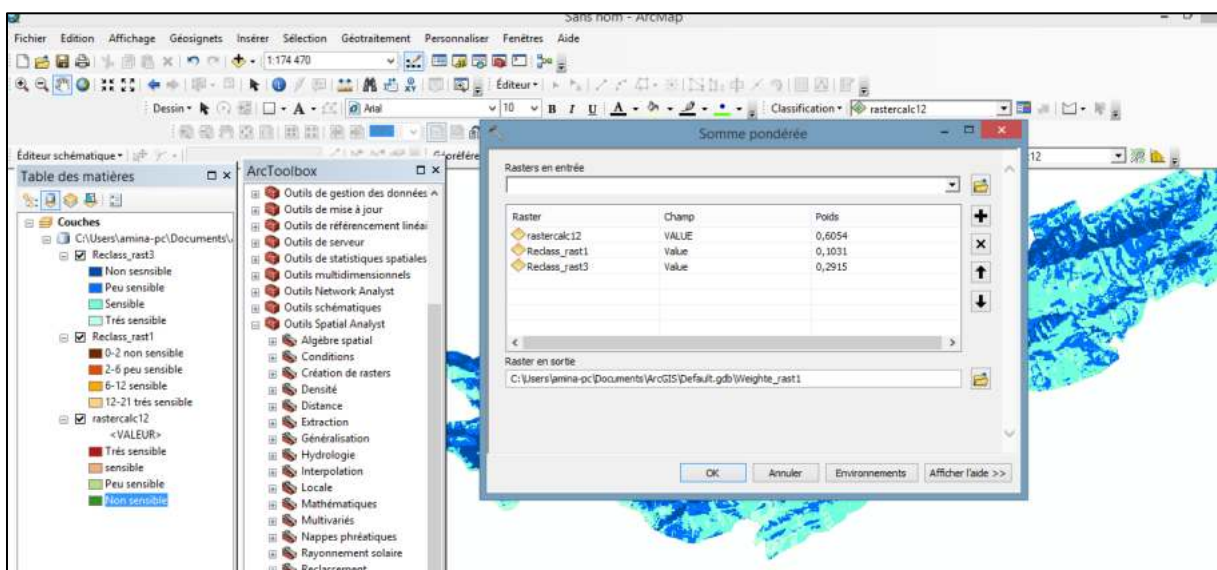


Figure 83: L'évaluation multicritère sur Arc gis (Belezma).

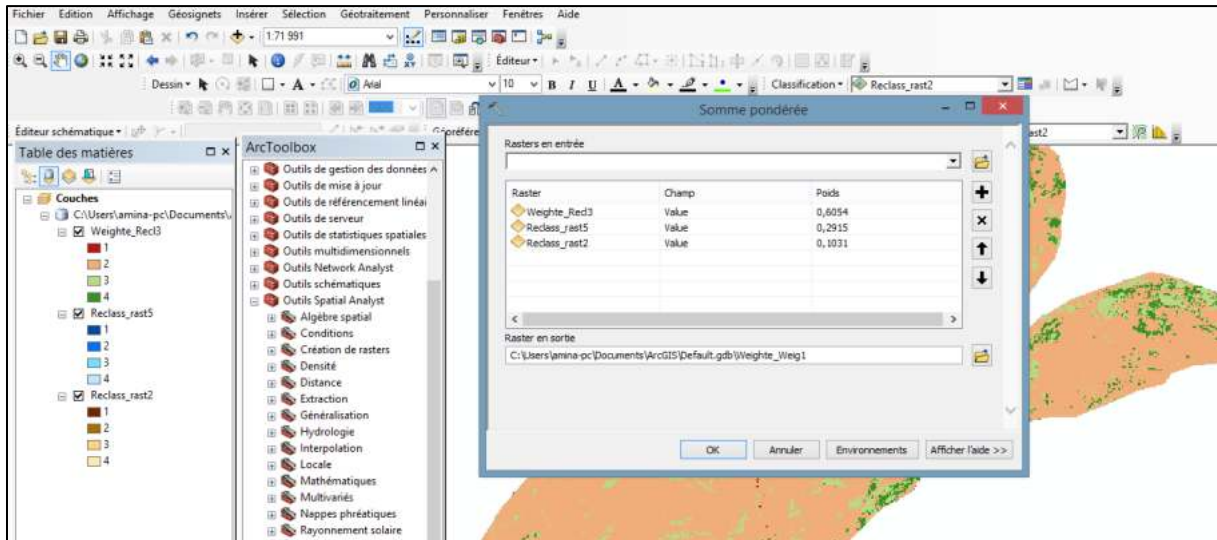


Figure 84: L'évaluation multicritère sur Arc gis (Guettiane).

4-Résultats et discussion

La carte de sensibilité à la dégradation est établie selon la démarche analyse multicritère sur la base de plusieurs facteurs pertinents connus pour leur influence sur le processus de ce phénomène (climat, végétation, sol)

4.1. Forêt de Belezma

4.1.1. Critère de décision

4.1.1.1. Sensibilité de végétation

Les zones non sensibles forment 27,71% soit 9534, 06 ha de la zone d'étude, situées principalement dans le centre et le Nord de la forêt de Belezma sur les montagnes, et la partie Ouest sur les terres de cultures. Les zones peu sensibles forment 19,83% soit 6823,35 ha de la surface totale, situées principalement aux périphéries de la partie Nord-est, Est et Sud de la zone d'étude. Les zones sensibles et très sensibles forment respectivement 39,34% soit 13535,28 ha et 13,12% soit 4512,87 ha, situées principalement sur les montagnes de Boumerzoug, Tuggurt et Djerma.

4.1.1.2. Sensibilité du sol

Pour le critère du sol, les zones non sensibles et peu sensibles forment respectivement 39,65% soit 13608,55 ha et 25,33% soit 8702,15 ha de la zone d'étude, correspondent aux

forêts denses de Cèdre et de pin et même de chêne vert sur les hautes altitudes où le couvert végétal est dense ou assez dense, le climat humide, donc des sols de bonne qualité ou de qualité favorable pour l'existence de la végétation. Les zones sensibles et très sensibles sont des terrains nus, sol nu et des zones très dégradées où la végétation est clairsemée se trouvent sur des basses altitudes où l'humidité et la rétention en eau est plus faible donc des mauvaises qualités du sol. Ces zones forment respectivement 19,31% soit 6625,19 ha et 15,68% soit 5381,55 ha de la surface totale.

4.1.1.3. Sensibilité de climat

Les zones non sensibles et peu sensibles forment respectivement 30,41% soit 10435,23 ha et 30,37% soit 10420,01 ha de la zone d'étude situées sur les montagnes de haute altitude où le climat est plus humide et favorable (Refaa, Bordjem, et Tuggurt). Les zones sensibles et très sensibles forment respectivement 33,03% soit 11334,2 ha et 6,19% soit 2123,25 ha de la zone, situées sur des terres de basse altitude où l'humidité est plus faible.

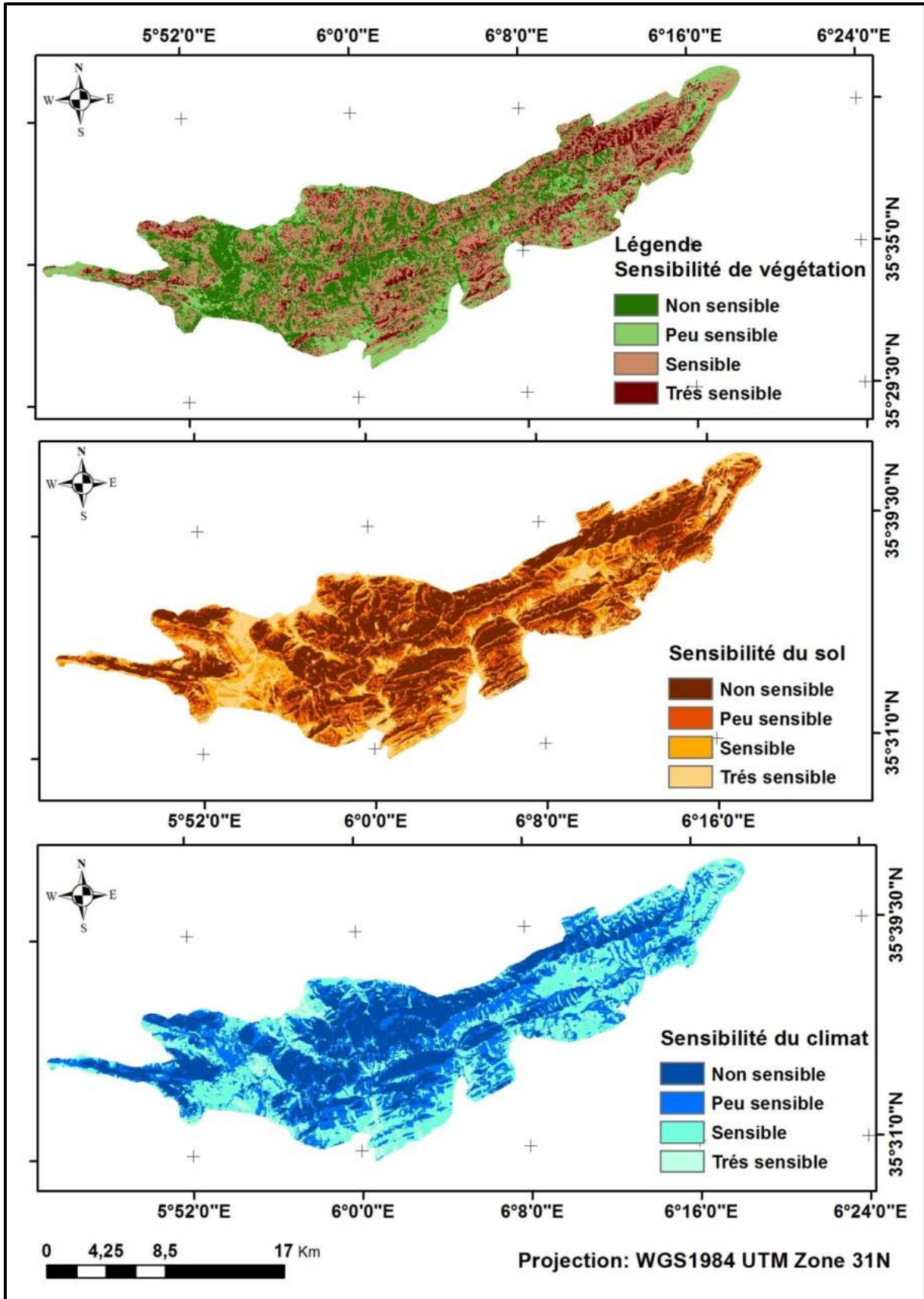


Figure 85 : Carte de sensibilité de végétation, climat et sol de la zone de Belezma.

4.1.2. Carte de vulnérabilité

L'analyse multicritère a permis d'établir une carte décisionnelle pour l'évaluation de la vulnérabilité à la dégradation des forêts, cette carte est le résultat d'agrégation des trois critères (couvert végétal, sol et climat), elle nous a permis aussi de définir quatre classes de vulnérabilité selon la valeur de pixel qui est comprise entre 0,69 et 5,52.

Tableau 26: La classification des situations de vulnérabilité à la dégradation des forêts de Belezma.

Classe de vulnérabilité	Situation de vulnérabilité	Valeurs	Surface (ha)
Classe 01	Non vulnérable	0,69-1,77	5545,80
Classe 02	Vulnérabilité moyenne	1,77-2,41	9723,20
Classe 03	Vulnérable	2,41-3,22	13671,97
Classe 04	Très vulnérable	3,22-5,82	5371,72

Les régions non vulnérables forment 16,16% soit 5545,80 ha de la zone d'étude, situées principalement dans les forêts denses, dont, les altitudes comprises entre 1300 et 2143 m, ce sont des cédraies et des forêts à couverture végétale dense où le milieu se caractérise par des taux élevés de précipitations donc des sols humides avec des expositions généralement nord. Ces régions se caractérisent par des conditions favorables pour l'existence des différentes espèces animales et végétales.

Cette classe de régions non vulnérables est représentée notamment dans la partie Nord et la partie occidentale de la forêt de Belezma (Dj. Bordjem, Dj. Tuggurt et Dj. Tichaou).

Les régions de vulnérabilité moyenne forment 28,33% soit, 9723,20 ha de la surface totale, alors que les régions vulnérables occupent une superficie de 39,84% soit, 13671,97 ha se répartissent particulièrement dans le Sud de Belezma.

Enfin, les régions très vulnérables forment 15,65% soit, 5371,72 ha de la zone d'étude, situées principalement dans la partie Est de la forêt de Belezma.

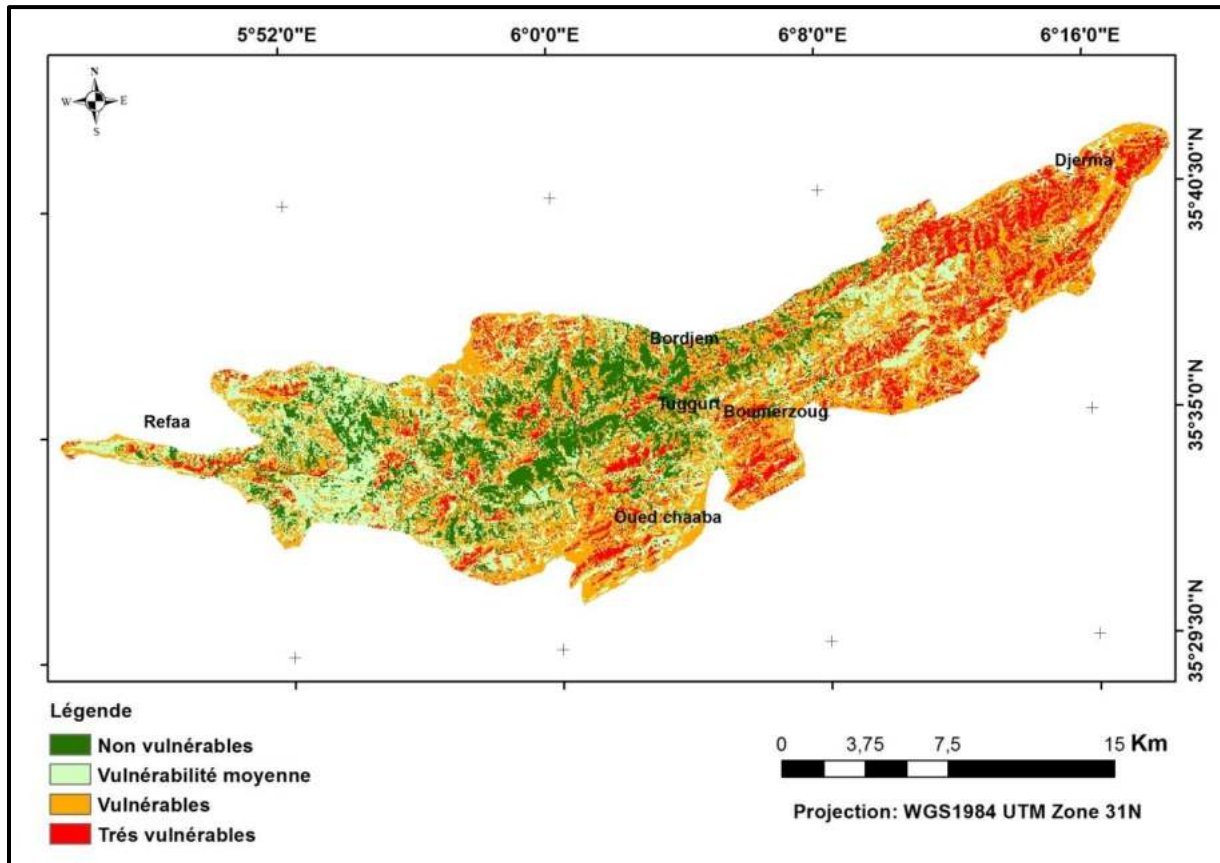


Figure 86 : Carte de la vulnérabilité à la dégradation des forêts de Belezma.

Confrontation des résultats de diagnostic phytoécologique aux résultats trouvés par l'approche géomatique

On a essayé de projeter les groupements végétaux trouvés par l'analyse hiérarchique ascendante sur la carte de la vulnérabilité à la dégradation de Belezma, on a pu constater qu'il y a une similarité entre les résultats trouvés :

Le groupement D qui se trouve sur des altitudes entre 1323 m et 2028m où les expositions presque toutes Nord, ce sont des cédraies occupant les zones non vulnérables sur la carte, trouvées généralement au niveau de Bordjem, Tuggurt et Refaa. Le groupement B constitue une formation dégradée et ouverte, maquis de chêne vert et genévrier oxycédre qui se trouve dans la partie Nord-est de la forêt de Belezma (Djerma), sur des altitudes entre 1007 m et 1076 m, cette formation se trouve dans les régions vulnérables à très vulnérables à la dégradation. Le groupement A constitué des maquis de chêne vert avec genévrier oxycédre et genévrier de Phénicie attaché par pin d'Alep sur des altitudes entre 1192 m à 1469 m et des expositions généralement Sud au niveau de Tuggurt et Boumerzoug, ces formations se

trouvent généralement dans les zones de vulnérabilité moyenne à vulnérables. Le groupement C, est une forme de dégradation de la cédraie de Belezma qui donne un maquis de chêne vert et de Genévrier, notant que quelques relevés de ce groupe comprennent des souches de cèdre dépéris totalement, il se caractérise par des relevés effectués au niveau de Bordjem et Boumerzoug (versant Nord) sur des altitudes comprises entre 1340 m et 1566 m avec une majorité des expositions sud, ce groupement se trouve généralement dans les zones de vulnérabilité moyenne à vulnérables.

4.2. Forêt de Guettiane

4.2.1. Critère de décision

4.2.1.1. Sensibilité de végétation

Les zones non sensibles forment 12,26% soit 920,7 ha de la zone d'étude, situées dans le Nord de la forêt de Guettiane. Les zones peu sensibles forment 23,40% soit 1757,43 ha, située dans le Sud de la forêt. Les zones sensibles forment une grande superficie de la forêt 64,06% soit 4810,77 ha. Les zones très sensibles se trouvent dans le centre de la zone d'étude, formant 0,29% soit 21,42 ha.

4.2.1.2. Sensibilité du sol

Les zones non sensibles et peu sensibles forment respectivement 39,29% soit 2929,96 ha et 24,58% soit 1833,28 ha, situées principalement dans les forêts denses ou assez denses et des hautes altitudes donc des sols favorables, alors que les zones sensibles et très sensibles situées sur des basses altitudes où le couvert végétal clairsemé ou des sols nus forment respectivement 24,29% soit 1811,42 ha et 11,84% soit 882,57 ha.

4.2.1.3. Sensibilité du climat

Les zones non sensibles forment 24,95% soit 1865,67 ha, situées sur les montagnes de haute altitude où la végétation est dense et l'humidité favorable. Les zones peu sensibles forment 30,84% soit 2306,16 ha de la zone d'étude, situées sur les régions où les altitudes sont moyennes et la végétation assez dense. Les zones sensibles et très sensibles forment respectivement 35,27% soit 2637,68 ha et 8,94% soit 668,47 ha, situées dans des régions de basse altitude et du couvert végétal clair ou sol nu, donc une faible humidité.

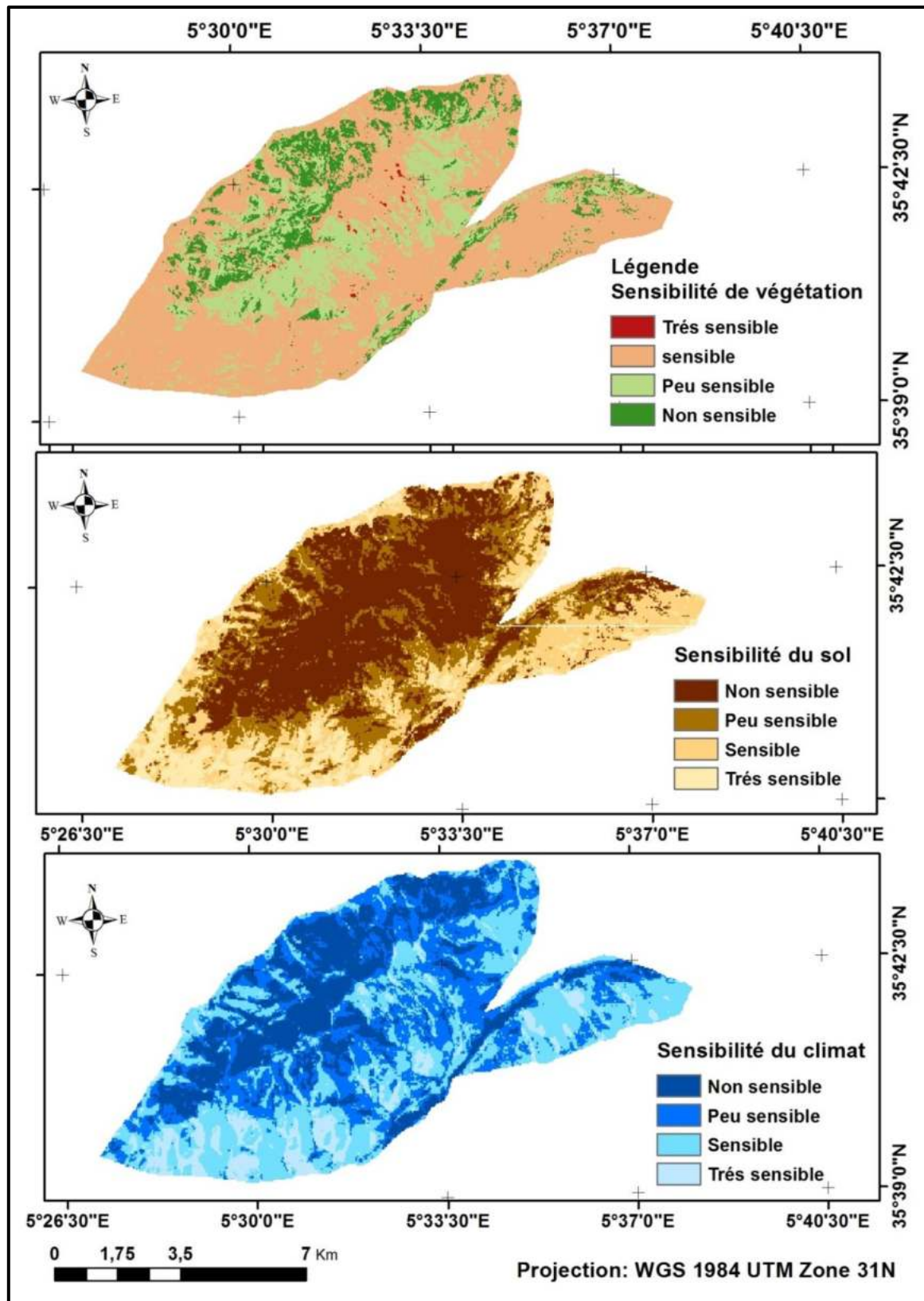


Figure 87 : Carte de sensibilité de végétation, climat et sol de la zone de Guettiane.

4.2.2. Carte de vulnérabilité

L'analyse précédente a permis d'élaborer une carte décisionnelle pour l'évaluation de la vulnérabilité de la dégradation des forêts, cette carte a permis de classer la zone de Guettiane en quatre classes de vulnérabilité selon la valeur de pixel qui est comprise entre 1 et 3,39.

Tableau 27: La classification des situations de vulnérabilité à la dégradation des forêts de Guettiane.

Classe de vulnérabilité	Situation de vulnérabilité	Valeurs	Surface (ha)
Classe 01	Non vulnérable	1-1,81	436,82
Classe 02	Vulnérabilité moyenne	1,81-2,21	2212,67
Classe 03	Vulnérable	2,21-2,60	3085,59
Classe 04	Très vulnérable	2,60-3,39	1720,04

Les régions non vulnérables forment 5,85% soit, 436,82 ha de la zone d'étude, situées principalement dans les régions à couverture végétale dense et des altitudes comprises entre 1300 et 1888 m.

Les régions de vulnérabilité moyenne forment 29,67% soit 2212,67 ha de la surface totale, occupent principalement le centre de la forêt de Guettiane.

Les régions vulnérables occupent 41,38% soit, 3085,59 ha de la zone, situées dans la partie Sud et Est de la forêt.

Enfin, les régions très vulnérables occupent 23,07% soit, 1720,04 ha de la surface totale, situées dans le Nord et le Sud de la forêt de Guettiane.

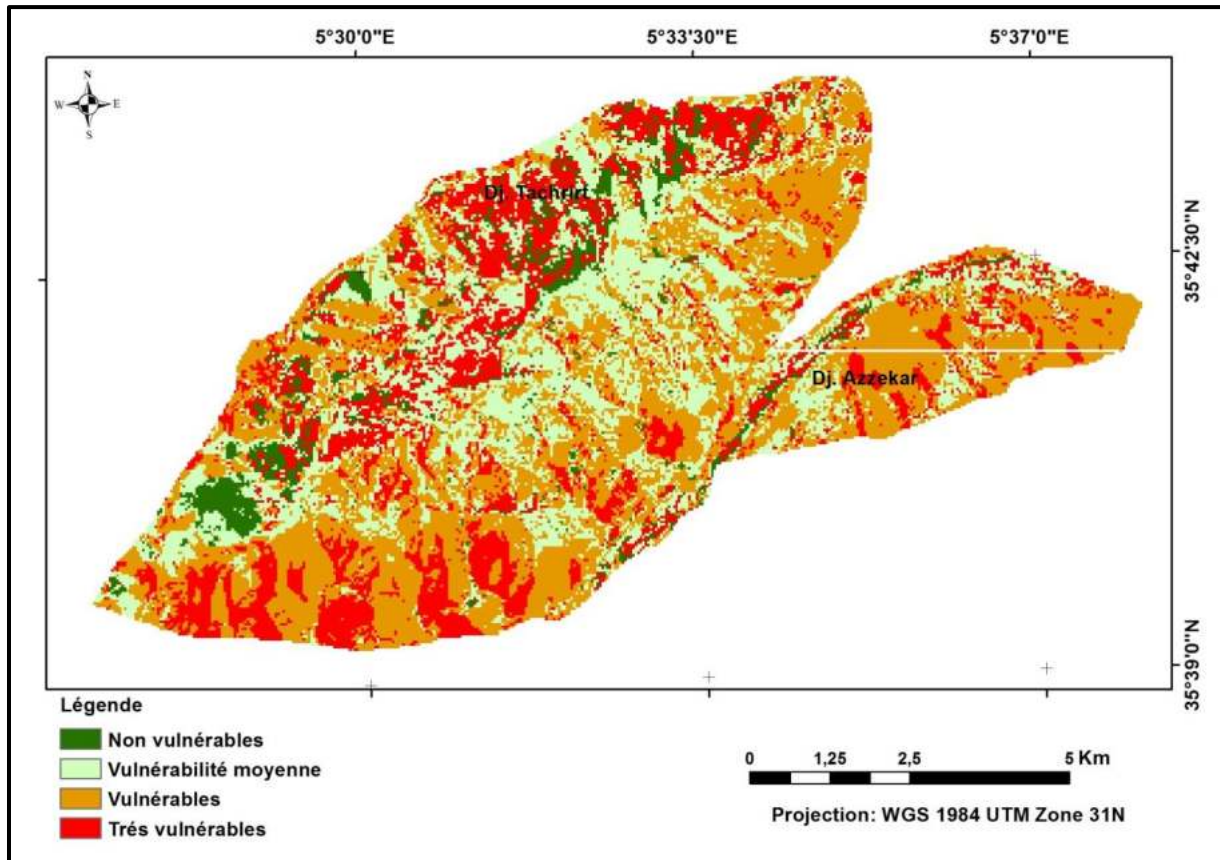


Figure 88: Carte de la vulnérabilité à la dégradation des forêts de Guettiane.

5. Des programmes pour la conservation de la biodiversité et lutte contre la dégradation

Les forêts ont toujours jouées un rôle important dans le développement des populations méditerranéennes. Depuis toujours les forêts méditerranéennes ont été exploitées pour leurs différents usages et appréciées pour les multiples biens et services qu'elles procurent à ces populations. Cependant, la surexploitation se traduit par des impacts négatifs sur l'environnement et est responsable aujourd'hui de dégradations des forêts dans de nombreux espaces méditerranéens (FAO, 2013).

Des situations différentes caractérisent la région méditerranéenne: au Nord, les écosystèmes forestiers sont souvent inexploités, alors qu'au Sud et à l'Est, les pressions anthropiques contribuent à la dégradation des espaces boisés. Ces situations contrastées accroissent les menaces sur les bénéfices que les forêts procurent aux populations et elles requièrent de nouvelles stratégies pour gérer durablement ces écosystèmes fragiles (FAO, 2013).

L'Algérie est un grand centre de diversité biologique; sa position géographique et la structure de ses étages bioclimatiques font de ses terroirs un gisement relativement important

de ressources génétiques. Cependant, la croissance démographique galopante, les conditions climatiques difficiles, la qualité des sols et leur dégradation constante ont diminué fortement l'autosuffisance alimentaire, entraînant une surexploitation des ressources naturelles et des pratiques culturelles non adaptées telles que le surpâturage, le défrichement et autres. Le développement socio-économique n'a pas toujours tenu compte de l'impact sur l'environnement. A partir des années 1980, l'Algérie a pris conscience de cet important volet et a mis en œuvre une politique de préservation des ressources éco-biologiques, visant notamment la préservation des sites qui présentent des écosystèmes originaux ou fragiles ainsi que la protection des espèces rares ou menacées d'extinction. Afin d'identifier son patrimoine en ressources, l'Algérie a entamé, depuis 1997, l'inventaire national de la diversité biologique (Benderradji *et al.*, 2006).

La destruction progressive des couverts forestiers est liée à des facteurs anthropiques, quelquefois naturels (pathogènes) et ce, malgré la réalisation d'importants programmes forestiers (Benderradji *et al.*, 2006).

Malgré un effort important de reboisement au cours des deux dernières décennies, l'occurrence des feux de forêts, la pression forte des populations limitrophes des forêts, l'apparition de chenilles processionnaires, particulièrement résistantes aux traitements chimiques, font que la surface forestière n'a pas changé en étendue. Ce qui constitue en soi un grand handicap pour la conservation des sols, la lutte contre l'érosion et la désertification, la protection des barrages et le développement des ressources en matière de sylviculture. La superficie forestière est aujourd'hui estimée à 2.300.000 ha. Ce qui représente le tiers de l'aire géoclimatique évaluée à 7.000.000 ha (Benderradji *et al.*, 2006).

La forêt algérienne, actuellement fragile, a besoin d'être protégée car elle présente de nombreux atouts en rapport avec sa grande diversité biologique et son impact sur l'équilibre socioéconomique du pays. Outre son importance économique directe, elle contribue à l'économie nationale par sa capacité de protection de la biodiversité, des ressources en eau et des sols contre l'érosion et la désertification. Elle joue, en outre, un rôle social en offrant des espaces récréatifs et éducatifs de plus en plus sollicités pour l'épanouissement de la société. D'où le grand intérêt des actions d'aménagement dont la mise en valeur agricole des terres présentant un potentiel de production important, la mise en valeur sylvopastorale, par des programmes de reboisement et de mise en défens. (Benderradji *et al.*, 2006).

Il s'avère donc nécessaire, pour le succès des plans d'aménagement et de lutte contre la dégradation de l'environnement, de développer une approche intégrée et participative de tous les acteurs concernés et d'essayer de répondre aux attentes des populations locales et de satisfaire leurs besoins prioritaires. D'où l'intérêt de concilier les besoins du développement et les impératifs de la protection de l'environnement. (Benderradji *et al.*, 2006).

Milieu naturel, fragile et perturbé, la forêt ne pourra se développer que si les gestionnaires forestiers prennent conscience de sa conservation en tenant compte de son importance écologique et économique (Louni, 1994). Si l'alarme est tirée et que la prise de conscience est mûre, nous percevons que défendre et conserver la forêt algérienne dont le patrimoine s'est amenuisé au cours du temps. Dans cette optique : la prévention des nouvelles nuisances, la restauration des milieux dégradés, le maintien des milieux demeurés conservés, la protection des espèces et de leur habitat sont autant de possibilités à travers lesquelles on pourra accomplir cette noble tâche. Cette volonté se manifeste en Algérie par l'homologation des mesures strictes et sévères, d'une gestion logique et intelligente grâce à une gestion appropriée de la forêt en respectant les normes internationales. L'homme doit compter avec la forêt dont la protection est une garantie de survie pour lui, dans la mesure où il tire ses besoins en terre de culture, en eau, en bois etc. Ce qui lui impose de rechercher les meilleures possibilités d'un usage rationnel et durable de ces ressources (Louni, 1994).

5-1. Proposition des techniques d'aménagement pour conserver les forêts contre la dégradation de leur patrimoine forestier

D'après cette analyse et élaboration de la carte de vulnérabilité à la dégradation pour objet de prendre une vision globale sur l'état de la dégradation de la forêt, on cite quelques propositions de gestion et d'aménagement pour au moins minimiser les effets de la dégradation ou bien d'essayer d'arrêter de ce phénomène qui va aboutir vers la désertification.

5.1.1. Elaboration des règlements légaux et application des interdictions par le service forestier

L'homme intervient constamment en bien comme en mal, dans l'évolution de la forêt. Donc, l'élaboration des règlements légaux et application des interdictions par le service forestier est une première phase qui est importante. Les gestionnaires forestiers doivent faire des lois et des règlements contre les délits qui provoquent et qui participent dans

le phénomène de la dégradation de la forêt comme le déboisement, les défrichements et les coupes illicites, les incendies des forêts, la pollution de la forêt, etc.

5.1.2. La mise en défend

L'application de la mise en défend ayant particulièrement pour but de conserver la régénération des espèces, de restaurer et de réhabiliter des milieux perturbés ou dégradés et se traduit par stopper les activités anthropiques telles que le pâturage excessif et les coupes du bois. La politique de la mise en défens est moins coûteuse que les autres aménagements dans la lutte contre la dégradation des forêts.

Il existe une belle régénération de Cèdre dans les massifs forestiers de Belezma et de Guettiane, il doit que les gestionnaires font des mise en défend sur des régions de régénération et les protéger notamment contre le surpâturage.



Figure 89: Régénération du cèdre dans la forêt de Belezma-Djebel Tuggurt (Barbache, 2015).



Figure 90: Régénération du cèdre à Refaa-Belezma (Barbache, 2016).



Figure 91: Régénération du cèdre dans la forêt de Guettiane (Barbache, 2015).

5.1.3. Le reboisement

A partir des années soixante-dix, l'Etat algérien tente véritablement de s'investir dans la lutte contre la désertification. Le «Barrage vert » constitue la première expérience significative en ce sens. Il s'agit en effet d'un projet de reboisement visant à lutter contre le phénomène de désertification (Bensouiah, 2004). Le barrage vert était, dans l'intention des auteurs du projet, une bande forestière, homogène et continue, couvrant une superficie de 3 millions d'hectares environ et séparant le Sahara de la zone steppique. La réalisation a été commencée en 1974 sans une analyse préalable des moyens et des techniques (Plit, 1983). Toutefois, différentes sources indiquent un taux de réussite assez faible et une infestation généralisée par la chenille processionnaire (Bensouiah, 2004). L'utilisation du Pin d'Alep a entraîné une prolifération de la chenille processionnaire du pin qui a détruit une grande partie du reboisement (Bensaïd, 1995).

Pour cela, il doit faire une analyse préalable avant réaliser le reboisement, en évitant la monoculture et en prenant en considération les caractéristique du milieu (type du sol, humidité, présence de l'eau, etc.) pour choisir les espèces convenables.

Dans nos zones d'étude nous proposons de faire des reboisements au niveau des zones de vulnérabilité moyenne et zones vulnérables.



Figure 92: Le reboisement du barrage vert-Forêt de Guettiane (Barbache, 2015).

5.1.4. Création des pistes et des postes vigies

Nous proposons des créations des pistes et des postes vigies pour bien viser et intervenir facilement en cas d'incendies.

Dans le cas de l'incendie, il doit intervenir de façon rapide pour stopper la propagation des incendies pour cela les pistes doivent être bien disponibles.

5.1.5. Proposition d'extension du Parc National de Belezma

On propose de faire une extension du Parc National de Belezma en ajoutant Djebel Refaa vu que la forêt de Refaa abrite une belle cédraie notamment son versant Nord, le but de cette proposition est de protéger la cédraie contre les actions anthropiques.



Figure 93: Cédraie de Refaa-Belezma (Barbache, 2016).

5.1.6. Application rigoureuse des textes déjà mise en place

Conclusion

La méthode de l'analyse multicritère semble plus adéquate pour faire des cartes décisionnelles aidant à la décision dans le domaine de l'environnement car cette méthode nous a permis de réaliser la carte de vulnérabilité à la dégradation des forêts et l'évaluation des zones affectées selon le degré de vulnérabilité (non vulnérable, vulnérabilité moyenne, vulnérable et très vulnérable).

Les résultats obtenus révèlent que la partie Est et Sud de Belezma sont plus vulnérables alors que pour la forêt de Guettiane le Nord et le Sud sont plus vulnérables.



Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce travail nous avons pu recenser 206 espèces végétales réparties en 42 familles au niveau de la forêt de Belezma et 122 espèces réparties en 28 familles au niveau de la forêt de Guettiane. Ces familles sont dominées essentiellement par les Asteraceae, les Fabaceae, les Lamiaceae, les Brassicaceae et les Poaceae reconnues par leur résistance à la rigueur des conditions climatiques.

L'analyse de spectre biologique révèle la dominance des hémicryptophyte et les thérophytes sur l'ensemble des types biologiques, dont cette forte représentation des thérophytes montre une certaine ouverture de ces écosystèmes forestiers. Cette flore comprend 16 espèces endémiques pour le massif de Belezma et 8 espèces endémiques pour le massif de Guettiane.

L'analyse biogéographique donne un spectre dominé particulièrement par le domaine méditerranéen, Ce qui prouve que ces écosystèmes sont encore sous l'influence méditerranéenne et peu continental.

La cartographie de l'occupation du sol des massifs forestiers de Belezma et de Guettiane par la méthode de la classification supervisée des images satellitaires Landsat multitudes (1986, 2000 et 2017) a mis en valeur une dégradation importante et a révélé des changements majeurs tel que, la diminution de la surface de la cédraie de Belezma de 3005,12 ha en 1986 à 1979,01 ha en 2017. Pour le massif de Guettiane la surface de la cédraie a diminué de 910,89 ha en 1986 à 478,08 ha en 2017.

La cartographie de la vulnérabilité à la dégradation des forêts de Belezma et de Guettiane par la démarche de l'analyse multicritère qui est plus adéquate pour faire des cartes décisionnelles aidant à la décision dans le domaine de l'environnement a montré que les régions vulnérables à Belezma occupent une superficie de 39,84% soit, 13671,97 ha se répartissent particulièrement dans le sud de Belezma, les régions très vulnérables forment 15,65% soit, 5371,72 ha de la zone d'étude, situées principalement dans la partie Est de la forêt de Belezma.

Les régions vulnérables à Guettiane occupent 41,38% soit, 3085,59 ha de la zone, situées dans la partie Sud et Est de la forêt et les régions très vulnérables occupent 23,07% soit, 1720,04 ha de la surface totale, situées dans le Nord et le Sud de la forêt de Guettiane.

Les causes de la dégradation des cédraies de Belezma et de Guettiane sont liées principalement au dépérissement de cèdre sous l'influence de la sécheresse. Notre étude permet de constater que la sécheresse n'est pas le seul facteur de la dégradation mais aussi l'action anthropique est un facteur important dans la dégradation des forêts, elle se manifeste en l'occurrence dans les coupes du bois, les incendies, le surpâturage et les attaques des insectes ravageurs.

Il est très important d'agir pour réhabiliter, conserver et préserver les écosystèmes forestiers, notamment, les zones vulnérables et très vulnérables des zones d'étude.

Notre étude montre que la géomatique (SIG et Télédétection) joue un rôle important dans le suivi de la végétation dans l'espace et dans le temps. Les images satellitaires nous ont donné plusieurs informations pour déterminer l'état de la végétation et les changements enregistrés durant la période 1986 à 2017 dans les deux massifs forestiers de Belezma et de Guettiane.

Comme perspective, si les images à moyennes et hautes résolution spatiale (SPOT, Landsat...) sont couramment utilisées, les images à très haute résolution spatiale (Ikonos, QuickBird...) ouvrent de nouvelles perspectives. Elles offrent aux gestionnaires des données adaptées aux inventaires forestiers et à la cartographie des peuplements. Elles permettent de suivre la forêt avec une précision de l'ordre du mètre.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

ABDELGUERFI A., 2003a- Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à l'évaluation et la réduction des risques menaçant les éléments de la diversité biologique en Algérie: Bilans des expertises. Projet ALG/97/G31: Plan d'Action et Stratégie Nationale sur la Biodiversité TOME VII. Ministère de L'Aménagement du Territoire et de L'Environnement 156 p.

ABDELGUERFI A., 2003b- Mises en œuvre des mesures générales pour la conservation in situ et ex situ et l'utilisation durable de la biodiversité en Algérie, Bilans des expertises. FEM/PNUD Projet ALG/97/G31 Plan d'Action et Stratégie Nationale sur la Biodiversité TOME III. 145 p.

ABDESSEMED K., 1981- Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*, Mannetti) dans les massifs de l'Aurès et du Belezma- Etude phytosociologique et problème de conservation et d'aménagement- Thé. Doc. Ing. Fac. St. Jérôme, Marseille. 199 p.

ABDESSEMED K., 1984- Les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie) Première partie : La dégradation, ses origines et ses conséquences. Rev. Forêt méditerranéenne, t. VI, n° 1, 1984. Pp 19-26.

BARBERO M, LOISEL R, MEDAIL F & QUEZEL P, 2001-Signification biogéographique et biodiversité des forêts du bassin méditerranéen. *Bocconea* 13: 11 -25. 200 I. - ISSN 1120-4060.

BAYER E, BUTTLER K.P, FINKENZELLER X et GRAU J, 2005- Guide de la flore méditerranéenne. Delachaux et Niestlé. Paris. ISBN : 2-603-01493-5. P287.

BEGHAMI Y., 2013- Ecologie et dynamique de la végétation de l'Aurès : Analyse spatio-temporelle et étude de la flore forestière et montagnarde. Thé. Doc. Univ. Mohamed Khider-Biskra-. 193 p.

BEGHAMI Y. KALLA M. VELA E. THINON M et BENMESSAOUD H, 2013- Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans les Aurès, Algérie : considérations générales, cartographie, écologie et groupements végétaux. *ecologia mediterranea* – Vol. 39 (1) – 2013 Pp17-30.

BELLOULA S., 2020- Caractérisation des facteurs écologiques influents sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas- Cas des cédraies du massif des Aurès- Thé.Doc.Univ. Batna 1. 151p.

BENABADJI N. BENMANSOUR D. & BOUAZZA M., 2007- La flore des monts d'ain Fezza dans l'ouest algérien, biodiversité et dynamique. Sci & Tech C – N°26. Univ. Mentouri Constantine. Algérie. Pp 47-59.

BOUAZZA M. et BENABADJI N., 2002. Contribution à l'étude du cortège floristique de la steppe au sud d'El Aricha (Oranie- Algérie). Sci. Techn. N° spécial D. p:11-19.

BENDERRADJI M. ALATOU D. ARFA A & BENACHOUR KH., 2006- Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation. Impact du phénomène en Algérie. NEW MEDIT N. 4/2006. Pp 15-22.

BENIE G/B., 1998- La géomatique outil de gestion des ressources naturelles et de l'environnement. Actes du forum national sur la géomatique. Groupe de travail inter-institutionnel. Sénégal. Pp 38-48.

BENMECHETA A., 2016. Estimation de la température de surface à partir de l'imagerie satellitale; validation sur une zone côtière d'Algérie. Architecture, aménagement de l'espace. Université Paris-Est, 2016.

BENMESSAOUD H, 2009 : Etude de la vulnérabilité à la désertification par des méthodes quantitatives numériques dans le massif des Aurès (Algérie). Thèse de Doctorat, Université de Batna, 220p+ annexes.

BENMESSAOUD H, KALLA M, DRIDDI H., 2009 : Évolution de l'occupation des sols et désertification dans le Sud des Aurès (Algérie).M@ppemonde, vol (94), N°6.

BENSAÏD S., 1995- Bilan critique du barrage vert en Algérie. Revue Sécheresse n°3, vol. 6, Septembre 95.P 247-255.

BENSAID A., 2006 : SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naàma (Algérie). Thèse de doctorat en géographie, Université Es Senia Oran Algérie, 325p.

BENSOUIAH R., 2004- Politique forestière et lutte contre la désertification en Algérie du barrage vert du PNDA. Forêt méditerranéenne t. XXV, n° 3, novembre 2004Pp 191-198.

BENTOUATI A, 2008. La situation du cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). Forêt Méditerranéenne 29(2): 203-208.

BONIN G., 1994- Quelques aspects des forêts d'Afrique du Nord. Forêt méditerranéenne t.XV, n° 1, janvier 1994.

BOTTNER P., 1982- Evolution des sols et conditions bioclimatiques méditerranéennes. ECOLOGIA MEDITERRANEA - T. VIII - 1982. Fasc. 1/2. Marseille Définition et localisation des Ecosystèmes méditerranéens terrestres. Saint-Maximin 16-20/11/1981.

BOUDY P., 1952- Guide du forestier en Afrique du Nord. La maison rustique, Paris.505P.

BOURBOUZE A. et DONADIEU P., 1987- L'élevage sur parcours en régions méditerranéennes. Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier. CIHEAM/IAM. Montpellier. 92 p.

BOUZEKRI A., 2014- Evaluation multicritère des situations critiques au risque de la désertification dans les Aurès (Algérie). Thèse de Doctorat, Université El Hadj Lakhdar-Batna. 204 p+ Annexes.

CAILLET R., 2003- Analyse multicritère : Etude et comparaison des méthodes existantes en vue d'une application en analyse de cycle de vie. CIRANO, ISSN 1198-8177. 51p.

CHENOUF N. ABDELGUERFI A. CHEHAT F. FERRAH A. et YAHIAOUI S., 2009- Quatrième rapport national sur la mise en œuvre de la convention sur la diversité biologique au niveau national. Ministère de l'aménagement du territoire, de l'environnement et du tourisme. Algérie. 121p.

CHIKHAOUI M. MERZOUK A. LACAZE B. et CHANDRA A. MADRAMOOTOO., 2010 -Étude de la dégradation des sols en milieu semi-aride à l'aide de l'approche neuronale et de données multisources. Revue Télédétection, 2010, vol. 9, n° 2, p. 139 – 150.

CHRISTOPHE M/K., 2009- Études de cas sur l'évaluation de la dégradation des forêts-La dégradation des forêts en république démocratique du Congo. Document de travail 169. FAO. Rome, Italie. 23 p.

D.G.F., 2007- Politique forestière nationale et stratégie d'aménagement et de développement durable des ressources forestières et alfatières. D. G.F. Alger. 32 p.

DELENNE C., 2006- Extraction et Caractérisation De Vignes à Partir de Données de Télédétection à Très Haute Résolution Spatiale : Application en Languedoc-Roussillon pour

la Constitution de Bases de Données Géographiques. Th. Doc. Ecole nationale du génie rural, des eaux et des forêts. Montpellier. 165 p.

DESHAYES M. et MAUREL P., 1991- L'image spatiale et son contenu. (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 4) Montpellier : CIHEAM, 1991. Pp 11-20.

DUCROT D., 2005- Méthode d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multi-sources : Extraction de caractéristiques du paysage. Mém de recherche. INP Toulouse. 210 p.

EL BOUHISSI M., MEHDADI Z et EL ZEREY W., 2014 -Contribution à l'étude de la biodiversité floristique dans un écosystème montagneux- Cas de versant sud de monts de Tessala (Algérie occidentale). Rev. Mediterranea. DOI: 10.14198/MDTRRA2014.25.02.

EVA H., ACHARD F., COMBAL B., PEEDELL S., D'ANNUNZIO R., VIELLEDENT G. et VERHEGGHEN A., 2017-Suivi de la dégradation des forêts d'Afrique centrale et de la cartographie des routes dans la région. 2017, EUR 28590 FR; doi:10.2760/152084.

FAO, 2012- L'état des ressources génétiques forestières mondiales-Rapport national-Algérie. 58P.

FAO, 2013-Etat des forêts méditerranéennes 2013. ISBN 978-92-5-207984-2 (version imprimée), E-ISBN 978-92-5-207538-7 (PDF). 189p.

FERKA ZAZOU N., 2006- Impact de l'occupation spatio-temporelle des espaces sur la conservation de l'écosystème forestier. Cas de la commune de TESSALA, wilaya de SIDI BEL ABBES, Algérie. Mém. Mag. Univ. Aboubekr Belkaïd Tlemcen. 112 p.

FRANÇOIS J/D., ROUSSEAU A/N et QUILBE R., 2005 -Développement d'un processus de classification d'images satellitaires afin de détecter les changements d'occupation du sol sur le bassin versant de la rivière chaudière pour la période 1970 à 2000 : Exemple de l'image Landsat 5 du 6 août 1987. Rapport N° 802. Québec. Canada. 73P.

GAO, B. C. 1996. NDWI- A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.

GAUQUELIN, T., MICHON, G., JOFFRE, R., DUPONNOIS, R., GENIN, D., FADY, B., BOU DAGHER-KHARRAT, M., DERRIDJ, A., SLIMANI, S., BADRI, W., ALIFRIQUI, M., AUCLAIR, L., SIMENEL, R., ADERGHAL, M., BAUDOIN, E., GALIANA, A., PRIN, Y., SANGUIN, H., FERNANDEZ, C., & BALDY, V. 2016-

Mediterranean forests, land use and climate change: A social-ecological perspective. *Regional Environmental Change*, 18, 623– 636. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0994-3>.

GERARD, B., RICHARD, E., DELPHINE, F., & ANNE-THERESE, H. 2014. La télédétection : Un outil pour le suivi et l'évaluation de la désertification. Comité Scientifique Français de la Désertification. France.

GHAZI A., 2009. Rapport national de réflexion sur le secteur des forêts. Programme des nations unies pour le développement. BNEDER. P 21.

GILLET F., 2000- La phytosociologie synusiale intégrée. Guide méthodologique. Univ. De Neuchâtel. 68 p.

GLELE KAKAÏ R., SALAKO V. K., PADONOU E. A., LYKKE ET A. M., 2016- méthodes statistiques multivariées utilisées en écologie. *Annales des Sciences Agronomiques* 20 - spécial Projet Undesert-UE : 139-157 (2016) ISSN 1659-5009.

GOMEZ C., 2004- Potentiels des données de télédétection multisources pour la cartographie géologique: Application à la région de Rehoboth (Namibie). Thé. Doc. Univ. CLAUDE BERNARD - LYON 1. 174 p.

GOUAREF K., 2012- Contribution à l'étude cartographique et écologique du dépérissement du Cèdre de l'Atlas dans le massif de GUETIANE (W-BATNA). Thèse de Magister, université El Hadj Lakhdar Batna. 126P.

GOUNOT M., 1969- Méthode d'étude quantitative de la végétation. Masson. Paris. France. 314 p.

GUINOCHET M., 1973- Phytosociologie. Masson. Paris. France. 272 p.

JULIAN C/B., 1996- Analyse diachronique de la dynamique des milieux naturels par télédétection satellitaire. *Rev. International Archives of photogrammetry and remote sensing*. Vol. XXXI. Part B7. Vienna 1996. Pp 53- 58.

JULIÃO, P. R.; NERY, F.; RIBEIRO, J.L.; BRANCO, M.C. & ZÊZERE, J.L. 2009 - Guia metodológico para a produção de cartografia Municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal. 93p.

KAABACHE M., 1990- Les groupements végétaux de la région de BOU SAADA (Algérie)- Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. Thèse de doctorat. Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay .132P.

KHERCHOUCHE D, KALLA M, GUTIERREZ E, ATTALAH S et BOUZGHAIA M., 2012- Impact of Droughts on *Cedrus atlantica* Forests Dieback in the Aurès (Algeria). Journal of Life Sciences 6 (2012) 1262-1269.

KHERCHOUCHE D, KALLA M, GUTIERREZ E, BRIKI A et HAMCHI A., 2013- La sécheresse et le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica manetti*) dans le massif du Belezma (Algérie). Sècheresse 24 :129-37. doi : 10.1684/sec.2013.0384.

KHERCHOUCHE D, SLIMANI S, TOUCHAN R, TOUATI D, MALKI H et BAISAN CH., 2019- Fire human-climate interaction in Atlas cedar forests of Aurès, Northern Algeria. Dendrochronologia 55 (2019) 125–134.

LAVISCI P. JANIN G. et UZIELLI L., 1989- Qualité du bois de six essences du maquis méditerranéen. Rev. Forêts méditerranéenne t. XI, n° 1, juillet 1989. Pp 69-78.

LE HOUEROU H N., 1980- L'impact de l'homme et de ses animaux sur la forêt méditerranéenne 2eme partie. Forêt méditerranéenne, t. II, n°2, 1980.

LINARES JC, TAÏQUI L, CAMARERO JJ., 2011-Increasing Drought Sensitivity and Decline of Atlas Cedar (*Cedrus atlantica*) in the Moroccan Middle Atlas Forests. *Forests*. 2011; 2(3):777-796. <https://doi.org/10.3390/f2030777>.

LOUNI D., 1994- Les forêts algériennes. Rev : forêt méditerranéenne t. XV, n°1, Janvier 1994.

MARKKU S., 2009- Vers une définition de la dégradation des forêts: Analyse comparative des définitions existantes. Document de travail154. Rome, Italie. 63 p.

MEDAIL F. DIADEMA K., 2006- Biodiversité végétale méditerranéenne et anthropisation : approches macro et micro-régionales », *Annales de géographie* 2006/5 (n° 651), p. 618-640. DOI 10.3917/ag.651.0618.

MEDDOUR R. MEDDOUR-SAHAR O. et DERRIDJ A., 2008- Analyse des feux de forêts en Algérie sur le temps long (1876-2007). Les Notes d'analyse du CIHEAM n°39 11p.

MENDOZA G et MACOUN P., 2000- Application de l'analyse multicritère à l'évaluation des critères et indicateurs-Manuels de critères et indicateurs pour la gestion durable des forêts. ISBN 2-87614-387-9. Montpellier-France. P79.

NAHAL I., 2004- La désertification dans le monde : Causes-Processus-Conséquences-Lutte. France.

NARJISSE H. M'HIRIT O. ASKARN O. BENZYANE M et EL OMRANI A., 2001- Le couvert végétal marocain : Etat de dégradation, acquis et perspectives en matière de conservation et de mise en valeur. Rev. H.T.E. N° 119- Juin 2001. Pp 25-29.

NICOLAU R., 2005- Caractérisation et quantification des transferts dus aux petites rivières côtières méditerranéennes. Thé. Doc. Univ du Sud Toulon Var. 143p.

OZENDA P., 1977- Flore de Sahara. Centre National de la Recherche Scientifique. France 622 p.

P.N.B., 2006- Plan de gestion du parc national de Belezma 2006-2010.

PELLETIER CH., 2017- Cartographie de l'occupation des sols à partir de séries temporelles d'images satellitaires à hautes résolutions. Thèse de doctorat. Université de TOULOUSE. 258P.

PENG, J., LIU, Y., SHEN, H., HAN, Y., & PAN, Y., 2012. Vegetation coverage change and associated driving forces in mountain areas of Northwestern Yunnan, China using RS and GIS. *Environmental monitoring and assessment*, 184(8), 4787-4798.

PEÑUELAS J, SARDANS J, FILELLA I, ESTIARTE M, LLUSIA J, OGAYA R, CARNICER J, BARTRONS M, RIVAS-UBACH A, GRAU O, PEGUERO G, MARGALEF O, PLA-RABES S, STEFANESCU C, ASENSIO D, PREECE C, LIU L, VERGER A, BARBETA A, ACHOTEGUI-CASTELLS A, GARGALLO-GARRIGA A, SPERLICH D, FARRE-ARMENGOL G, FERNANDEZ-MARTINEZ M, LIU D, ZHANG C, URBINA I, CAMINO-SERRANO M, VIVES-INGLA M, STOCKER BD, BALZAROLO M, GUERRIERI R, PEAUCELLE M, MARAÑÓN-JIMENEZ S, BORNEZ-MEJIAS K, MU Z, DESCALS A, CASTELLANOS A, TERRADAS J., 2017- Impacts of Global Change on Mediterranean Forests and Their Services. *Forests*. 2017; 8(12):463. <https://doi.org/10.3390/f8120463>.

PLIT F., 1983-La dégradation de la végétation, l'érosion et la lutte pour protéger le milieu naturel en Algérie et au Maroc. Méditerranée N°3. Pp79-88.

QUEZEL P & BARBERO M., 1990- Les forêts méditerranéennes problèmes posés par leur signification historique, écologique et leur conservation. Acta Botánica Malacitana, 15: 145-178. Univ. d'Aix-Marseille III - Centre Saint-Jérôme - UA. CNRS. Pp 145-178.

QUEZEL P. et SANTA S., 1962- Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS. Paris. 2 tomes. 1170 p.

QUEZEL P. MEDAIL F. LOISEL R. & BARBERO M., 1999- Biodiversité et conservation des essences forestières du bassin méditerranéen. Unasyuva - No. 197 - La Forêt Méditerranéenne.

RAUNKIAER C., 1934- The life form of plants and statistical plant geography. Collected papers, Clarendon Press, Oxford, 632.

RAMADE F., 2008- Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. Dunod, Paris, 2008. ISBN 978-2-10-053670-2. P726.

ROSELT/ OSS DS4., 2004- Indicateurs écologiques Roselt/ Oss. Une première approche méthodologique pour la surveillance de la biodiversité et des changements environnementaux, collection Roselt / Oss, document scientifique n°4, Montpellier, 50P+ annexes.

ROUCHICHE S. et ABID H., 2003- Rôle des plantations forestières et des arbres hors forêt dans l'aménagement forestier durable en République de Tunisie. Document de travail 27. Service de la mise en valeur des ressources forestières. Division des ressources forestières FAO. Rome (Italie). 100 p.

SAATY, T.L., 1990- How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research 48 (1990) North-Holland. Pp9-26.

SAHLI M., 2004- Environnement, aménagement et stratégie de développement de protection de la nature. Cas de Parc National du Belezma (Monts de Batna, Algérie) Thé. Doc. Univ. Mentouri-Constantine. 244 p.

SAHLI M., 2004a- Conservation et développement dans le Parc National du Belezma (Wilaya de Batna, Algérie).Revue Sciences Humaines. n°22, Décembre 2004, pp. 81-91.

SEKERTEKIN A, HAKAN KUTOGLU S, KAYA S., 2016 : Evaluation of spatio-temporal variability in Land Surface Temperature: A case study of Zonguldak, Turkey. Rev : Environ Monit Assess (2016) 188:30. 15P.

SEKERTEKIN A, BONAFONI S, 2020- Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity

Models and Toolbox Implementation. *Remote Sens.* **2020**, 12, 294; doi:10.3390/rs12020294. 32P.

SELTZER P., 1946- Le climat de l'Algérie. Travaux de l'Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie. Univ. D'Alger 219 p.

SLIMANI S, DERRIDJ A et GUTIERREZ E., 2014- Ecological response of *Cedrus atlantica* to climate variability in the Massif of Guetiane (Algeria). *Forest Systems* 2014 23(3): 448-460. ISSN: 2171-5068. Pp 448-460.

TAD consult, 2009- Etude relative à la caractérisation et à la délimitation des zones de montagne et des massifs montagneux « Massif du Hodna – Phase II » : analyse prospective de l'état des lieux. EURL- T.A.D - CONSULT – Territoire. Aménagement. Développement Bureau d'Ingénierie et d'études Techniques. Alger.

TIDJANI, A. A., OZER, A., & KARIMOUNE, S., 2009. Apports de la télédétection dans l'étude de la dynamique environnementale de la région de Tchago (nord-ouest de Gouré, Niger). *Geo-Eco-Trop*, 33, 69-80.

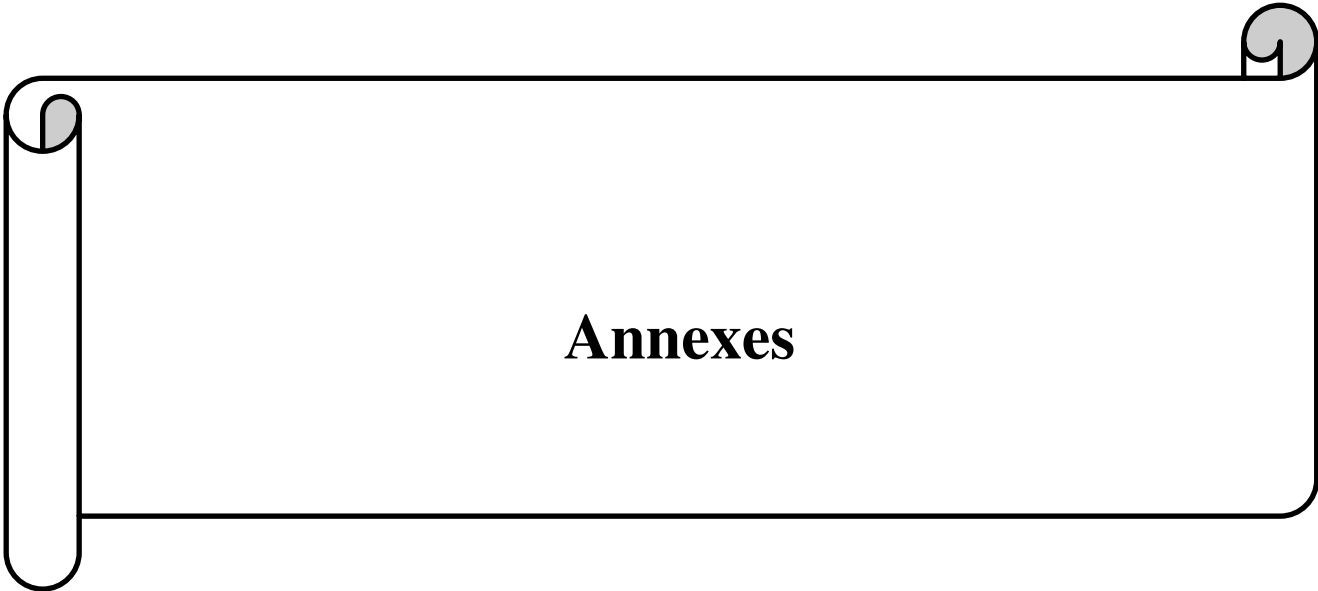
TRICHON V., 2007- Écosystèmes forestiers tropicaux et Télédétection dans le contexte du changement global : Apport de la très Haute Résolution Spatiale. École thématique ECOFOR-CNRS. Univ. Paul Sabatier Toulouse III. 38 p.

Autres sources

USGS earth explorer : <https://earthexplorer.usgs.gov/>

N.A.S.A., 2013 :

http://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/spacecraft/index.html#.UfEv7MW3xMs



Annexes

Annexe 1. Les espèces inventoriées au niveau de Belezma

N°	Nom latin	Nom commun	Famille	Type biologique	Type biogéographique
01	<i>Acer monspessulanum L.</i>	Érable de Montpellier	<i>Acéraceae</i>	Méso-ph	Méd
02	<i>Aegilops ovata Eig.</i>	Égilope ovale	<i>Poaceae</i>	Th	Méd-Irano-Tour
03	<i>Aegilops triuncialis L.</i>	Égilope allongé	<i>Poaceae</i>	Th	Méd-Irano-Tour
04	<i>Ajuga iva (L.) Schreb</i>	Ivette musquée	<i>Lamiaceae</i>	Hé	Circum.Méd.
05	<i>Alkanna tinctoria (L.) Taush</i>	Orcanette des teinturiers	<i>Boraginaceae</i>	Th	Méd
06	<i>Alliaria officinalis Andr.</i>	Herbe à ail	<i>Brassicaceae</i>	Hé	Euras
07	<i>Allium ampeloprasum L.</i>	Ail faux poireau	<i>Liliaceae</i>	Gé	Méd
08	<i>Allium roseum L.</i>	Ail rose	<i>Alliaceae</i>	Gé	Méd
09	<i>Allium sp</i>		<i>Liliaceae</i>		
10	<i>Alyssum montanum L.</i>	Passerage des montagnes	<i>Brassicaceae</i>	Hé	Oro-Méd
11	<i>Alyssum sp L.</i>		<i>Brassicaceae</i>		
12	<i>Ammoides sp Adanson (Ptychotis koch)</i>		<i>Apiaceae</i>		
13	<i>Ampelodesma mauritanicum (Poir.) Dur. Et Schinz.</i>	Diss	<i>Poaceae</i>	Hé	W-Méd
14	<i>Anacyclus clavatus (Desf.)</i>	Anacycle en mausse	<i>Asteraceae</i>	Th	Eur-Méd
15	<i>Anagalis arvensis</i>		<i>Primulaceae</i>	Th	Sub. Cosmop
16	<i>Anagallis monelli L.</i>	Mouron de Monel	<i>Primulaceae</i>	Th	W-Méd
17	<i>Anthemis pedunculata Desf.</i>		<i>Asteraceae</i>	Hé	Ibero-Maur
18	<i>Anthyllis vulneraria L.</i>	Anthyllide vulnéraire	<i>Fabaceae</i>	Hé	Eur-Méd.
19	<i>Arabis pubescens (Desf.)Poir.</i>		<i>Brassicaceae</i>	Hé	End.NA
20	<i>Arenaria serpyllifolia L.</i>	Sabline à feuilles de serpolet	<i>Caryophyllaceae</i>	Th	Euras
21	<i>Artemisia absinthium L.</i>	Armoise absinthe	<i>Asteraceae</i>	Hé	Euras. Alg. Mar
22	<i>Artemisia herba-alba Asso</i>	Armoise Herbe blanche	<i>Asteraceae</i>	Ch	De canarie à l'Egypte, Asie

23	<i>Asparagus acutifolius L.</i>	Asperge sauvage	<i>Liliaceae</i>	Phan	Méd
24	<i>Asperula cynanchica L.</i>	Herbe à l'esquinancie	<i>Rubiaceae</i>	Hé	Eur. Méd
25	<i>Asperula hirsuta Desf.</i>		<i>Rubiaceae</i>	Ch	W-Méd
26	<i>Asphodeline lutea (L.) Rchb.</i>	Asphodéline jaune	<i>Liliaceae</i>	Hé	E-Méd
27	<i>Asphodelus microcarpus Salzm et Viv.</i>	Asphodèle à petits fruits	<i>Liliaceae</i>	Hé	Canar-Méd
28	<i>Astragalus armatus Willd.</i>	Astragale armé	<i>Fabaceae</i>	Ch	End.NA
29	<i>Astragalus monspessulanus L.</i>	Astragale de Montpellier	<i>Fabaceae</i>	Hé	Eur-Méd.
30	<i>Astragalus peregrinus Vahl.</i>		<i>Fabaceae</i>		E. Méd
31	<i>Astragalus sp L.</i>		<i>Fabaceae</i>		
32	<i>Atractylis cancellata L.</i>	Atractyle en treillis	<i>Asteraceae</i>	Th	Circum.Méd.
33	<i>Atractylis humilis L.</i>	Atractyle humble	<i>Asteraceae</i>	Gé	Ibéro-Maur.
34	<i>Avena fatua L.</i>	Folle-avoine	<i>Poaceae</i>	Th	Subcosm
35	<i>Avena macrostachya Balansa.</i>		<i>Poaceae</i>	Hé	End
36	<i>Avena sterilis L.</i>	Avoine stérile	<i>Poaceae</i>	Th	Macar.-Méd.-Iranou-Tour
37	<i>Bellis silvestris L.</i>	Pâquerette d'automne	<i>Asteraceae</i>	Hé	Circum-Méd
38	<i>Berberis hispanica Boiss. et Reut.</i>	Epine-vinette d'Espagne	<i>Berberidaceae</i>	Phan	Ibéro-Maur
39	<i>Bifora testiculata Roth.</i>	Bifora à testicules	<i>Apiaceae</i>	Th	Méd
40	<i>Biscutella didyma L.</i>	Biscutelle	<i>Brassicaceae</i>	Hé	Méd
41	<i>Brachypodium distachyon (L.) P.B.</i>	Brachypode à deux épis	<i>Poaceae</i>	Th	Paleo-Subtrop
42	<i>Brassica sp L.</i>		<i>Brassicaceae</i>		
43	<i>Bromus rubens L.</i>	brome rougeâtre	<i>Poaceae</i>	Th	Paleo-Subtrop
44	<i>Bromus sterilis L.</i>	Brome stérile	<i>Poaceae</i>	Hé	Paléo-temp
45	<i>Bupleurum spinosum L.</i>	Buplèvre épineux	<i>Apiaceae</i>	Ch	Ibéro-Maur
46	<i>Calycotome spinosa (L.) Lamk</i>	Calycotome épineux	<i>Fabaceae</i>	Ch	W-Méd
47	<i>Capsella bursa-pastoris L.</i>	capselle	<i>Brassicaceae</i>	Th	Méd
48	<i>Carduncellus pinnatus (Desf.) DC.</i>		<i>Asteraceae</i>	Hé	Sicile- A.N. Lybie

49	<i>Carduus nutans</i> L.	Chardon penché	<i>Asteraceae</i>	Hé	Euro. Sib. N.A.
50	<i>Carduus pycnocephalus</i> L.	Chardon à têtes denses	<i>Asteraceae</i>	Hé	Euras
51	<i>Carex</i> sp		<i>Cyperaceae</i>		
52	<i>Carthamus lanatus</i> L.	Carthame laineux	<i>Asteraceae</i>	Thé	Eur-Méd.
53	<i>Catananche coerulea</i> L.	Catananche bleue	<i>Asteraceae</i>	Hé	W-Méd
54	<i>Cedrus atlantica</i> (Manetti)	Cèdre de l'Atlas	<i>Pinaceae</i>	Phan	End.Alg.Mar.
55	<i>Centaurea acaulis</i> L. p. p.	Centaurée sans tige	<i>Asteraceae</i>	Ch	End.NA
56	<i>Centaurea alba</i> L.		<i>Asteraceae</i>	Hé	Ibéro. Russ. Ital
57	<i>Centaurea incana</i> Desf		<i>Asteraceae</i>	Hé	Ibéro-Maur
58	<i>Centaurea</i> sp L.		<i>Asteraceae</i>		
59	<i>Centaurea tougourensis</i> B. et R.	Centaurée de Tuggurt	<i>Asteraceae</i>	Hé	End
60	<i>Cerastium dichotomum</i> L.	Céraiste dichotome	<i>Caryophyllaceae</i>	Th	Méd-Iran-Tour
61	<i>Cerastium gibraltarium</i> Boiss.		<i>Caryophyllaceae</i>	Th	Ibéro-Maur
62	<i>Cistus monspeliensis</i> L.	Ciste de Montpellier	<i>Cistaceae</i>	Ch	Méd
63	<i>Cistus villosus</i> L.	Ciste	<i>Cistaceae</i>	Ch	Méd
64	<i>Colutea arborescens</i> L.	Baguenaudier	<i>Fabaceae</i>	Phan	Méd
65	<i>Convolvulus cantabrica</i> L.	Liseron de Biscaye	<i>Convolvulaceae</i>	Hé	Méd
66	<i>Coronilla scorpioides</i> Koch.	Coronille scorpioide	<i>Fabaceae</i>	Th	Méd
67	<i>Cotoneaster racemiflora</i> (Desf.) Koch.	Cotonéaster sauvage	<i>Rosaceae</i>	Nanophan	Méd.-As
68	<i>Crataegus laciniata</i> Urica		<i>Rosaceae</i>	Phan	Méd-As
69	<i>Crepis erichoides</i> (L.) All.	Helminthie fausse-vipérine	<i>Asteraceae</i>	Th	Euryméd
70	<i>Crepis vesicaria</i> p.p.	Crépis à feuilles de pissenlit	<i>Asteraceae</i>	Hé	Eur-Méd
71	<i>Crucianella patula</i> L.		<i>Rubiaceae</i>	Th	End.NA
72	<i>Crupina vulgaris</i> Cass.	Crupine commune	<i>Asteraceae</i>	Th	Méd
73	<i>Cuscuta</i> sp (Tourn.) L.		<i>Cuscutaceae</i>	Th	
74	<i>Cynosurus echinatus</i> L.	Crételle épineuse	<i>Poaceae</i>	Th	Méd-Macar
75	<i>Dactylis glomerata</i> L.	Dactyle pelotonné	<i>Poaceae</i>	Hé	Paléo-Temp

76	<i>Dianthus caryophyllus L.</i>	Œillet des fleuristes	<i>Caryophyllaceae</i>	Hé	Eur-Méd
77	<i>Diplotaxis harra</i> (Forsk.) Boiss.		<i>Brassicaceae</i>	Th	Méd-Irano-Tour
78	<i>Echium italicum L.</i>	Vipérine d'Italie	<i>Borraginaceae</i>	Hé	Méd
79	<i>Ephedra altissima Desf.</i>	Ephédra	<i>Ephedraceae</i>	Phan- liane	End. NA.-Tibesti
80	<i>Ephedra major Host</i>	Grand Ephédra	<i>Ephedraceae</i>	Hé	Macar.-Méd.-Asie.-Occ
81	<i>Erinacea anthyllis Link.</i>	Genêt-hérisson	<i>Fabaceae</i>	Ch	Oro-W-Méd
82	<i>Erodium cicutarium L'Her</i>	Bec-de-grue à feuilles de ciguë	<i>Geraniaceae</i>	Th	Méd
83	<i>Erodium montanum</i>		<i>Geraniaceae</i>		End
84	<i>Eryngium campestre L.</i>	Chardon roulant	<i>Apiaceae</i>	Hé	Eur-Méd
85	<i>Eryngium dichotomum Desf.</i>		<i>Apiaceae</i>	Hé	W-Méd
86	<i>Eryngium triquetrum Vahl.</i>	le panicaut triquètre	<i>Apiaceae</i>	Hé	N.A.-Sicile
87	<i>Erysimum grandiflorum Desf.</i>		<i>Brassicaceae</i>	Hé	Oro.-Méd.
88	<i>Euphorbia helioscopia L.</i>	Euphorbe réveille-matin	<i>Euphorbiaceae</i>	Th	Euras
89	<i>Euphorbia sp L.</i>		<i>Euphorbiaceae</i>		
90	<i>Ferula communis L.</i>	Férule commune	<i>Apiaceae</i>	Hé	Méd
91	<i>Fraxinus xanthoxyloides Wamm.</i>	Frêne	<i>Oleaceae</i>	Phan	Oro-S. Méd. As
92	<i>Fumana sp (Dunal) Spach</i>		<i>Cistaceae</i>		
93	<i>Fumana thymifolia (L.) Verlot.</i>	Fumana à feuilles de thym	<i>Cistaceae</i>	Ch	Méd
94	<i>Galium aparine L.</i>	Gaillet gratteron	<i>Rubiaceae</i>	Th	Paléo-temp
95	<i>Galium mollugo L.</i>	Gaillet blanc	<i>Rubiaceae</i>	Hé	Euras
96	<i>Galium murale All.</i>	Gaillet des murs	<i>Rubiaceae</i>	Th	Méd
97	<i>Galium pusillum L.</i>	gaillet très grêle	<i>Rubiaceae</i>	Hé	Euras
98	<i>Galium sp L.</i>		<i>Rubiaceae</i>		
99	<i>Genista microcephala Coss. et Dur.</i>		<i>Fabaceae</i>	Nanophan	End.NA
100	<i>Genista sp L.</i>		<i>Fabaceae</i>		
101	<i>Geranium robertianum L.</i>	Géranium Herbe à Robert	<i>Geraniaceae</i>	Th	Cosm.

102	<i>Globularia alypum L.</i>	Globulaire turbith	<i>Globulariaceae</i>	Ch	Méd
103	<i>Hedypnois cretica (L.) Willd.</i>	Hédipnoïs de Crète	<i>Asteraceae</i>	Th	Méd
104	<i>Helianthemum cinerum (Cav.) Pers.</i>		<i>Cistaceae</i>	Ch	Eur-Méd
105	<i>Helianthemum croceum (Desf.) Pers. p.p.</i>	Hélianthème jaune	<i>Cistaceae</i>	Ch	W-Méd
106	<i>Hertia cheirifolia (L.) O.K.</i>	Othonne à feuilles de giroflées	<i>Asteraceae</i>	Hé	End.Alg.Tun
107	<i>Hyoseris radiata L.</i>	Astragale Chicorée de porc	<i>Asteraceae</i>	Hé	Eur. Méd
108	<i>Hypochoeris achyrophorus L.</i>	Porcelle à soies courtes	<i>Asteraceae</i>	Th	Circum-Médi
109	<i>Hypochoeris glabra L.</i>	Porcelle glabre	<i>Asteraceae</i>	Th	End
110	<i>Hypochoeris laevigata (L.) Ces, Pas. et Gig.</i>		<i>Asteraceae</i>	Th	C. Méd
111	<i>Hypochoeris radicata L.</i>	Porcelle enracinée	<i>Asteraceae</i>	Hé	
112	<i>Iberis linifolia L.</i>	Ibérus à feuilles de lin	<i>Brassicaceae</i>	Th	Méd
113	<i>Inula montana L.</i>	Inule des montagnes	<i>Asteraceae</i>	Hé	W.Méd.-Sub.Atl.
114	<i>Iris gladulus</i>		<i>Iridaceae</i>	Gé	
115	<i>Jasminum fruticans L.</i>	Jasmin ligneux	<i>Oleaceae</i>	Ch	Méd
116	<i>Juniperus oxycédrus L.</i>	Genévrier oxycédre	<i>Cupressaceae</i>	Phan	Atl-Circum-Méd
117	<i>Juniperus phoenica L.</i>	Genévrier de Phénicie	<i>Cupressaceae</i>	Phan	Circum-Méd.
118	<i>Knautia arvensis (L.) Coult.</i>	Knautie des champs	<i>Caprifoliaceae</i>	Hé	Eur-As
119	<i>Lamium longiflorum Ten.</i>	Lamier à grandes fleurs	<i>Lamiaceae</i>	Hé	C. Méd
120	<i>Leuzea conifera (L.) DC.</i>	Pomme-de-pin	<i>Asteraceae</i>	Hé	W-Méd
121	<i>Linum strictum L.</i>	Lin droit	<i>Linaceae</i>	Th	Méd
122	<i>Lithospermum apulum (L.) Vahl.</i>		<i>Boraginaceae</i>	Th	Méd
123	<i>Lolium multiflorum Lamk.</i>	Le ray-grass d'Italie	<i>Poaceae</i>	Th	Méd
124	<i>Lotus corniculatus L.</i>	Lotier corniculé	<i>Fabaceae</i>	Hé	Euras
125	<i>Malope malachoides L.</i>	Malope fausse mauve	<i>Malvaceae</i>	Hé	Méd
126	<i>Malva sylvestris L.</i>	Mauve sauvage	<i>Malvaceae</i>	Hé	Euras
127	<i>Mantiscalca salmantica</i>	Centaurée de	<i>Asteraceae</i>	Hé	Eur. Méd

	(L.) Briq. et Cavill.	Salamanque			
128	<i>Marrubium vulgare</i> L.	Marrube blanc	<i>Lamiaceae</i>	Hé	Cosm
129	<i>Medicago lupulina</i> L.	Luzerne lupuline	<i>Fabaceae</i>	Th	Méd-Eur
130	<i>Medicago minima</i> Grufb.	Luzerne naine	<i>Fabaceae</i>	Th	Eur.-Méd
131	<i>Medicago orbicularis</i> (L.) All	Luzerne orbiculaire	<i>Fabaceae</i>	Th	Méd
132	<i>Medicago rigidula</i> Desr.	Luzerne de Gérard	<i>Fabaceae</i>	Th	Méd
133	<i>Medicago sativa</i> L.	Luzerne cultivée	<i>Fabaceae</i>	Hé	Sub-Cosmop
134	<i>Medicago</i> sp		<i>Fabaceae</i>		
135	<i>Melandrium album</i> (Mill.) Garcke	Compagnon blanc	<i>Caryophyllaceae</i>	Hé	Paléo-temp
136	<i>Mentha aquatica</i> L.	Menthe aquatique	<i>Lamiaceae</i>	Gé	Paléo-temp
137	<i>Micropus bombicinus</i> Lag.	Cotonnière dressée	<i>Asteraceae</i>	Th	Euras-NA-Trip
138	<i>Muscari comosum</i> (L.) Mill.	Muscari à toupet	<i>Liliaceae</i>	Gé	Méd
139	<i>Muscari neglectum</i> Guss.	Muscari négligé	<i>Liliaceae</i>	Gé	Eur. Méd
140	<i>Nepeta algeriensis</i> de Noé.		<i>Lamiaceae</i>		End
141	<i>Olea europea</i>	Oléastre	<i>Oleaceae</i>	Phan	Méd
142	<i>Onobrychis alba</i> (W. et K.) Desv.		<i>Fabaceae</i>	Th	S. Eur
143	<i>Onobrychis argentea</i> Boiss.	Sainfoin argentée	<i>Fabaceae</i>	Ch	Ibéro-Maur
144	<i>Ononis pusilla</i> L.	Bugrane fluette	<i>Fabaceae</i>	Ch	Méd
145	<i>Ornithogalum tenuifolium</i> Guss.		<i>Hyacinthaceae</i>	Gé	Méd
146	<i>Ornithogalum umbellatum</i> L.	Ornithogale en ombelle	<i>Hyacinthaceae</i>	Gé	Alt-Méd
147	<i>Oryzopsis caerulescens</i> (Desf.) Richt.	Piptathérum bleuâtre	<i>Poaceae</i>	Hé	Méd
148	<i>Pallenis spinosa</i> (L.) Cass.	Astérolide épineux	<i>Asteraceae</i>	Hé	Euro-Méd
149	<i>Papaver dubium</i> L.	Coquelicot de Lecoq	<i>Papaveraceae</i>	Th	Méd
150	<i>Paronychia argentea</i> (Pourr.) Lamk.	Paronyque argentée	<i>Caryophyllaceae</i>	Hé	Méd
151	<i>Petrorhagia prolifera</i> L.	Œillet prolifère	<i>Caryophyllaceae</i>	Th	Méd

152	<i>Phagnalon saxatile</i> (L.) Cass.	Phagnalon des rochers	<i>Asteraceae</i>	Cha	Sah-Sind
153	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	Filaria à feuille étroites	<i>Oleaceae</i>	Phan	Méd
154	<i>Pinus halepensis</i> Mill.	Pin d'Alep	<i>Pinaceae</i>	Phan	Méd
155	<i>Pistacia lentiscus</i> L.	Pistachier lentisque	<i>Anacardiaceae</i>	Phan	Méd
156	<i>Pistacia terebinthus</i> L.	Térébinthe	<i>Anacardiaceae</i>	Phan	Méd
157	<i>Plantago coronopus</i> L.	plantain corne de cerf	<i>Plantaginaceae</i>	Hé	Euras
158	<i>Poa bulbosa</i> L.	Pâturin bulbeux	<i>Poaceae</i>	Hé	Paléo-temp
159	<i>Polycarpon polycarpoides</i> (Biv.) Zodda.		<i>Caryophyllaceae</i>	Hé	A. N.-Sicile
160	<i>Potentilla reptans</i> L.	Potentille rampante	<i>Rosaceae</i>	Hé	
161	<i>Prunus prostata</i> Labill.	Cerisier prostré	<i>Rosaceae</i>	Ch	Méd.As
162	<i>Psoralea bituminosa</i> L.	Psoralée bitumineuse	<i>Fabaceae</i>	Hé	Méd
163	<i>Quercus ilex</i> L.	Chêne vert	<i>Fagaceae</i>	Phan	Méd
164	<i>Ranunculus spicatus</i> Maire.		<i>Ranunculaceae</i>	Hé	Ibéro-Maur-Sicile
165	<i>Rapistrum rugosum</i> (L.) All.	Rapistre rugueux	<i>Brassicaceae</i>	Th	Méd
166	<i>Reseda alba</i> L.	Réséda blanc	<i>Resedaceae</i>	Th	Euras
167	<i>Rosa canina</i> L.	Rosier des haies	<i>Rosaceae</i>	Nanophan	Euras
168	<i>Rosa sempervirens</i> L.	Rosier toujours-vert	<i>Rosaceae</i>	Nanophan	Méd
169	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Romarin officinal	<i>Lamiaceae</i>	Phan	Méd
170	<i>Rosmarinus tournefortii</i> de Noé		<i>Lamiaceae</i>	Ch	End. Maghreb
171	<i>Rumex bucephalophorus</i> L.	Oseille tête-de-bœuf	<i>Polygonaceae</i>	Th	Méd
172	<i>Rumex tuberosus</i> L.	Oseille tubéreuse	<i>Polygonaceae</i>	Gé	Méd
173	<i>Salvia argentea</i> L.	Sauge argentée	<i>Lamiaceae</i>	Hé	Méd
174	<i>Salvia verbenaca</i> (L.) Briq.	Sauge fasse verveine	<i>Lamiaceae</i>	Hé	Méd.-Atl.
175	<i>Santolina chamaecyparissus</i> L.	Santoline petit-cyprès	<i>Asteraceae</i>	Ch	
176	<i>Satureja acinos</i>	Calament acinos	<i>Lamiaceae</i>	Th	Eur.,Iran
177	<i>Satureja granatensis</i> (Boiss. Et Reut.) R.	Calament du Midi	<i>Lamiaceae</i>	Hé	Ibéro-Maur

	<i>Fernandes.</i>				
178	<i>Scabiosa crenata</i> Cyr.	Scabieuse	<i>Dipsacaceae</i>	Hé	E.Méd.
179	<i>Scandix pecten-veneris</i> L.	Peigne de Vénus	<i>Apiaceae</i>	Th	Eur-Méd.
180	<i>Sedum caeruleum</i> L.	Orpin bleuâtre	<i>Crassulaceae</i>	Th	Cent. Méd
181	<i>Sedum sediforme</i> (Jacq.) Pau	Sédum de Nice	<i>Crassulaceae</i>	Ch	Méd
182	<i>Senecio vulgaris</i> L.	séneçon commun	<i>Asteraceae</i>	Th	Subcosm
183	<i>Sherardia arvensis</i> L.	Rubéole des champs	<i>Rubiaceae</i>	Th	Euras
184	<i>Sideritis montana</i> L.	Crapaudine des montagnes	<i>Lamiaceae</i>	Th	Méd
185	<i>Silene italica</i> L.	Silène d'Italie	<i>Caryophyllaceae</i>	Hé	Méd
186	<i>Silene sp</i> L.		<i>Caryophyllaceae</i>		
187	<i>Stipa tenacissima</i> L.	Stipe pennée, L'Alfa	<i>Poaceae</i>	Hé	Ibéro-Maur
188	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Morgeline	<i>Caryophyllaceae</i>	Th	Cosm.
189	<i>Taraxacum officinale</i>	pissenlit	<i>Asteraceae</i>	Hé	
190	<i>Teucrium chamaedrys</i> L.	Germandrée petit- chêne	<i>Lamiaceae</i>	Ch	Eur-Méd.
191	<i>Teucrium polium</i> L. (p. p.)	Germandrée tomenteuse	<i>Lamiaceae</i>	Ch	Eur-Méd
192	<i>Teucrium pseudo- chamaepitys</i> L.	Germandrée faux petit-pin	<i>Lamiaceae</i>	Ch	W-Méd
193	<i>Thapsia garganica</i> L.	Bounafae drias	<i>Apiaceae</i>	Hé	Méd
194	<i>Thlaspi perfoliatum</i> L.	tabouret perfolié	<i>Brassicaceae</i>	Th	Eur-Méd
195	<i>Thymus algeriensis</i> Boiss & Reut.		<i>Lamiaceae</i>	Ch	End.NA
196	<i>Thymus ciliatus</i> Desf.	thym	<i>Lamiaceae</i>	Ch	End.NA
197	<i>Torilis nodosa</i> Gaertn.	Torilis à fleurs glomérulées	<i>Apiaceae</i>	Th	Euras
198	<i>Tragopogon porrifolius</i> L.	salsifis à feuilles de poireau	<i>Asteraceae</i>	Hé	Circum.Méd.
199	<i>Trifolium campestre</i> Schreb.	Trèfle champêtre	<i>Fabaceae</i>	Th	Paléo-Temp.
200	<i>Trifolium stellatum</i> L.	Trèfle étoilé	<i>Fabaceae</i>	Th	Méd
201	<i>Ulmus campestris</i> L. = <i>Ulmus minor</i> Mill	Orme champêtre	Ulmaceae	Phan	Euras
202	<i>Valeriana tuberosa</i> L.	Valériane tubéreuse	<i>Valerianaceae</i>	Gé	Méd

203	<i>Veronica hederaefolia L.</i>	Véronique à feuilles de lierre	<i>Plantaginaceae</i>	Th	Paléo-Temp.
204	<i>Vicia sativa L.</i>	Vesce commune	<i>Fabaceae</i>	Th	Eur-Méd
205	<i>Vicia sp L.</i>		<i>Fabaceae</i>		
206	<i>Xeranthemum inapertum (L.) Mill.</i>	Xéranthème fermé	<i>Asteraceae</i>	Th	Euras-N-A

Annexe 2. Les espèces inventoriées au niveau de Guettiane

N°	Nom latin	Nom commun	Famille	Type biologique	Type biogéographique
01	<i>Aegilops ovata Eig.</i>	Égilope ovale	<i>Poaceae</i>	Th	Méd-Irano-Tour
02	<i>Aegilops triuncialis L.</i>	Égilope allongé	<i>Poaceae</i>	Th	Méd-Irano-Tour
03	<i>Alkanna tinctoria (L.) Taush</i>	Orcanette des teinturiers	Boraginaceae	Th	Méd
04	<i>Allium sp L.</i>		<i>Liliaceae</i>		
05	<i>Alyssum sp L.</i>		<i>Brassicaceae</i>		
06	<i>Ammoides sp Adanson (Ptychotis koch)</i>		<i>Apiaceae</i>		
07	<i>Ampelodesma mauritanicum (Poir.) Dur. Et Schinz.</i>	Diss	<i>Poaceae</i>	Hé	W-Méd
08	<i>Anacyclus clavatus (Desf.)</i>	Anacycle en mausse	<i>Asteraceae</i>	Th	Eur-Méd
09	<i>Anagallis monelli L.</i>	Mouron de Monel	<i>Primulaceae</i>	Th	W-Méd
10	<i>Anthemis pedunculata Desf.</i>		<i>Asteraceae</i>	Hé	Ibéro-Maur
11	<i>Arenaria serpyllifolia L.</i>	Sabline à feuilles de serpolet	<i>Caryophyllaceae</i>	Th	Euras
12	<i>Asperula hirsuta Desf.</i>		<i>Rubiaceae</i>	Ch	W-Méd
13	<i>Asphodeline lutea (L.) Rchb.</i>	Asphodéline jaune	<i>Liliaceae</i>	Hé	E-Méd
14	<i>Asphodelus microcarpus Salzm et Viv.</i>	Asphodèle à petits fruits	<i>Liliaceae</i>	Hé	Canar-Méd
15	<i>Astragalus armatus Willd.</i>	Astragale armé	<i>Fabaceae</i>	Ch	End.NA
16	<i>Astragalus sp L.</i>		<i>Fabaceae</i>		
17	<i>Avena bromoides Gouan.</i>		<i>Poaceae</i>	Hé	Méd
18	<i>Avena fatua L.</i>	Folle-avoine	<i>Poaceae</i>	Th	Subcosm
19	<i>Bellis silvestris L.</i>	Pâquerette d'automne	<i>Asteraceae</i>	Hé	Circum-Méd

20	<i>Biscutella didyma L.</i>	Biscutelle	<i>Brassicaceae</i>	Hé	Méd
21	<i>Brassica sp L.</i>		<i>Brassicaceae</i>		
22	<i>Bromus erectus Huds</i>	Brome dressé	<i>Poaceae</i>	Hé	Euras
23	<i>Bromus rubens L.</i>	brome rougeâtre	<i>Poaceae</i>	Th	Paleo-Subtrop
24	<i>Bromus sterilis L.</i>	Brome stérile	<i>Poaceae</i>	Hé	Paléo-temp
25	<i>Bupleurum spinosum L.</i>	Buplèvre épineux	<i>Apiaceae</i>	Ch	Ibéro-Maur
26	<i>Calycotome spinosa (L.) Lamk</i>	Calycotome épineux	<i>Fabaceae</i>	Ch	W-Méd
27	<i>Capsella bursa-pastoris L.</i>	capselle	<i>Brassicaceae</i>	Th	Méd
28	<i>Carduncellus pinnatus (Desf.) DC.</i>		<i>Asteraceae</i>	Hé	Sicile- A.N. Lybie
29	<i>Carduus nutans L.</i>	Chardon penché	<i>Asteraceae</i>	Hé	Euro. Sib. N.A.
30	<i>Catananche coerulea L.</i>	Catananche bleue	<i>Asteraceae</i>	Hé	W-Méd
31	<i>Cedrus atlantica (Manetti)</i>	Cèdre de l'Atlas	<i>Pinaceae</i>	Phan	End.Alg.Mar.
32	<i>Centaurea incana Desf</i>		<i>Asteraceae</i>	Hé	Ibéro-Maur
33	<i>Centaurea tougourensis B. et R.</i>	Centaurée de Tuggurt	<i>Asteraceae</i>	Hé	End
34	<i>Cirsium sp L.</i>	Cirse	<i>Asteraceae</i>		
35	<i>Cistus monspeliensis L.</i>	Ciste de Montpellier	<i>Cistaceae</i>	Ch	Méd
36	<i>Convolvulus cantabrica L.</i>	Liseron de Biscaye	<i>Convolvulaceae</i>	Hé	Méd
37	<i>Coronilla minima L.</i>	la Coronille naine	<i>Fabaceae</i>	Ch	Méd.-Eur.
38	<i>Coronilla scorpioides Koch.</i>	Coronille scorpioide	<i>Fabaceae</i>	Th	Méd
39	<i>Crataegus laciniata Urica</i>		<i>Rosaceae</i>	Phan	Méd-As
40	<i>Crepis vesicaria p.p.</i>	Crépis à feuilles de pissenlit	<i>Asteraceae</i>	Hé	Eur-Méd
41	<i>Crucianella patula L.</i>		<i>Rubiaceae</i>	Th	End.NA
42	<i>Cynoglossum cheirifolium L.</i>	La cynoglosse à feuilles de giroflée	<i>Boraginaceae</i>	Hé	Méd
43	<i>Cynosurus echinatus L.</i>	Crételle épineuse	<i>Poaceae</i>	Th	Méd-Macar
44	<i>Dactylis glomerata L.</i>	Dactyle pelotonné	<i>Poaceae</i>	Hé	Paléo-Temp
45	<i>Dianthus caryophyllus L.</i>	Œillet des fleuristes	<i>Caryophyllaceae</i>	Hé	Eur-Méd
46	<i>Diplotaxis harra (Forsk.) Boiss.</i>		<i>Brassicaceae</i>	Th	Méd-Irano-Tour
47	<i>Diplotaxis sp L.</i>		<i>Brassicaceae</i>		
48	<i>Erinacea anthyllis Link.</i>	Genêt-hérison	<i>Fabaceae</i>	Ch	Oro-W-Méd
49	<i>Erodium cicutarium L'Her</i>	Bec-de-grue à feuilles de ciguë	<i>Geraniaceae</i>	Th	Méd

50	<i>Eruca vesicaria</i> (L.) Car.		<i>Brassicaceae</i>	Th	Méd
51	<i>Eryngium campestre</i> L.	Chardon roulant	<i>Apiaceae</i>	Hé	Eur-Méd
52	<i>Eryngium dichotomum</i> Desf.		<i>Apiaceae</i>	Hé	W-Méd
53	<i>Erysimum grandiflorum</i> Desf.		<i>Brassicaceae</i>	Hé	Oro.-Méd.
54	<i>Euphorbia helioscopia</i> L.	Euphorbe réveille-matin	<i>Euphorbiaceae</i>	Th	Euras
55	<i>Euphorbia</i> sp L.		<i>Euphorbiaceae</i>		
56	<i>Evax pygmaea</i> (L.) Brot	Evax nain	<i>Asteraceae</i>	Th	Circum-Médi
57	<i>Fumaria officinalis</i> L.	Fumeterre officinale	<i>Papaveraceae</i>	Th	Paléo-temp
58	<i>Galium aparine</i> L.	Gaillet gratteron	<i>Rubiaceae</i>	Th	Paléo-temp
59	<i>Galium</i> sp L.		<i>Rubiaceae</i>		
60	<i>Geranium molle</i> L.	Géranium à feuilles molles	<i>Geraniaceae</i>	Th	Euras
61	<i>Helianthemum cinerum</i> (Cav.) Pers.		<i>Cistaceae</i>	Ch	Eur-Méd
62	<i>Helianthemum croceum</i> (Desf.) Pers. p.p.	Hélianthème jaune	<i>Cistaceae</i>	Ch	W-Méd
63	<i>Helianthemum papillaire</i> Boiss.		<i>Cistaceae</i>	Th	Ibéro-Maur
64	<i>Helianthemum</i> sp Mill.		<i>Cistaceae</i>		
65	<i>Hertia cheirifolia</i> (L.) O.K.	Othonne à feuilles de giroflées	<i>Asteraceae</i>	Hé	End. Alg. Tun
66	<i>Hippocrepis unisiliquosa</i> L.		<i>Fabaceae</i>	Th	Méd
67	<i>Hordeum murinum</i> L.		<i>Poaceae</i>	Th	Circum-Bor
68	<i>Hypochoeris achyrophorus</i> L.	Porcelle à soies courtes	<i>Asteraceae</i>	Th	Circum-Médi
69	<i>Hypochoeris glabra</i> L.	Porcelle glabre	<i>Asteraceae</i>	Th	End
70	<i>Juniperus oxycédrus</i> L.	Genévrier oxycède	<i>Cupressaceae</i>	Phan	Atl-Circum-Méd
71	<i>Knautia arvensis</i> (L.) Coult.	Knautie des champs	<i>Caprifoliaceae</i>	Hé	Eur-As
72	<i>Leuzea conifera</i> (L.) DC.	Pomme-de-pin	<i>Asteraceae</i>	Hé	W-Méd
73	<i>Linum strictum</i> L.	Lin droit	<i>Linaceae</i>	Th	Méd
74	<i>Lolium multiflorum</i> Lamk.	Le ray-grass d'Italie	<i>Poaceae</i>	Th	Méd
75	<i>Lotus corniculatus</i> L.	Lotier corniculé	<i>Fabaceae</i>	Hé	Euras
76	<i>Malope malachoides</i> L.	Malope fausse mauve	<i>Malvaceae</i>	Hé	Méd
77	<i>Marrubium vulgare</i> L.	Marrube blanc	<i>Lamiaceae</i>	Hé	Cosm
78	<i>Matthiola fruticulosa</i> (L.) Maire	Matthiole en buisson	<i>Brassicaceae</i>	Ch	Méd
79	<i>Medicago lupulina</i> L.	Luzerne lupuline	<i>Fabaceae</i>	Th	Méd-Eur
80	<i>Medicago rigidula</i> Desr.	Luzerne de Gérard	<i>Fabaceae</i>	Th	Méd

81	<i>Medicago sativa L.</i>	Luzerne cultivée	<i>Fabaceae</i>	Hé	Sub-Cosmop
82	<i>Micropus bombicinus Lag.</i>	Cotonnière dressée	<i>Asteraceae</i>	Th	Euras-NA-Trip
83	<i>Muscari comosum (L.) Mill.</i>	Muscari à toupet	<i>Liliaceae</i>	Gé	Méd
84	<i>Ononis pusilla L.</i>	Bugrane fluette	<i>Fabaceae</i>	Ch	Méd
85	<i>Ornithogalum umbellatum L.</i>	Ornithogale en ombelle	<i>Hyacinthaceae</i>	Gé	Atl-Méd
86	<i>Papaver dubium L.</i>	Coquelicot de Lecoq	<i>Papaveraceae</i>	Th	Méd
87	<i>Paronychia argentea (Pourr.) Lamk.</i>	Paronyque argentée	<i>Caryophyllaceae</i>	Hé	Méd
88	<i>Paronychia sp Adans.</i>		<i>Caryophyllaceae</i>		
89	<i>Petrorhagia prolifera L.</i>	Œillet prolifère	<i>Caryophyllaceae</i>	Th	Méd
90	<i>Pinus halepensis Mill.</i>	Pin d'Alep	<i>Pinaceae</i>	Phan	Méd
91	<i>Plantago albicans L.</i>	Plantain blanchissant	<i>Plantaginaceae</i>	Hé	Méd
92	<i>Plantago coronopus L.</i>	plantain corne de cerf	<i>Plantaginaceae</i>	Hé	Euras
93	<i>Plantago lagopus L.</i>	plantain queue de lièvre	<i>Plantaginaceae</i>	Th	Méd
94	<i>Poa bulbosa L.</i>	Pâturin bulbeux	<i>Poaceae</i>	Hé	Paléo-temp
95	<i>Polycarpon polycarpoides (Biv.) Zodda.</i>		<i>Caryophyllaceae</i>	Hé	A. N.-Sicile
96	<i>Psoralea bituminosa L.</i>	Psoralée bitumineuse	<i>Fabaceae</i>	Hé	Méd
97	<i>Quercus ilex L.</i>	Chêne vert	<i>Fagaceae</i>	Phan	Méd
98	<i>Ranunculus spicatus Maire.</i>		<i>Ranunculaceae</i>	Hé	Ibéro-Maur-Sicile
99	<i>Rapistrum rugosum (L.) All.</i>	Rapistre rugueux	<i>Brassicaceae</i>	Th	Méd
100	<i>Reseda alba L.</i>	Réséda blanc	<i>Resedaceae</i>	Th	Euras
101	<i>Rosa canina L.</i>	Rosier des haies	<i>Rosaceae</i>	Phan	Euras
102	<i>Rumex bucephalophorus L.</i>	Oseille tête-de-bœuf	<i>Polygonaceae</i>	Th	Méd
103	<i>Rumex tuberosus L.</i>	Oseille tubéreuse	<i>Polygonaceae</i>	Gé	Méd
104	<i>Salvia argentea L.</i>	Sauge argentée	<i>Lamiaceae</i>	Hé	Méd
105	<i>Sanguisorba minor Scop.</i>	Petite Pimprenelle	<i>Rosaceae</i>	Hé	Euras
106	<i>Satureja granatensis (Boiss. Et Reut.) R. Fernandes.</i>	Calament du Midi	<i>Lamiaceae</i>	Hé	Ibéro-Maur
107	<i>Scabiosa maritima L.</i>	Scabieuse maritime	<i>Caprifoliaceae</i>	Hé	Méd

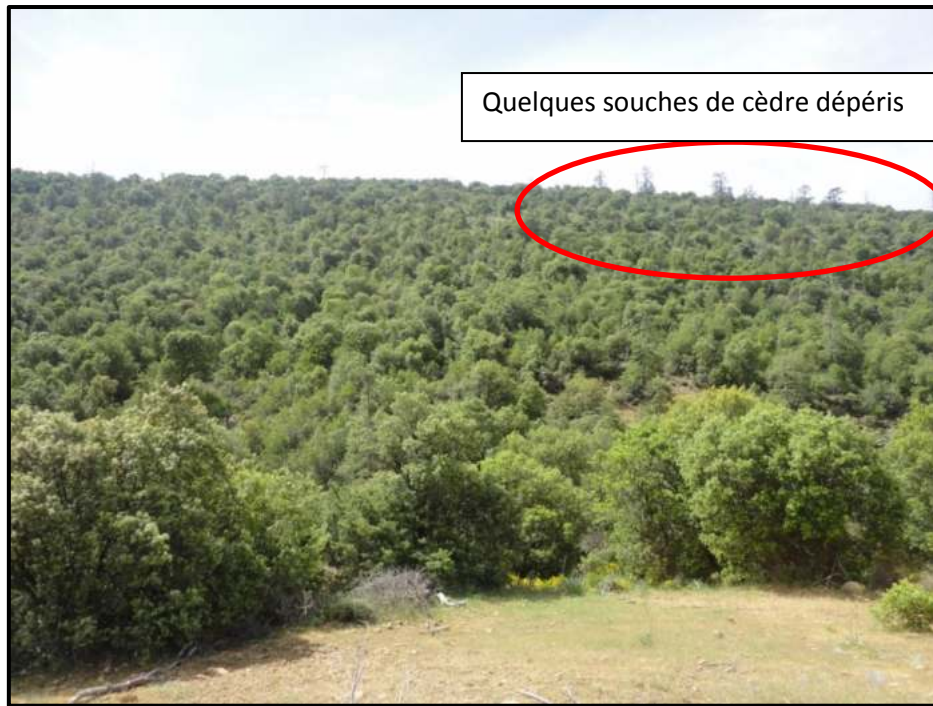
108	<i>Scandix pecten-veneris</i> L.	Peigne de Vénus	<i>Apiaceae</i>	Th	Eur-Méd.
109	<i>Silene italica</i> L.	Silène d'Italie	<i>Caryophyllacea</i> <i>e</i>	Hé	Méd
110	<i>Silene sp</i> L.		<i>Caryophyllacea</i> <i>e</i>		
111	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Mouron des oiseaux	<i>Caryophyllacea</i> <i>e</i>	Th	Cosm
112	<i>Stipa tenacissima</i> L.	Stipe pennée, L'Alfa	<i>Poaceae</i>	Hé	Ibéro-Maur
113	<i>Teucrium polium</i> L. (p. p.)	Germandrée tomenteuse	<i>Lamiaceae</i>	Ch	Eur-Méd
114	<i>Teucrium pseudo-</i> <i>chamaepitys</i> L.	Germandrée faux petit-pin	<i>Lamiaceae</i>	Ch	W-Méd
115	<i>Thapsia villosa</i> L.	Thapsie	<i>Apiaceae</i>	Hé	Méd
116	<i>Thymus algeriensis</i> Boiss & Reut.		<i>Lamiaceae</i>	Ch	End.NA
117	<i>Thymus ciliatus</i> Desf.	thym	<i>Lamiaceae</i>	Ch	End.NA
118	<i>Thymus sp</i> (Tourn.) L. (Thym)		<i>Lamiaceae</i>		
119	<i>Torilis nodosa</i> Gaertn.	Torilis à fleurs glomérulées	<i>Apiaceae</i>	Th	Euras
120	<i>Vicia sp</i> L.		<i>Fabaceae</i>		
121	<i>Xanthium spinosum</i> L.	Lampourde épineuse	<i>Asteraceae</i>	Th	Sub-cosm
122	<i>Xeranthemum inapertum</i> (L.) Mill.	Xéranthème fermé	<i>Asteraceae</i>	Th	Euras-N-A

Annexe 3. Aire de répartition générale des espèces (Quezel et Santa, 1962) :

N.A.....	Nord-Africain
Ibéro-Maur.....	Ibéro-Mauritanien
Ibéro-Mar.....	Ibéro-Marocain
Mar	Marocain
Alg	Algérien
Tun	Tunisien
Bét-Rif	Bético-Rifain
Macar	Macaronésien
Can	Canarien
Num	Numide
Sicil	Sicilien
Ital	Italien
Méd	Méditerranéen
Sah	Saharien
Sah-Sind	Sahara-Sindien
Afr	Africain
Trop	Tropical
Paléo-trop	Paléo-tropical
Irano-Tour	Irano-Touranien
Eur	Européen
Euras	Eurasiatique
Paléo-Temp.....	Paléo-tempéré
Atl	Atlantique
As	Asiatique
Amér	Américain
Cosmop	Cosmopolite
End	Endémique
Bor	Boréal

Toutes ces abréviations peuvent être précisées comme suit : N. : Nord ; S. : Sud ; E. : Est ; W. : Ouest ; Temp. : Tempéré ; Or. : Oriental ; Occ. : Occidental ; Oro. : Montagnard ; ainsi que par les préfixes Circum et Sub.

Annexe 4.



Dégradation d'une cédraie au niveau de Djebel Boumerzoug-Belezma vers un maquis de chêne vert après dépérissement du cèdre



Dépérissement du cèdre à Belezma-Bordjem



Escarpement rocheux à Guettiane



Régénération du cèdre à Guettiane



Les coupes du bois à Guettiane



Cédraie de Guettiane



Cédraie de Refaa



Coupe du bois à Refaa



Travaux sylvicoles à Belezma-coupe du cèdre dépéris (Djebel Bordjem)



Cédraie sur dalle calcaire à Belezma.



Les facteurs de la dégradation des forêts de Belezma et de Guettiane

Annexe 5 : Bilan des incendies de forêts

Année	Commune	Canton	Mois	Superficie	espèce
1986	El Hassi	Messaouda	Juillet	0,06	Reboisement
1986	Seriana	Guelab	Juillet	30	Maquis
1986	Taxlent	Refaa	Août	8	Forêt
1986	0. El MA	Mestaoua	Août	2,5	Maquis
1986	Merouan,a	Fakhra	Septembre	1,5	Reboisement
1986	Tazoulet	A Drin	Juillet	0,05	Maquis
1987	Taxlent	Refaa	Août	0,01	Forêt
1987	0. El Ma	Bordjem	Août	0,5	Forêt
1987	Taxlent	Refaa	Septembre	0,24	Forêt
1987	0. Si Slimuan	Bouari	Septembre	0,5	Maquis
1987	Merouana	Fakhra	Août	0,006	Reboisement
1988	Taxlent	Refaa	Juillet	5,88	Maquis
1988	0.El Ma	Fakhra	Juillet	0,03	Reboisement
1988	Taxlent	Refaa	Août	26	Maquis
1988	Merouana	R. Communal	Août	245	Reboisement
1988	Taxlent	Refaa	Août	0,015	Reboisement
1988	Merouana	R. Communal	Septembre	0,005	Reboisement
1992	Merouana	R. Communal	Août	0,005	Reboisement
1991	0. El Ma	Tadjnent	Juillet	3	Maquis
1991	Taxlent	Bourioul	Juillet	1	Maquis
1991	Seriana	Quelaa	Août	2	Maquis
1991	zana	Roknia	Août	0,014	Reboisement
1992	Merouana	Fakhra Sud	Août	0,005	Pin d'Alep
1993	Merouana	Bouroule	Juillet	0,25	Chêne Vert
1993	Taxlent	Refaa	Juillet	0,02	F. Broussaille
1993	Taxlent	Refaa	Août	0,08	Chêne Vert+ Cèdre
1993	Taxlent	Refaa	Août	0,01	Chêne Vert+ Cèdre
1996	0.El Ma	Fakhra Est	Juillet	2	Pin d'Alep
1996	Merouana	Fakhra Ouest	Juillet	2	Pin d'Alep
1996	Merouana	R. Communal	Août	0,08	Pin d'Alep
1996	El Hassi	Messaouda	Juillet	3	Pin d'Alep
1996	Merouana	R. Communal	Juillet	0,08	Pin d'Alep
1996	Merouana	R. Communal	Juillet	0,5	Pin d'Alep
1997	Seriana	Dj Mokhtar	Août	80	Ch Vert+ G oxycèdre
1998	0. El Ma	Tadjnent	Juillet	4	Chêne Vert
1999	Seriana	Boukais	Juin	0,06	Pin d'Alep
2000	El Hassi	Zana	Juillet	0,25	Pin d'Alep
2001	Merouana	Fakhra Est	Mai	0,02	Pin d'Alep

2001	El Hassi	MessaoudaEst	Juin	0,25	F. Broussaille
2001	Merouana	R. Communal	Juin	0,025	F. Broussaille
2001	Merouana	R. Communal	Juillet	0,01	F. Broussaille
2001	Merouana	Fakhra Est	Juillet	0,705	Pin d'Alep
2001	Merouana	Fakhra Est	Juillet	0,125	Pin d'Alep
2001	Merouana	R. Communal	Août	0,02	Pin d'Alep
2002	Merouana	Fakhra Est	Juin	0,032	Pin d'Alep
2002	Merouana	Fakhra Ouest	Juillet	0,25	Pin d'Alep
2002	Merouana	Fakhra Est	Juillet	0,005	Pin d'Alep
2002	Merouana	Fakhra Ouest	Septembre	0,01	Pin d'Alep
2003	Merouana	Fakhra est	Août	4	Pin d'Alep
2003	Merouana	Fakhra Ouest	Juillet	0,251	Pin d'Alep
2004	0 El Ma	Tadjnet	Juillet	6	Chêne Vert
2004	Seriana	Tiskimel	Juillet	2	Chêne Vert
2004	Seriana	Tiskimel	Août	19	Chêne Vert
2005	Merouana	Fakhra Sud	Mai	2	Broussaille
2005	Merouana	Fakhra Sud	Mai	0,0004	Broussaille
2005	Merouana	Fakhra Sud	Mai	0,00032	Broussaille+ Pin
2005	Seriana	Dj Haben	Juin	25	Chêne Vert
2005	Merouana	Dj Khentech	Juillet	0,0002	Frêne
2005	0. El MA	Bordjem	Juillet	0,0001	Ch. Vert+ G. Oxyced
2005	Seriana	Dj Haben	Juillet	0,75	Chêne Vert
2005	Merouana	Fakhra Sud	Juillet	1	Pin d'Alep
2005	Seriana	M'taras	Juillet	70	Ch. Vert+ G. 0+ P A
2005	Merouana	Fakhra Ouest	Août	2	Pin d'Alep
2005	Merouana	Fakhra Sud	Août	1	Pin d'Alep
2010	Merouana	Fakhra Ouest	Août	0,02	Pin d'Alep
2010	0. El MA	Bordjem	Juillet	4	Maquis C.V + broussaille
2010	Seriana	Assaidi	Juillet	1	Pin d'Alep
2010	Merouana	Fakhra Ouest	Juillet	6	Pin d'Alep
2010	Merouana	Fakhra Ouest	Juillet	1,5	Pin d'Alep
2010	Merouana	Fakhra Ouest	Août	6	Pin d'Alep
2010	Merouana	Fakhra Sud	Août	0,02	Pin d'Alep
2010	Merouana	Fakhra Est	Août	0,02	Pin d'Alep
2010	0. El MA	Tadjnet	Août	0,07	Pin d'Alep + maquis C. V
2010	Merouana	Fakhra Ouest	Juillet	1	Pin d'Alep
2011	Merouana	Mhasser	Juillet	2,5	Chêne V. +frêne D + G.0
2011	0. El MA	Tadjnet	Juillet	0,015	maquis C.V +broussaille
2011	Seriana	Agueleb	Août	1,5	Pin d'Alep
2011	Merouana	Fakhra Ouest	Août	2,5	Pin d'Alep
2011	Merouana	Fakhra Ouest	Août	0,05	Pin d'Alep

2011	Merouana	Fakhra Ouest	Septembre	0,5	Pin d'Alep
2012	Merouana	Fakhra Ouest	Juin	0,25	Pin d'Alep
2012	Hidoussa	Ain Charm	Juin	1,5	Broussaille dont 25 ares maquis de chêne vert
2012	Oued El Ma	Tadjnet	Juin	13	maquis de chêne vert
2012	Merouana	Harguela	Juillet	0,1	Pin d'Alep
2012	Seriana	Tigouas	Juillet	0,15	Pin d'Alep
2012	Seriana	Assaidi	Juillet	2	Pin d'Alep
2012	Oued El Ma	Chellalaa	Juillet	0,5	Maquis de chêne vert
2012	Merouana	Fakhra Ouest	Juillet	15	Pin d'Alep
2012	Seriana	Assaidi	Août	0,08	Pin d'Alep
2012	Seriana	M'taras	Août	3	Maquis de chêne vert
2012	Oued El Ma	Messouda Est	Août	1,5	Pin d'Alep
2012	Oued El Ma	Messouda Est	Septembre	1	Broussaille
2013	Merouana	Fakhra Sud	Juillet	1	broussaille
2013	Merouana	Fakhra Sud	Juillet	2	broussaille
2013	Merouana	Fakhra Ouest	Juillet	0,1	Pin d'Alep
2013	Oued El Ma	Bourdjem	Août	3	maquis de chêne vert (petite touffe)
2013	Merouana	Fakhra Ouest	Août	7	Pin d'Alep
2013	Seriana	Gueleb	Août	0,03	Pin d'Alep, Chêne vert
2013	Seriana	Lamtaras	Août	0,02	maquis de C.V- G.O- G.Ph.
2013	Oued El Ma	Bourdjem	Août	0,5	maquis de chêne vert (petite touffe)
2014	Merouana	Fakhra Ouest	Juillet	0,54	Pin d'Alep
2014	Merouana	Fakhra Ouest	Août	1	Pin d'Alep
2014	El Hassi	Messouda Est	Août	1	Pin d'Alep
2014	Oued El Ma	Chellala	Août	20	Cèdre de l'Atlas, maquis de C.V et G.O, Broussaille
2014	Merouana	Fakhra Est	Septembre	25	Pin d'Alep (Jeune reboisement), Broussaille
2015	0	0	0	0	0
2016	Merouana	Fakhra Sud	Juin	1	Pin d'Alep
2016	Hidoussa	M'haser	Juillet	2,5	Cèdre de l'Atlas, maquis de C.V
2016	Seriana	Assaidi	Août	0,75	Pin d'Alep
2016	El Hassi	Ras Fortas	Août	0,02	Pin d'Alep
2016	Kser Belezma	Messaouda	Août	1,5	Pin d'Alep
2006	Merouana	Fakhra Sud	Juillet	0,03	Broussaille
2006	Merouana	Harguela	Août	0,0009	Pin d'Alep
2006	Merouana	Harguela	Août	2	Pin d'Alep
2006	oued el ma	Messaouda	Septembre	1	Pin d'Alep
2006	Merouana	Fakhra Sud	Septembre	0,02	Pin d'Alep
2006	Merouana	Fakhra Ouest	octobre	5	Pin d'Alep
2006	zana	Dj Si El Hadj	octobre	1,24	Pin d'Alep
2006	Merouana	Fakhra Ouest	octobre	0,02	Pin d'Alep

2006	Merouana	Fakhra Ouest	octobre	0,01	Pin d'Alep
2007	Merouana	Harguela	Juin	0,02	Pin d'Alep
2007	Merouana	Fakhra Sud	Juin	0,5	Pin d'Alep
2007	Oued El ma	Fakhra Est	Juin	80	Pin d'Alep
2007	Merouana	Fakhra Sud	Juin	0,01	Pin d'Alep
2007	Hidoussa	Ain Charm	Juin	3	Maquis de C.V ,G.O, G P
2007	Merouana	Fakhra Sud	Juillet	0,0075	Pin d'Alep
2007	Merouana	Fakhra Ouest	Juillet	1,5	Pin d'Alep
2007	Oued El Ma	Tadjnet	Juillet	0,02	Broussaille
2007	Merouana	Harguela	Juillet	2	Pin d'Alep
2007	Merouana	Harguela	Juillet	0,05	Broussaille
2007	Merouana	Harguela	Juillet	3	Pin d'Alep
2007	El Hassi	Messaouda	Août	15	Pin d'Alep
2007	Ain Djasser	Roknia	Août	3	Pin d'Alep
2008	Merouana	Fakhra Sud	Avril	0,05	Pin d'Alep
2008	Merouana	Fakhra Ouest	Juillet	0,15	Pin d'Alep
2008	Merouana	Fakhra Ouest	Juillet	0,13	Pin d'Alep
2008	Merouana	Fakhra Ouest	Septembre	2	Pin d'Alep
2008	Merouana	Fakhra Ouest	Septembre	2	Pin d'Alep
2008	Oued El Ma	Fakhra Est	Juillet	1,2	Pin d'Alep
2009	Merouana	Tikelt	Juin	0,5	Pin d'Alep
2009	Oued El Ma	Fakhra Est	Juillet	10	Pin d'Alep
2009	Oued El Ma	Tadjnet	Juillet	6	Pin d'Alep + Maquis de C.V
2009	Merouana	Harguela	Août	0,5	Pin d'Alep
2009	Merouana	Fakhra Ouest	Août	0,5	Pin d'Alep
2009	Hidoussa	Arfa	Août	60	Maquis de C.V
2009	Seriana	M'taras	Août	2	Maquis de C.V

Résumé

Ce travail a porté sur l'étude phytoécologique des cédraies de Belezma et de Guettiane et la cartographie des indicateurs de la dégradation du couvert végétal. Ces forêts ont subi des changements importants au cours de cette période d'étude (1986-2017), au niveau des formations forestières, l'unité des cédraies a diminué de 3005,12 h en 1986 à 1979,01 ha en 2017 pour la forêt de Belezma, et de 910,89 ha en 1986 à 478,08 ha en 2017 pour la forêt de Guettiane.

L'évaluation de l'état des changements au cours du temps en utilisant de l'outil de la télédétection et des SIG a permis de montrer que le couvert végétal des cédraies de Belezma et de Guettiane est en régression continue, sous l'effet de multiples pressions anthropiques et naturelles (surpâturage, les coupes illicites, la sécheresse, les incendies, les maladies phytosanitaires, etc.).

Les résultats obtenus ont montré que les cédraies de Belezma et de Guettiane ont subi une dégradation intense. Au cours de cette période, plus de 50% de leur surfaces est en état de vulnérable et très vulnérable, ces zones sont localisées dans le Sud et l'Est de la forêt de Belezma et dans le Nord et le Sud de la forêt de Guettiane.

Mots clés : Dégradation ; Télédétection ; SIG ; Phytoécologie ; Indicateur ; Belezma ; Guettiane.

ملخص

هذا العمل تطرق الى دراسة نباتية لغابات الأرز بلزمة و قتيان و اعداد خرائط مؤشرات تدهور الغطاء النباتي. تغيرات مهمة حدثت خلال فترة الدراسة (1986-2017), على مستوى التركيبات الغابية, وحدة الأرز انخفضت من 3005,12 ها في 1986 الى 1979,01 ها في 2017 بالنسبة لغابة بلزمة, و من 910,89 ها في 1986 الى 478,08 ها في 2017 بالنسبة لغابة قتيان.

تقييم التغيرات عبر الزمن باستعمال وسيلة الاستشعار عن بعد و نظم المعلومات الجغرافية أظهر أن الغطاء النباتي لغابات الأرز بلزمة و قتيان في حالة تدهور مستمر, تحت تأثير عدة عوامل بشرية و طبيعية (الرعي الجائر, قطع الأشجار, الجفاف, الحرائق, الأمراض النباتية, الخ).

النتائج المتحصل عليها أوضحت تدهور كبير على مستوى غابات الأرز بلزمة و قتيان خلال هذه الفترة, أكثر من 50% من مساحاتها في حالة متأثرة و متآثرة جدا, و تقع هذه المناطق في جنوب و شرق غابة بلزمة و في جنوب و شمال قتيان.

كلمات مفتاحية : تدهور, الاستشعار عن بعد, نظم المعلومات الجغرافية, دراسة نباتية, مؤشر, بلزمة, قتيان.

Abstract

This work focused on the phytoecological study of Belezma and Guettiane cedar groves and the mapping of indicators of degradation of the plant cover. These forests have undergone significant changes during this study period (1986-2017), at the level of forest formations, the unit of cedar groves decreased from 3,005.12 h in 1986 to 1979.01 ha in 2017 for the Belezma forest, and from 910.89 ha in 1986 to 478.08 ha in 2017 for the Guettiane forest.

Evaluating the state of changes over time using remote sensing and GIS tools has shown that the vegetation cover of Belezma and Guettiane cedar forests is in continuous decline, under the effect of multiple anthropogenic and natural pressures (overgrazing, illegal cutting, drought, fires, phytosanitary diseases, etc.).

The results obtained showed that the cedar forests of Belezma and Guettiane underwent intense degradation during this period, more than 50% of their surfaces are in a vulnerable and very vulnerable state, and these areas are located in the South and the East of the forest of Belezma and in the North and the South of the forest of Guettiane.

Keywords: Degradation; Remote sensing; GIS; Phytoecology; Indicator; Belezma; Guettiane.