

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche  
Scientifique  
**Université Frères MENTOURI Constantine**



**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
Département de Biologie et Ecologie Végétale  
N° d'ordre : 116/DS/2016  
Série : 06/ECO/2016

**Thèse Présentée en Vue de l'Obtention de Diplôme de Doctorat  
en Sciences**

Filière : Ecologie et Environnement  
Option : Ecologie Végétale

**Thème**

**Les Perturbations Climatiques et leurs Incidences Possibles  
sur l'Ecosystème Forestier de la Mahouna (Guelma)**

**Présenté par : BELDJAZIA Amina**

**Devant le jury**

**Président :**

**Pr. Mohamed El Habib Benderradji      Professeur UFM Constantine**

**Rapporteur :**

**Pr. Djamel ALATOU      Professeur UFM Constantine**

**Examineurs :**

**Dr. Kamel Eddine BAZRI      MCA      UFM Constantine**

**Pr. Rachid GHARZOULI      Professeur UFA Sétif 1**

**Pr. Mohamed FENNI      Professeur UFA Sétif 1**

**Dr. Khellaf REBBAS      MCA      UMB M'Sila**

**Année Universitaire : 2015/2016**

## **Remerciements**

*De prime abord, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et mes vifs remerciements à mon professeur **Djamel ALATOU** pour l'opportunité qu'il m'a offerte de travailler avec lui. La très haute qualité scientifique de son encadrement, sa convivialité et son enthousiasme ont été déterminants dans l'aboutissement de cette thèse.*

*Je remercie Monsieur le professeur **Mohamed El Habib Benderradji**, pour avoir accepté de présider le jury de soutenance, tout le plaisir est pour moi ; je le remercie aussi pour son disponibilité.*

*Je suis également très honoré que Monsieur **Kamel Eddine BAZRI** ait accepté de juger et de siéger dans le jury de ma thèse. Qu'il trouve ici le témoignage de ma reconnaissance et de ma respectueuse gratitude.*

*Mes vifs remerciements aussi à Messieurs les professeurs **Rachid GHARZOULI** et **Mohamed FENNI** que je respecte beaucoup ; le destin a voulu qu'ils me fassent l'honneur d'être présents dans le jury de ma thèse.*

*Je tiens également à remercier monsieur **Khellaf REBBAS** d'avoir accepté de prendre part au jury de soutenance, ses remarques et conseils me seront profitables.*

*Je ne pourrais remercier jamais assez Madame **Christiane WEBER**, directeur du Laboratoire Image, Ville, Environnement à la Faculté de géographie et d'Aménagement, université de Strasbourg et Monsieur **Aziz SERRADJ** qui m'a ouvert ses bras pour m'accueillir dans le Laboratoire et qui a mis à ma disposition l'ensemble des données images satellitaires. Il a bien m'encadrer durant mon stage. Je le remercie très vivement.*

*Mes remerciements vont également au personnel de service des forêts de Guelma notamment ; Mr **Houcine HADJAJ** (chef de circonscription des forêts de Guelma), pour son accueil chaleureux (véhicules et documentations), sa collaboration et pour nous avoir facilité la tâche durant l'expérimentation et Mr **Kamel GOUAREF** (subdivisionnaire des forêts de Guelma) pour son aide et ces conseils scientifiques sur le terrain.*

*Je tiens à exprimer toute ma gratitude à ma famille surtout mes parents et mon mari pour leur aide, conseils, soutien et leur confiance tout au long de ce travail.*

*Enfin, je veux aussi remercier tous mes amis (es) qui m'ont aidé, soutenu et supporté tout au long de ce travail. Je tiens enfin à remercier très chaleureusement tous ceux qui ont patiemment relu ce travail et m'ont aidé à le finaliser.*

## ***Dédicace***

*Je dédie cette thèse à :*

*Mes très chers parents*

*Mon très cher époux Missaoui Khaled et ma chère fille Alaa Errahmene*

*Mes très chers frères et sœurs*

*La mémoire de mes beaux Parents*

*Mes beaux frères et belles soeurs*

## **ABREVIATIONS**

Ca<sup>++</sup>: Calcium

Ch : Chaméphyte

CH<sub>4</sub>: Méthane

CO<sub>2</sub>: Dioxyde de carbone

CV: Coefficient de variation

G e : Géophyte

GES : Gaz à effet de serre

HCl : Acide chlorhydrique

H e : Hémicryptophyte

IP : Indice pluviométrique

K<sup>+</sup> : Potassium

MNA: Modèle numérique d'altitude

MNT: Modèle numérique de terrain

Mg<sup>++</sup> : Magnésium

M.O.: Matière organique

M.O.F.: Matière organique fraîche

Na<sup>+</sup> : Sodium

NDVI : Indice de végétation normalisé

N<sub>2</sub>O : L'oxyde de diazote

Pe : Pluviosité estivale

pH : Potentiel hydrogène

Ph. : Phanérophyte

PIR : Proche infra-rouge

R : Rouge

SIG: Système d'information géographique

Th : Thérophyte

TM : Thematic Mapper

TST: Température de la surface de la terre

## LISTE DES FIGURES, DES TABLEAUX ET DES PHOTOS

N°	Liste des figures	Pages
1-	Tableau schématique de la végétation dans le Haut-Atlas marocain (original). Le rectangle en tirets représente l'aire écologique assez large de <i>Quercus ilex</i> .....	10
2-	Schéma représentant les composantes du système climatique mondial (GIEC, 2007) qui jouent un rôle dans le changement climatique à l'échelle séculaire ( <i>gras</i> ), avec leurs processus et interactions ( <i>petites flèches</i> ) et certains éléments pouvant varier ( <i>grosses flèches</i> ).....	12
3-	Ecarts à la température moyenne à la surface du globe, classés par ordre décroissant, depuis 1850 jusqu'au 2008 (OMM, 2008 d'après le jeu de données de référence HadCRUT9 ; Brohan et al., 2006).....	13
4-	Tendances linéaires des températures annuelles entre 1901 et 2005 (°C par siècle) et entre 1979-2005 (°C par décennies ; Solomon et al., 2007).....	14
5-	Précipitation moyennes globales pour la période 1901-2000 (élaboration propre à partir de données de Mitchell et al., 2003).....	15
6-	Emissions mondiales de gaz à effet de serre anthropiques (a : Emissions annuelles de GES anthropiques dans le monde entre 1970 et 2004, b : Parts respectives des différents GES anthropiques dans les émissions totales de 2004, en équivalent CO <sub>2</sub> et c : Contribution des différents secteurs aux émissions totales de GES anthropiques en 2004, en équivalent-CO <sub>2</sub> (la foresterie inclut le déboisement) (GIEC, 2007).....	16
7-	Prévisions (2000-2050) des pertes en espèces de plantes à l'échelle mondiale (kirkup, 2001).....	18
8-	Schéma simplifié des principes de la télédétection.....	20
9-	Situation de la wilaya de Guelma sur un fond topographique.....	24
10-	Aspect géologique de la zone d'étude.....	27
11-	Carte des limites administratives « commune de Bendjerrah » sur fond topographique..	29
12-	Variation moyenne mensuelle des précipitations entre la période 1986 et 2015.....	31
13-	Variation des précipitations de la station de Belkheir (Guelma) pour la période 1986-2010.....	31
14-	Evolution des températures moyennes de la station de Belkheir (Guelma) durant la période 1986-2015.....	33
15-	Amplitude thermique de la région de Guelma pour la période (1986-2015).....	34
16-	Variation moyenne de l'humidité de la station de Belkheir.....	35
17-	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour la période 1986-2015 de la station de Belkheir.....	37
18-	Localisation de la zone d'étude sur image de Landsat ETM (2000) composition vraie couleur (Bandes : 3+2+1).....	49
19-	Répartition des strates du massif forestier de la Mahouna.....	50
20-	Richesse des espèces du massif forestier de la Mahouna selon les familles botaniques	51
21-	Spectre biologique du massif forestier de la Mahouna.....	52
22-	Spectre chorologique du massif forestier de la Mahouna.....	53
23-	Variation du régime saisonnier des précipitations de la station de Belkheir (Guelma) pour la période 1986-2015.....	67
24-	L'indice pluviométrique saisonnier de la quantité des pluies durant la période 1986-2015.....	70
25-	L'indice pluviométrique annuel de la quantité des pluies de la station de Belkheir (Guelma) durant la période 1986-2015.....	71
26-	Evolution des précipitations journalières saisonnières de la station de Belkheir (Guelma) pour la période 2000-2010.....	72
27-	Evolution des températures maximales moyennes mensuelles pour les quatre saisons durant la période 1986-2015.....	75
28-	Evolution des températures minimales moyennes mensuelles pour les quatre saisons durant la période 1986-2015.....	76
29-	Evolution des températures moyennes minimales et maximales journalières durant la période 2000-2010.....	77
30-	Evolution des températures maximales journalières pour la période 2000-2010.....	79
31-	Evolution des températures minimales journalières pour la période 2000-2010.....	81
32-	Cumul thermique mensuel dans la région de Guelma (2000-2010).....	82
33-	Cumul thermique annuel dans la région de Guelma (2000-2010).....	83
34-	Spectre thermique moyen saisonnier dans la région de Guelma (2000-2010).....	83
35-	Evolution des cumuls thermiques saisonniers dans la région de Guelma (2000-2010)....	84
36-	Stress au froid enregistré durant la période 2000-2010.....	85
37-	Intensité du stress au froid durant la période 2000-2010.....	86
38-	Tendances du nombre de jours du stress au froid durant la période 2000-2010.....	87
39-	Stress de chaleur durant la période 2000-2010.....	88

40-	Intensité du stress à la chaleur durant la période 2000-2010.....	89
41-	Tendances du nombre de jours du stress à la chaleur durant la période 2000-2010.....	90
42-	La sécheresse estivale d'Emberger durant la période 1986-2015.....	91
43-	Compositions colorées des bandes 5-4-3 des images LANDSAT de 1987.....	92
44-	Compositions colorées des bandes 5-4-3 des images LANDSAT de 1999.....	93
45-	Compositions colorées des bandes 6-5-4 des images LANDSAT de 2013.....	94
46-	Formations végétales (%) dans le massif forestier de la Mahouna de la période de 1987 à 2013.....	96
47-	Carte hypsométrique du massif forestier de la Mahouna.....	97
48-	Superficie des classes altitudinales du massif forestier de la Mahouna.....	98
49-	Carte des classes des pentes du massif forestier de la Mahouna.....	99
50-	Classes des pentes du massif forestier de la Mahouna.....	100
51-	Carte des classes des expositions du massif forestier de la Mahouna.....	101
52-	Classes des expositions du massif forestier de la Mahouna.....	102
53-	Visualisation du néocanal « NDVI » des images LANDSAT du mois de juillet pour les années : 1987 (a), 1995 (b), 1999 (c), 2000 (d) 2003 (e) et 2015 (f).....	104
54-	Visualisation du néocanal « NDVI » des images LANDSAT du mois de décembre pour les années : 1987 (a), 2000 (b), 2002 (c) et 2015 (d).....	105
55-	Comportement du NDVI des mêmes placettes pour divers catégories de végétation.....	107
56-	Carte de la répartition spatiale des températures de la surface du sol le 19 mai 2003..	108
57-	Variation des valeurs maximales de NDVI.....	110
58-	Corrélation entre les valeurs maximales de l'NDVI du printemps et l'indice pluviométrique printanier.....	110
59-	Corrélation entre les valeurs maximales de l'NDVI de la saison estivale et l'indice pluviométrique annuel.....	111
60-	Comparaison entre NDVI des groupements végétaux et l'intensité du stress au froid...	112
61-	Comparaison entre NDVI des groupements végétaux et l'intensité du stress à la chaleur.....	113
62-	Répartition du cheptel au niveau du massif forestier de la Mahouna.....	115
63-	Superficies incendiées durant la période 1998 à 2014 du massif forestier de la Mahouna.....	116
64-	Superficies incendiées des types de formations végétales du massif forestier de la Mahouna.....	117

**N° Liste des Tableaux Pages**

1-	Les étages de la végétation selon Quézel, Ozenda et Rivas-Martinez (Rivas-Martinez, 1981).....	8
2-	Températures moyennes mensuelles minimales (m), maximales (M), moyenne (M+m/2) et amplitude thermique (M-m) de la station de Belkheir (Guelma) (1986-2015).....	32
3-	Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s et des jours de sirocco de la station de Belkheir (période 1994-2008).....	35
4-	Résultats d'analyses physico-chimiques du profil 01.....	55
5-	Résultats d'analyses physico-chimiques du profil 02.....	58
6-	Résultats d'analyses physico-chimiques du profil 03.....	61
7-	Résultats d'analyses physico-chimiques du profil 04.....	64
8-	Résultats de l'étude statistique descriptive des précipitations saisonnières de la région de Guelma.....	68
9-	Test-t de Student pour les saisons.....	69
10-	Matrice de corrélation (Pearson).....	73
11-	Matrice de corrélation (Pearson).....	84

**N° Liste des Photos Pages**

1-	Profil pédologique dans la forêt du chêne liège.....	54
2-	Profil pédologique dans la forêt mixte du chêne liège- chêne zéen.....	57
3-	Profil pédologique dans le maquis à chêne liège.....	60
4-	Profil pédologique dans la forêt du chêne zéen.....	63

## TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	1
Chapitre 1. Synthèse bibliographique.....	4
1. Les milieux de montagne.....	4
1.1. Le climat de montagne.....	4
1.2. Les écosystèmes de montagne .....	6
2. Les changements climatiques.....	10
2.1. Le climat.....	10
2.2. Aperçu du changement climatique global.....	11
2.3. L'effet de serre, cause principale du changement climatique.....	15
2.4. Impacts observés et projetés du changement climatique.....	17
2.5. La gestion forestière face aux changements climatiques.....	18
3. Utilité de la télédétection spatiale dans les études environnementales .....	19
3.1. La télédétection des couverts végétaux.....	20
3.2. La télédétection de la température de la surface du sol.....	21
3.3. Domaines d'application de la télédétection.....	22
Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude .....	24
1. Cadre général.....	24
2. Relief et géologie.....	25
3. Réseau hydrographique .....	28
4. Limites géographiques de la zone d'étude.....	29
5. L'aspect climatique de la zone d'étude.....	30
5.1. Les précipitations.....	30
5.2. Les températures .....	32
5.3. L'humidité.....	34
5.4. Les vents.....	35
5.5. Synthèse climatique.....	36
2.6. Etagement de la végétation .....	39
Chapitre 3 : Matériel et méthodes.....	41
1. Les sources d'information .....	41
2. Préparation et traitements des données .....	43
Chapitre 4 : Résultats et discussion.....	49



1. Analyse de la végétation de la zone d'étude .....	49
1.1. Les familles botaniques.....	51
1.2. Le spectre biologique.....	51
1.3. Le spectre chorologique.....	52
2. Analyses pédologiques .....	53
2.1. La forêt dense de chêne liège .....	53
2.2. La forêt mixte du Chêne liège-Chêne zéen.....	56
2.3. Maquis à Chêne liège .....	59
2.4. La forêt du Chêne zéen .....	62
3. Etude climatique .....	65
3.1. Variation des variables pluviométriques .....	66
3.1.1. Le régime pluviométrique saisonnier .....	66
3.1.2. L'indice pluviométrique de la période 1986-2015.....	69
3.1.3. Analyse des précipitations saisonnières journalière de la période 2000-2010.....	71
3.2. Variations thermiques .....	74
3.2.1. Variabilité thermique mensuelle au cours des saisons durant la période 1986 à 2015 .....	74
3.2.2. Les tendances thermiques des saisons.....	76
3.2.3. Variabilité des températures maximales et minimales saisonnière de la période 2000-2010.....	78
3.2.4. Variabilité du cumul thermique de la période 2000-2010.....	82
3.2.5. Stress enregistrés durant la période 2000- 2010 .....	84
3.3. L'indice de sécheresse estivale d'Emberger-Giacobbe et méditerranéité .....	90
4. Etude conjointe du climat et de la végétation de l'écosystème forestier de la Mahouna par télédétection .....	91
4.1. Analyse de la dynamique des formations végétales.....	91
4.2. Description du relief du massif forestier de la Mahouna.....	96
4.3. Calcul de l'indice de végétation normalisé (NDVI) .....	102
4.4. La télédétection de la température de la surface du sol et détermination des étages bioclimatiques .....	107
4.5. Comparaison du NDVI et précipitation .....	109

4.6. Comparaison du NDVI et température stressantes .....	111
5. Les contraintes du milieu .....	114
5.1. L'impact de l'action anthropique.....	114
5.2. L'impact des incendies .....	116
Conclusion générale et perspectives .....	118
Références bibliographiques.....	123
Annexes	
Annexe 1. Liste des espèces végétales du massif forestier de la Mahouna	
Annexe 2. Stress thermique au froid	
Annexe 3. Stress thermique à la chaleur	
Annexe 4. Superficies incendies du massif forestier de la Mahouna (1998-2014)	
Résumé	

## **Introduction générale**

La région méditerranéenne bénéficie d'une biodiversité parmi les plus riches au monde (Quézel & Médail, 2003). Une portion importante de cette diversité se trouve en montagne où elle constitue d'importants peuplements forestiers. Ces arbres sont les espèces « clef de voûte » de l'écosystème forestier, ainsi que le sous-bois.

Dans le contexte des modifications environnementales globales, les écosystèmes méditerranéens et surtout certains écosystèmes montagnards sont considérés comme sensibles au changement climatique des dernières décennies (Andrade et Peña, 1993 ; Grabherr et al., 1994 ; Beniston et al., 1997 ; Beniston, 2003). Il apparaît légitime de s'interroger sur les impacts biologiques et écologiques induits par les modifications climatiques prévues devant affecter la région méditerranéenne. En effet, un récent scénario d'évolution de la biodiversité mondiale (Sala & al. 2000) indique que le bassin méditerranéen représente l'une des écorégions devant subir les changements les plus drastiques de biodiversité à l'aube de l'an 2100, en raison de l'action synergique de divers paramètres-clés (changements des modes d'usage des terres, modifications climatiques, augmentation des dépôts d'azote atmosphérique et de CO<sub>2</sub> atmosphérique).

De plus, les écosystèmes du bassin méditerranéen constituent des ensembles-modèles pour l'étude des changements globaux (Lavorel & al. 1998), car cette région représente une zone de transition sur le plan bioclimatique, où les changements climatiques devraient avoir des effets majeurs, mais contrastés selon la latitude (Barbero & Quézel 1995).

Le massif forestier de la Mahouna (Guelma) fait partie du bassin méditerranéen, et il est constitué d'une richesse floristique très importante notamment une forêt mixte de chêne liège – chêne zéen, oléolentisque, maquis et pelouses comptabilisant d'une superficie totale de 14400 ha. Sur le plan orographique, ces groupements

forestiers se répartissent entre 227m et 1411m d'altitude, dans une ambiance bioclimatique de type semi aride tempéré vers le bas et humide froid, dans des étages allant du thermo méditerranéen au supra méditerranéen.

Les variations climatiques d'une année à l'autre sont effectivement perçues, à savoir la variabilité pluviométrique et thermique sur le massif concerné. Les données de notre base de travail reposent sur l'analyse détaillée des températures tri horaires et des précipitations pour une période de 30 ans comprise entre 1986 et 2015. Les variations journalières, mensuelles, saisonnières et annuelles font l'objet d'une analyse statistique approfondie dans le but d'estimer la variabilité thermique, de déterminer un ou plusieurs indices climatiques qui pourront donner une idée précise de ces fluctuations intra – inter saisonnières et annuelles.

A partir de ces résultats, différents scénarios pourront être réalisés afin d'observer les modifications possibles des groupements forestiers (aire de répartition, dynamique, étagement des groupements,...). D'autres facteurs seront aussi déterminants (action anthropique, population riveraine, incendies,...) feront l'objet d'analyses complémentaires. Au point de vue cartographique, l'utilisation du SIG (Système d'information géographique), de photos aériennes et d'imagerie satellitaires permettra d'établir des cartes de répartition, thermique, de l'indice de végétation normalisé (NDVI) et d'autres paramètres des situations précises.

Cette thèse est structurée en quatre chapitres. Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique ; il s'intéresse aux bases théoriques fournies sur les études consacrées à la montagne et en écologie, avec une attention particulière aux études climatiques et de la végétation. On aborde aussi les changements climatiques en montagne et notamment les effets du réchauffement climatique des dernières décennies sur la végétation, ainsi on énonce les informations

nécessaires à la compréhension de la télédétection des végétaux et des variabilités climatiques.

Le deuxième chapitre consiste à présenter le terrain d'étude.

Le troisième chapitre : matériels et méthode; il est consacré à la description des différentes sources d'information utilisées dans cette étude et développe la démarche utilisée pour étudier l'évolution du climat et de la végétation dans le massif forestier de la Mahouna.

Le quatrième chapitre présentera les résultats et discussion, à savoir la richesse floristique, la pédologie du massif forestier de la Mahouna, l'analyse du climat et son évolution récente, notamment pour les températures et les précipitations, l'analyse des fluctuations de la vigueur de la végétation, à partir de données satellitaires et leurs relations avec les variabilités climatiques.

## **Chapitre 1. Synthèse bibliographique**

### **1. Les milieux de montagne**

Il n'existe pas une définition « universelle » de la montagne et nombreux sont les termes utilisés, variant selon les disciplines, les traditions et les objectifs. Du point de vue physique et biologique, les montagnes se caractérisent par des traits communs : l'altitude, la pente du terrain, des climats variés, une composition relativement élevée d'espèces endémiques, et un espace particulièrement sensible aux changements (García-Ruíz, 1990 ; Rougier et al., 2001 ; Huber et al., 2005).

Depuis quelques années, la prise de conscience que les régions de montagne sont une composante importante des écosystèmes terrestres, en terme de ressources et de services qu'elles fournissent (Beniston et al., 1997), a augmenté. Les régions montagneuses occupent un quart de la surface de la terre, avec 20% de la population mondiale. Elles sont indispensables à l'humanité car elles fournissent plus de 50 % de l'eau consommée, elles sont aussi utilisées pour l'agriculture ou l'exploitation forestière, ou encore comme espaces de loisirs, de tourisme. De plus, elles ont une valeur symbolique pour beaucoup de civilisations (Messerli et Ives, 1997 ; Kapos et al., 2000).

#### **1.1. Le climat de montagne**

Le climat de montagne est influencé par divers facteurs géographiques, telles que la latitude, l'altitude, la topographie et la continentalité. Ces facteurs modifient la distribution spatiale et temporelle du bilan énergétique, de la température et des précipitations (Barry, 1992 ; 2008). Ces facteurs modifient les éléments du climat tels que la température, la pression atmosphérique, les vents et les précipitations.

Les effets de la topographie sur les flux d'air interviennent grâce à plusieurs caractéristiques de base de tout élément du relief. Les dimensions générales et l'orientation d'une chaîne de montagnes par

rapport aux vents dominants sont importantes pour les processus à grande échelle, la forme du terrain est particulièrement importante à l'échelle régionale, tandis que la pente et l'orientation sont la cause de la différenciation locale du climat (Barry, 1992 ; Guyot, 1999). En montagne, l'effet de la pente et de l'orientation sur le rayonnement solaire, la vitesse et direction du vent est, de loin, plus important qu'à basse altitude (Wieser, 2007).

### **1.1.1. Les températures en montagne**

La température est, peut-être, l'aspect le plus important des climats de montagne. En général, elle diminue avec l'altitude car la raréfaction de l'air limite l'absorption des radiations solaires, ce qui est une conséquence directe de la baisse de la pression atmosphérique avec l'altitude (Thouret, 1984). Il est admis un gradient thermique moyen d'environ 0,55°C pour 100 mètres d'élévation. Toutefois, il faut considérer que dans une région considérée a priori comme thermiquement homogène pour une période donnée, l'altitude, la position topographique, les masses d'air et l'exposition du versant conditionnent la répartition des températures dans l'espace (Douguedroit et De Saintignon, 1984).

La diminution de température avec l'altitude s'exprime par l'étagement de la végétation et par la présence de neiges éternelles aux altitudes élevées.

### **1.1.2. Les précipitations en montagne**

En général, la quantité et l'intensité des précipitations sont très variables et fortement influencées par la direction du vent dominant et par les caractéristiques du relief (altitude, pente et orientation). De plus, les effets des montagnes sur les mouvements d'air dépendent de la taille, longueur et largeur de l'édifice, ainsi que de l'espacement entre les crêtes (phénomène d'abri).

Il est admis que l'altitude influence fortement la répartition spatiale des précipitations en montagne. D'après Smith (2006), les

montagnes modifient et souvent amplifient les précipitations. En effet, comme conséquence de l'altitude et du refroidissement de l'air, les précipitations sont de plus en plus importantes du côté exposé au vent et augmentent aussi avec l'altitude (Bonacina, 1945; Barros et Lettenmaier, 1994 ; Konrad, 1996 ; Sevruk, 1997 Brunson et *al.*, 2001). En fait, l'ascendance des masses d'air humide provoque une dilatation et un refroidissement de l'air ayant comme conséquence l'augmentation de l'humidité relative, créant des nuages et des précipitations (Smith, 1979 ; Barry, 1992). Il s'agit du mécanisme provoquant les précipitations orographiques le long des versants exposés au vent (Douguedroit et De Saintignon, 1984).

Toutefois, il est impossible d'établir une règle pour toutes les montagnes car la distribution des précipitations est assez complexe (Yang et *al.*, 2007 ; Sokol et Bliznak, 2009). La relation entre les précipitations et l'altitude dépend fortement de la qualité et représentativité des données car la plupart des stations météorologiques en montagne sont localisées dans les vallées et ne sont presque pas disponibles sur les versants ou à proximité des crêtes (Sevruk, 1997).

En ce qui concerne les types de précipitations, à peine 5 % des précipitations de la planète tombent au sol sous forme de neige (Rees, 2006). Cette proportion augmente à plus de 50 % en régions polaires et aussi dans certaines chaînes de montagnes (Liboutry, 1956).

## **1.2. Les écosystèmes de montagne**

Du point de vue biologique, les montagnes concentrent une haute biodiversité comme conséquence de l'hétérogénéité topographique et géologique et de l'équivalent d'une compression des zones climatiques (Korner et Spehn, 2002). Ces écosystèmes, regroupent un ensemble complexe de ressources naturelles étroitement interdépendantes dans l'espace et dans le temps (FAO, 2000).

Les montagnes représentent un milieu très particulier, un complexe d'écosystèmes dans lesquels les plantes se sont adaptées avec des



structures et des mécanismes biologiques propres. Parmi les facteurs les plus importants qui déterminent les adaptations des plantes de montagne, on trouve la température, les précipitations, la radiation solaire et les vents. Ces éléments agissent ensemble, par un système complexe de facteurs qui influencent la végétation (Billings et Bliss, 1959 ; Galen et Stanton, 1995).

En montagne, cette diversité biologique, et plus spécifiquement les plantes, sont caractérisées essentiellement par leur répartition altitudinale. La plupart des espèces sont limitées à des plages d'altitude bien définies, formant des communautés de plantes typiques, (Gottfried et *al.*, 1999) réunies par étages. Cet étagement résulte de gradients dans les facteurs climatiques, et en premier lieu celui de la température, en fonction de l'altitude (Ozenda, 2002).

### **1.2.1. L'étagement de la végétation**

La zonation altitudinale de la végétation, c'est-à-dire le changement de composition et de structure des écosystèmes en fonction de l'altitude, est un des traits les plus caractéristiques de la végétation en montagne. La notion d'étages de végétation a fait l'objet de nombreux travaux en régions de montagne. Elle a une spécificité à la fois biogéographique et écologique (Rivas-Martinez, 1981 ; Quézel et Barbero, 1989 ; Ozenda, 2002).

D'un point de vue phytogéographique, un étage correspond à un découpage macroclimatique altitudinal fondé sur des critères physiologiques et pluviométriques relativement statiques à l'échelle régionale (Thouret, 1984).

Les forêts méditerranéennes ont tendance à s'organiser en niveaux altitudinaux ou étages de végétation successifs. Cette zonation altitudinale répond essentiellement à des critères thermiques (particulièrement m) (Quézel et Médail, 2003).

Quézel (2002) dresse un tableau comparatif des principaux étages de végétation retenus par les différents auteurs pour la région méditerranéenne (tab.1).

**Tableau 1 : Les étages de la végétation selon Quézel, Ozenda et Rivas-Martinez (Rivas-Martinez, 1981).**

Critères thermiques		Étages de végétation			
T	m	Hivers DAGET (1977)	QUÉZEL (1979)	OZENDA (1975)	RIVAS-MARTÍNEZ
8	-11	Extremement froid	Alti- Méditerranéen	Alti- méditerranéen	Cryoro- méditerranéen
	-10		Oro- méditerranéen		
	-9				
	-8				
	-7				
	-6	Très froid	Montagnad- méditerranéen	Oro- méditerranéen	Oro- méditerranéen
	-5				
	-4				
	-3	Froid	Supra- méditerranéen	Supra- méditerranéen	Supra- méditerranéen
	-2				
12	0				
16	1	Fraiche	Meso- méditerranéen	Meso- méditerranéen	Meso- méditerranéen
	2				
	3	Tempérée	Thermo- méditerranéen	Thermo- méditerranéen	Thermo- méditerranéen
	4				
	5				
6	Chaude				
7					
8					
	9				

Selon, la terminologie proposée par cet auteur et en fonction des critères thermiques les étages de végétation sont :

L'étage infra-méditerranéen: m entre +7 et +3°C, bien représenté en Afrique du Nord. Il s'étend du niveau de la mer jusqu'à 500-600 m d'altitude sur littorale et jusqu'à 1000m à l'intérieur des terres. L'Olivier, le Caroubier, le Lentisque, le Pin d'Alep, Pin brutia et le Thuya de berberie y dominant.

L'étage méso-méditerranéen : (appelé aussi eu-méditerranéen) m entre 0 et 3°C, localisé entre 400-500 m et 800-1000 m d'altitude sur le littorale et le sub-littorale des pays Nord-africains et entre 1200-1400m plus au Sud dans l'Atlas tellien et saharien. Dans cet étage c'est les

forêts des chênes sclérophylles qui dominent, on peut également y trouver les chênes caducifoliés et quelque conifère méditerranéen en bioclimats humides.

L'étage supra-méditerranéen : s'étend entre 400-500 m et 800-900 m et jusqu'à 1400-1500 m en Afrique du Nord, les valeurs du m sont comprises entre 0 et -3°C, en bioclimats sub-humide les chênes sclérophylles dominent avec un cortège floristique particulier, en bioclimats humides c'est plutôt les chênes caducifoliés qui dominent.

L'étage montagnard méditerranéen : s'étend généralement entre 1600-1800m et 2300-2500m en Afrique du nord, les valeurs de m entre -3 et -7°C. C'est l'étage de développement optimal des conifères méditerranéens (Genévrier thurifère, Cèdre, Sapins méditerranéens et Pin noir).

L'étage oroméditerranéen : se trouve au-delà de 2200-2500m sur les hautes montagnes méditerranéennes ou m est inférieure à -7°C. Il est essentiellement constitué par des formations à xérophytes épineux en coussinets.

L'Atlas est le plus imposant des systèmes montagneux du Bassin méditerranéen, le seul qui dépasse 4000 m d'altitude et 2000 km de long. Sa largeur est en rapport avec ses autres dimensions, puisqu'il est formé en réalité de deux chaînes distinctes en Algérie et de quatre au Maroc. Bien que les parties les plus élevées de l'Atlas soient situées près de la façade atlantique de l'Afrique du Nord, il s'agit pourtant d'un ensemble indiscutablement méditerranéen, car le climat méditerranéen, y compris ses formes arides, intéresse la quasi-totalité du territoire marocain et il en est de même pour la flore dans laquelle seuls quelques éléments de souche macaronésienne ou tropicale, dont le plus connu est l'Arganier, atteignent les premières pentes du Haut-Atlas. La végétation du système atlasique est beaucoup plus complexe ; ainsi une quinzaine au moins d'espèces arborescentes correspondent à un nombre encore plus élevé d'associations climaciques. Dans le Moyen Atlas, l'étagement s'arrête avec l'Altiméditerranéen inférieur ; dans le Rif et en Algérie, il ne dépasse pas le sommet de l'Oroméditerranéen (fig.1) (Ozenda, 1975).

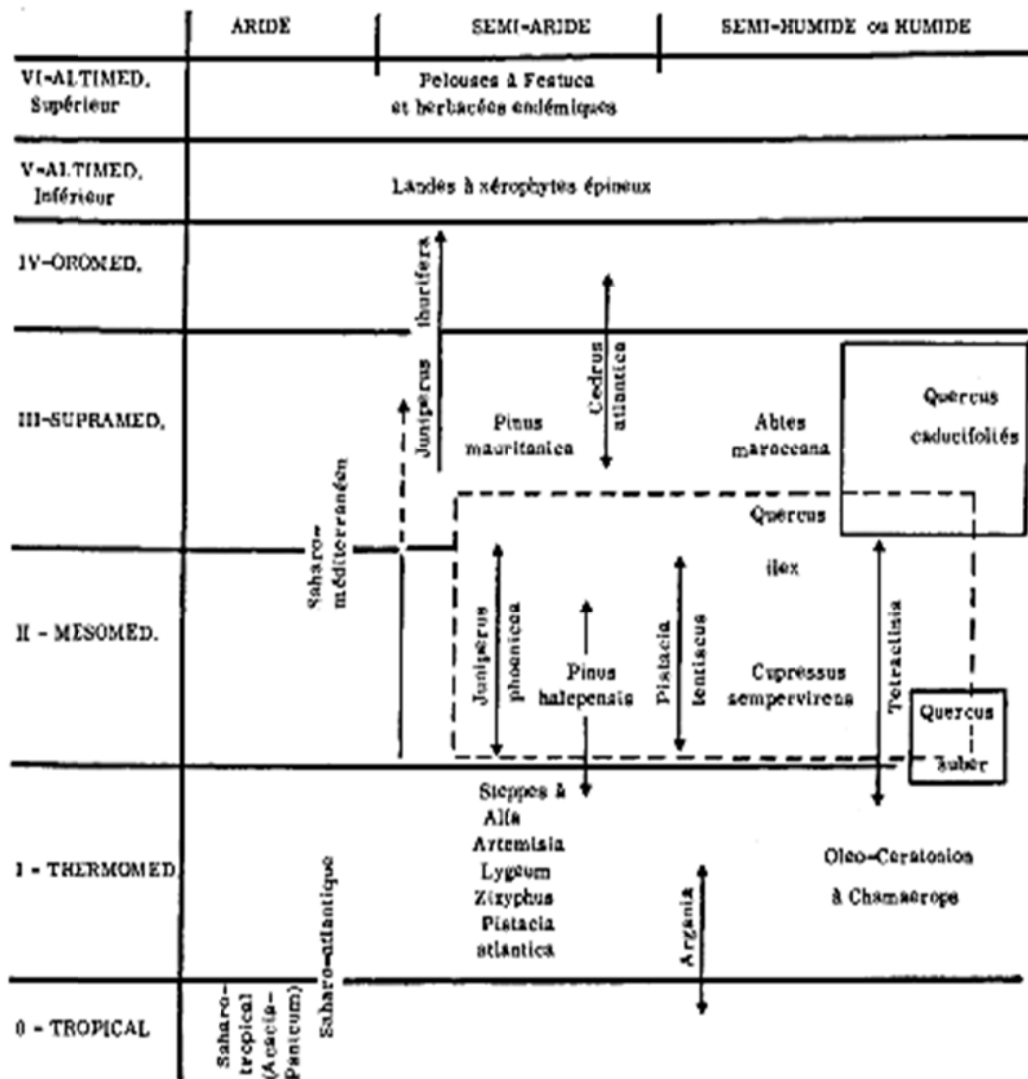


Figure 1 : Tableau schématique de la végétation dans le Haut-Atlas marocain (original). Le rectangle en tirets représente l'aire écologique assez large de *Quercus ilex*.

## 2. Les changements climatiques

### 2.1. Le climat

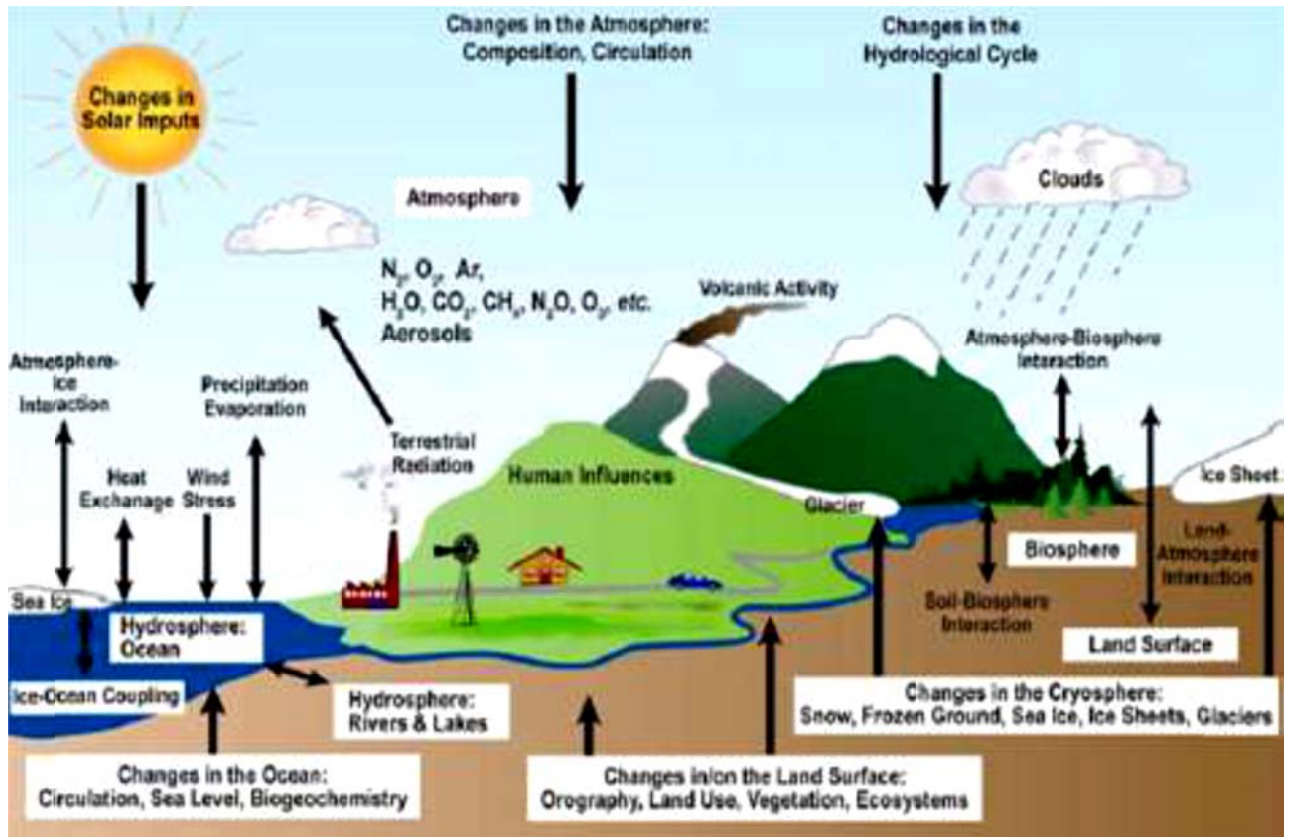
Le climat n'est pas une donnée immuable conditionnée par la forme de notre planète et sa position dans le système solaire. Les climatologues le définissent comme l'ensemble des paramètres statistiques de la distribution des variables météorologiques sur une période conventionnelle de 30ans. Cette définition n'exclut pas que sur un siècle le climat puisse évoluer, mais ne permet pas d'appeler « changement de climat » des changements d'une année ou d'une

décennie sur l'autre. Les mesures faites au cours du 20<sup>e</sup> siècle montrent que le climat a changé en de nombreuses régions du globe et se traduit par une augmentation indéniable de la température (Déqué, 2007).

## **2.2. Aperçu du changement climatique global**

Les questions sur la stabilité du climat, au-delà de sa variabilité que l'on pourrait qualifier de naturelle, ne datent pas d'aujourd'hui, et les progrès des sciences ont permis progressivement d'en reconstituer l'histoire marquée par des fluctuations de grande ampleur (Acot, 2003). Le climat a connu de fortes variations au cours de l'histoire de la Terre. Pendant les deux derniers millions d'années, il a connu tour à tour des périodes glaciaires et des périodes chaudes - dites interglaciaires (Cheddadi et al., 1998). Pour en rester à l'épisode le plus récent (l'holocène) qui a suivi la dernière grande glaciation, il s'est traduit par un retour à des conditions moins froides, en gros supérieures de 4 à 5°C en température moyenne globale, qui sont restées globalement stables (dans une fourchette de 1°C à 2°C) depuis environ 12 000ans. Et ceci malgré des fluctuations locales assez rapides ou des variations plus globales.

Les facteurs qui régissent la variabilité du système climatique sont en rapport avec, les fluctuations des concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols, les changements de l'orbite terrestre et de la production solaire, les cycles des tâches solaires, et les éruptions volcaniques (fig.2).



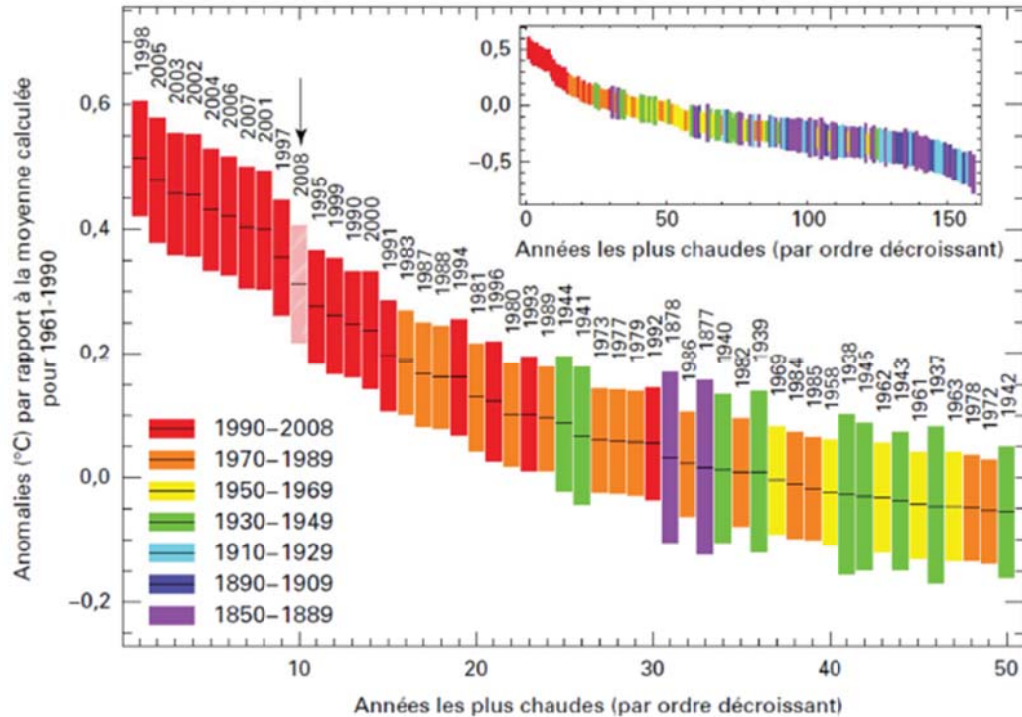
**Figure 2: Schéma représentant les composantes du système climatique mondial (GIEC, 2007) qui jouent un rôle dans le changement climatique à l'échelle séculaire (*gras*), avec leurs processus et interactions (*petites flèches*) et certains éléments pouvant varier (*grosses flèches*).**

### 2.2.1. Variabilité des températures

Au cours du XXe siècle, la température moyenne globale de la terre, en surface, a augmenté de  $0,74^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,18^{\circ}\text{C}$ ), estimée à partir d'une tendance linéaire au cours des 100 dernières années. Le taux de réchauffement au cours des 50 dernières années ( $0,13^{\circ}\text{C} \pm 0,03^{\circ}\text{C}$  par décennie) est près du double de celui des 100 dernières années ( $0,07^{\circ}\text{C} \pm 0,02^{\circ}\text{C}$  par décennie) (Solomon et *al.*, 2007).

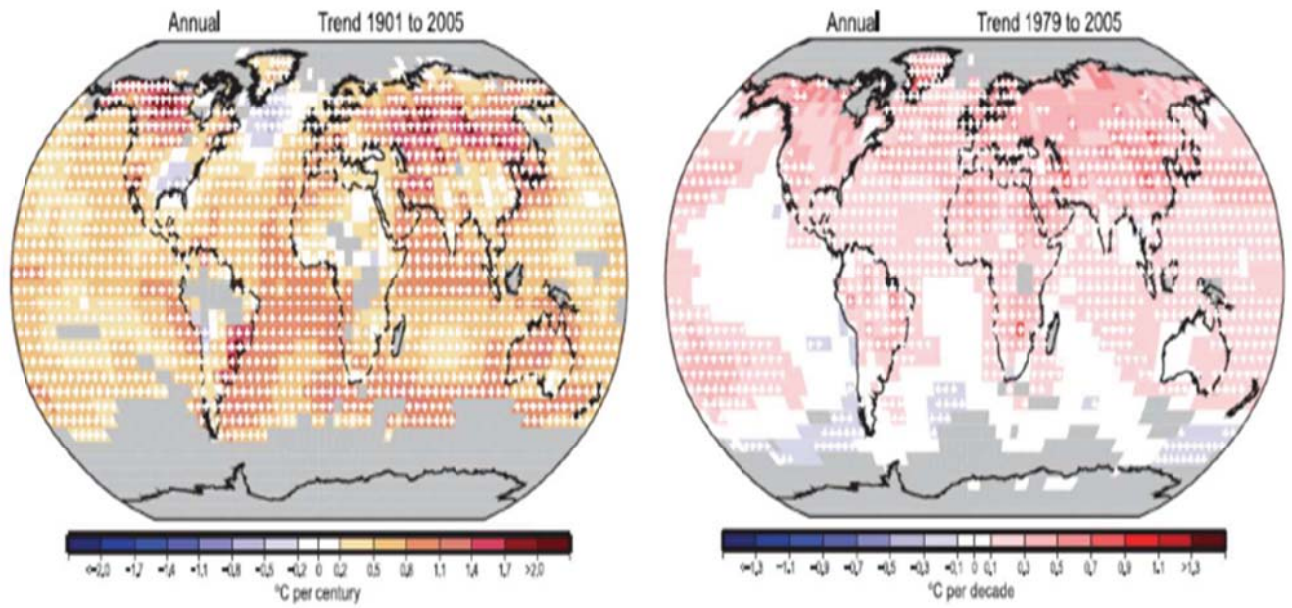
Même si les méthodes de calcul des températures sont différentes (Hansen et *al.*, 1999 ; Smith et Reynolds, 2005 ; Brohan et *al.*, 2006), les tendances restent assez similaires pour l'ensemble de la planète.

D'après le Centre Hadley du Service Météorologique du Royaume-Uni (Brohan *et al.*, 2006), les dix années les plus chaudes de la planète, depuis le milieu du XXe siècle, ont été enregistrées après 1995 (fig. 3). La température moyenne à la surface du globe présentait une anomalie positive de 0,3°C entre 1977 et 2007. Cette valeur s'élève à 0,49°C pour les dix dernières années.



**Figure 3 : Ecart à la température moyenne à la surface du globe, classés par ordre décroissant, depuis 1850 jusqu'au 2008 (OMM, 2008 d'après le jeu de données de référence HadCRUT9 ; Brohan *et al.*, 2006).**

Du point de vue spatial, les tendances annuelles sont nettement différentes selon la région observée. De plus, les tendances, pour un même lieu, peuvent être assez différentes selon la période d'observation, surtout pour de courtes périodes (fig. 4).

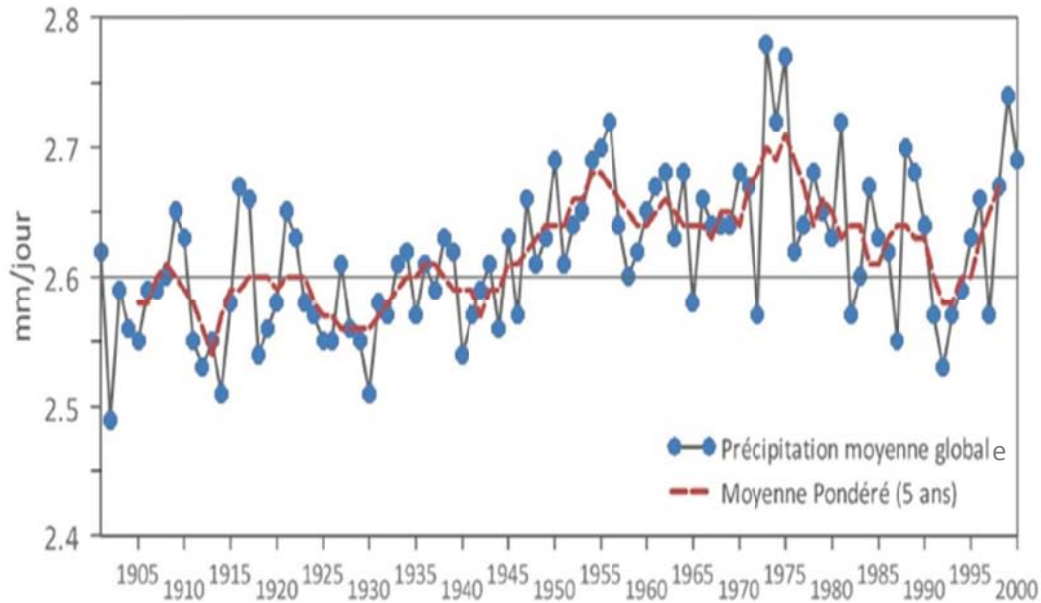


**Figure 4 : Tendances linéaires des températures annuelles entre 1901 et 2005 (°C par siècle) et entre 1979-2005 (°C par décennies ; Solomon et al., 2007).**

### 2.2.2. Variabilité des précipitations

D'autres éléments du climat, tels que la direction et vitesse du vent, la nébulosité, l'humidité et les précipitations, varient eux aussi dans le temps et dans l'espace. En relation avec les précipitations, une tendance générale au niveau planétaire est plus difficile à établir. La figure 5 illustre la variabilité de la moyenne des précipitations journalières pour l'ensemble des terres de la planète. La tendance linéaire observée n'est pas statistiquement significative (Solomon et al., 2007). La courbe montre une augmentation globale jusqu'aux années 1950, un petit déclin jusqu'au début des années 1990, puis une reprise. Cependant, encore une fois, le phénomène est difficile à interpréter car le signal est composé d'anomalies régionales de signe opposé (Solomon et al., 2007).





**Figure 5 : Précipitation moyennes globales pour la période 1901-2000 (élaboration propre à partir de données de Mitchell et al., 2003).**

En ce qui concerne la neige, des observations de satellite et de surface ont indiqué une sensible diminution, les dernières décennies, de l'extension annuelle de la couverture nivale dans l'hémisphère nord, particulièrement pendant les printemps (Robinson et al., 1993 ; Groisman et al., 1994 ; Easterling et al., 2000). Cette diminution est d'environ 10 % depuis les années 1960 (Rosenzweig et al., 2007).

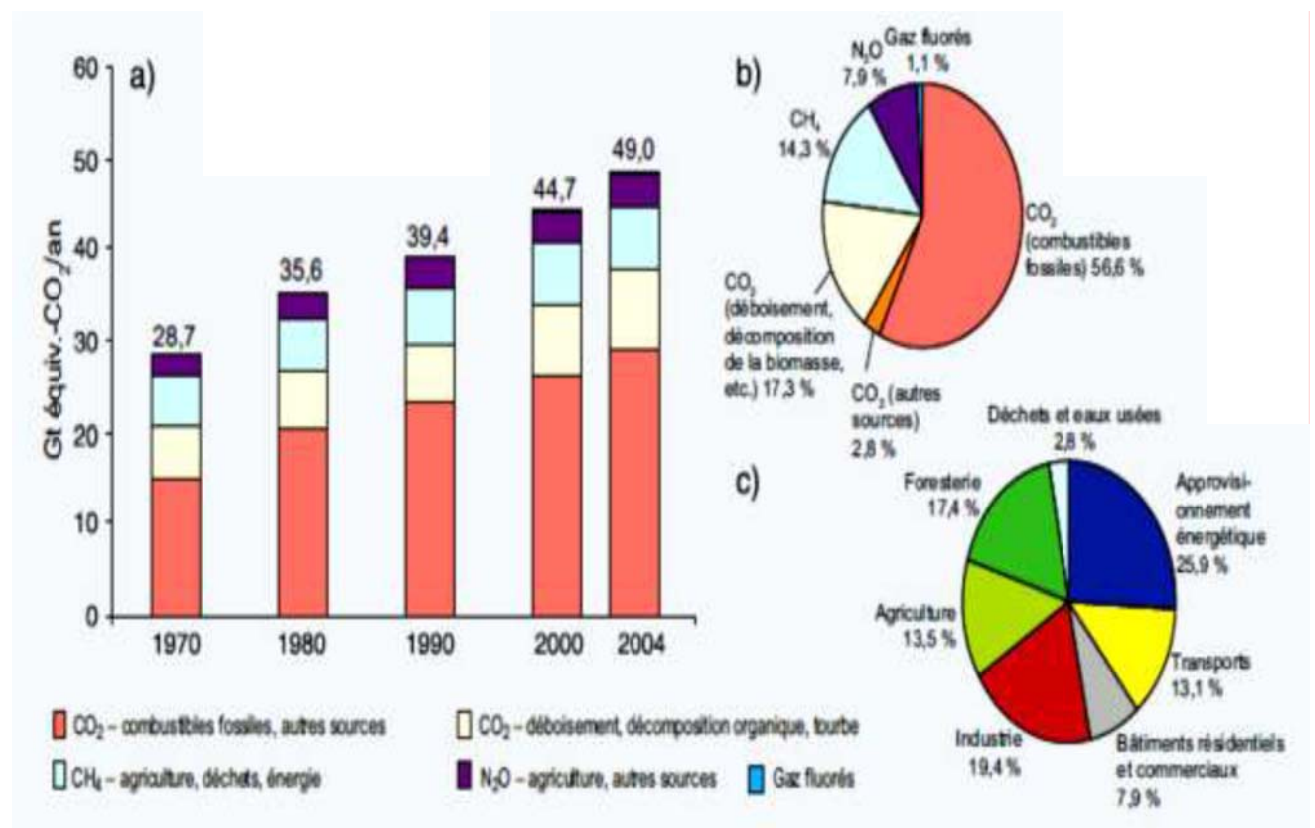
### **2.3. L'effet de serre, cause principale du changement climatique**

Beaucoup de recherches ont porté sur cette question, dont la réponse est devenue de plus en plus certaine avec le temps : « la majeure partie du réchauffement observé ces cinquante dernières années est imputable aux activités humaines » (Albritton and Filho, 2001); ce qui revient à dire qu'on ne peut expliquer le récent changement climatique qu'en prenant en compte les effets de concentrations atmosphériques croissantes de gaz à effet de serre.

Les gaz à effet de serre (GES) comme la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>) et l'oxyde de diazote (N<sub>2</sub>O) sont émis par des processus naturels, notamment la décomposition et la

respiration des plantes, les éruptions volcaniques et les flux des océans. Une fois dans l'atmosphère, ces gaz piègent et reflètent la chaleur vers la surface de la terre, selon un processus connu sous le nom d'effet de serre, qui est nécessaire pour le maintien de températures autorisant la vie sur terre.

Toutefois, au cours du siècle dernier, les activités anthropiques comme la combustion des combustibles fossiles et les changements d'affectation des terres ont considérablement accru les concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère (fig. 6).



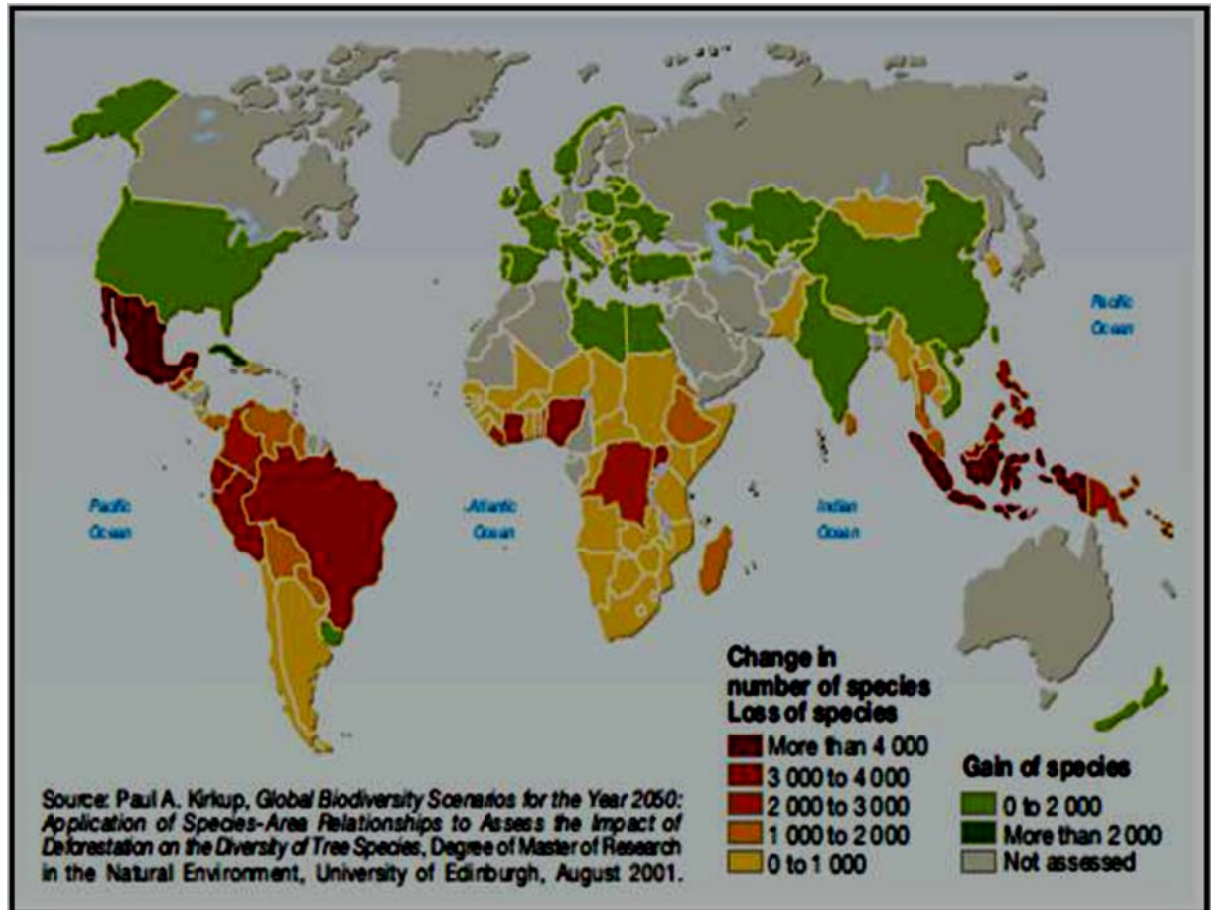
**Figure 6 : Emissions mondiales de gaz à effet de serre anthropiques (a : Emissions annuelles de GES anthropiques dans le monde entre 1970 et 2004, b : Parts respectives des différents GES anthropiques dans les émissions totales de 2004, en équivalent CO<sub>2</sub> et c : Contribution des différents secteurs aux émissions totales de GES anthropiques en 2004, en équivalent-CO<sub>2</sub> (la foresterie inclut le déboisement) (GIEC, 2007).**

#### **2.4. Impacts observés et projetés du changement climatique**

Les effets observés et probables selon GIEC (2007), indique que le changement climatique devrait se traduire par des transformations dans les répartitions géographiques des espèces végétales et animales en raison des modifications que subirait leur environnement. Ces transformations auront des conséquences sur le monde naturel et sur les biens et services fournis par les écosystèmes, comme par exemple l'eau et la nourriture.

Au fur et à mesure que les températures augmentent et que d'autres effets du changement climatique s'intensifient, les environnements seraient susceptibles de changer trop vite pour que les espèces aient le temps de s'adapter ou de migrer vers un autre environnement plus favorable. De même, les effets d'événements météorologiques extrêmes fréquents et intenses engendreront des urgences et des régressions en termes de développement. Toutefois les conséquences varieront selon l'adaptation, la vitesse de changement des températures et les choix socioéconomiques.

Environ 20 à 30% des espèces seront confrontées à un risque accru d'extinction si le réchauffement global moyen dépasse 1,5 à 2,5°C. Lorsque la hausse moyenne de la température globale dépasse 3,5°C, les projections de modèles prévoient l'extinction massive de 40 à 70% des espèces connues à la surface du globe. Il s'agit de l'un des impacts irréversibles du changement climatique (fig. 7).



**Figure 7 : Prévisions (2000-2050) des pertes en espèces de plantes à l'échelle mondiale (kirkup, 2001).**

## 2.5. La gestion forestière face aux changements climatiques

Les forestiers doivent se préparer à des modifications profondes des écosystèmes sur lesquels ils travaillent, perturbations qui semblent inéluctables alors même que les modalités de leur apparition sont encore très mal connues. Devant le double écueil de l'immobilisme ou de l'activisme maladroit, l'urgence est de construire une stratégie technique cohérente, fondée sur des résultats scientifiques, à réviser périodiquement en fonction de l'avancement des connaissances, ainsi qu'il faut sérier les risques.

La première question des praticiens, se porte souvent sur le choix des essences ou des provenances. La révision du choix des essences objectif peut apparaître en effet comme la mesure d'adaptation la plus concrète au changement climatique dès maintenant, à l'occasion des mises en régénération, ou lorsque se manifesteront des signes de souffrance. On peut envisager à nouveau l'emploi d'espèces exotiques

de reboisement, comme le cèdre de l'Atlas, particulièrement résistant à la sécheresse, voire en rechercher de nouvelles, comme il faut installer des essences adaptées aux cartes climatiques de 2050, ou de 2100.

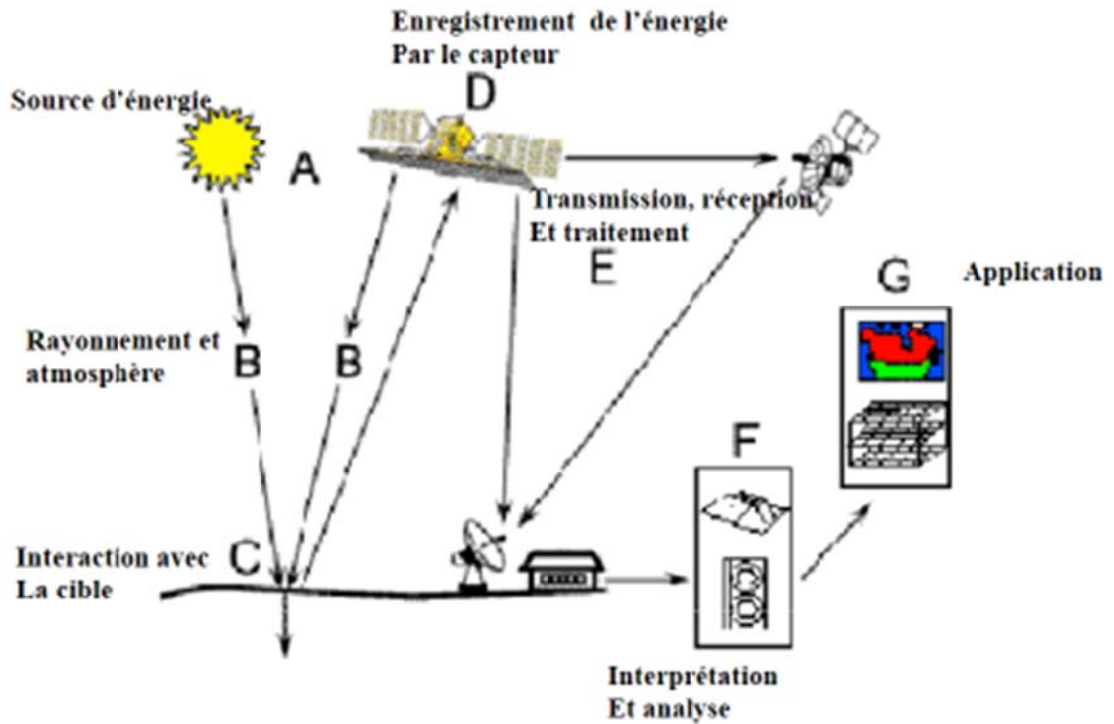
Aucune action pertinente ne peut être entreprise sans un travail de fond d'évaluation des risques encourus par les différentes essences (en particulier les espèces sociales formant l'ossature des peuplements) (Legay et al., 2007).

### **3. Utilité de la télédétection spatiale dans les études environnementales**

La télédétection est une discipline qui cherche à obtenir des informations de la Terre en utilisant des images acquises par des satellites ou des plateformes aériennes et en se servant de la radiation électromagnétique émise ou réfléchiée par la surface terrestre (Lillesand et Kiefer, 1994 ; Chuvieco, 1996).

L'utilisation de données issues de la télédétection peut offrir un cadre méthodologique approprié pour la caractérisation et le suivi des changements spatio-temporels de l'environnement (Singh et al., 2004 ; Paegelow et Camacho, 2008), tel que le suivi de la couverture végétative ainsi que la température de la surface du sol dans un écosystème forestier.

La télédétection utilise les propriétés physiques des objets pour acquérir des informations sur leur nature. Ceci implique une interaction entre l'énergie qui est transmise par le rayonnement électromagnétique et les objets. Pour la plupart des plates-formes satellitaires, cette énergie est enregistrée par un capteur et transmis à une station de réception, sous forme d'une image numérique (Lillesand et Kiefer, 1994) (fig. 8).



**Figure 8 : Schéma simplifié des principes de la télédétection (Lillesand et Kiefer, 1994).**

### 3.1. La télédétection des couverts végétaux

L'étude de la végétation par l'imagerie satellitaire est permise par les caractéristiques spectrales des plantes. En effet, les végétaux ont des comportements particuliers vis-à-vis de la réflectance dans le spectre électromagnétique. Dans le domaine du visible (400 - 700 nm), le rayonnement est en majeure partie absorbé par les pigments foliaires (chlorophylle, carotène). Ainsi, la réflectance est d'autant plus faible que la photosynthèse est importante (Fisher, 1991).

Dans le domaine du proche infrarouge (700 - 1300 nm), les pigments des feuilles ainsi que la cellulose sont transparents. Le rayonnement reçu est donc soit réfléchi, soit transmis. En augmentant les longueurs d'onde du visible au proche infrarouge, on passe d'une réflectance très faible à une réflectance proche de 40%. Dans le domaine de l'infrarouge moyen, la réflectance des plantes est surtout affectée

par leur teneur en eau (Girard et Girard, 1999). Ainsi, les bandes rouges (R) et proche infrarouge (PIR) montrent une faible dépendance face aux conditions atmosphériques, la première coïncide avec une forte absorption du rayonnement, la seconde offre une réflectance élevée (Tucker, 1979 ; Caloz et Collet, 2001).

Ainsi, il est possible de construire des indices à partir d'une combinaison simple ou complexe de bandes spectrales. Les combinaisons de ces bandes ont de bonnes capacités discriminantes et révèlent des propriétés particulières des végétaux, par exemple leur contenu en chlorophylle (Tucker, 1979). Cet écart (entre R et PIR) a conduit à la fabrication de nombreux indices de végétation faisant ressortir la valeur de cette différence afin de mesurer l'activité photosynthétique de la plante (Girard et Girard, 1999).

L'utilisation de données spectrales fournies par les satellites, telles que Landsat4-5TM, Landsat7 ETM+ et Landsat8, a été recommandé pour l'étude de la dynamique de la végétation régionale.

### **3.2. La télédétection de la température de la surface du sol**

La température de surface de la terre (TST) est un paramètre important dans les études environnementales. Elle représente une manifestation de la balance énergétique de la surface de la terre (Kerr et al., 2005). C'est l'un des paramètres clés contrôlant les processus physiques, chimiques et biologiques à l'interface entre la terre et l'atmosphère (Srivastava et al., 2009 ; Weng et al., 2008b).

L'utilisation de la télédétection thermique offre une possibilité unique pour récupérer des données uniformes et globales de la température sur des vastes portions de la surface de la terre. L'obtention de la température de l'espace nécessite cependant la prise en compte de divers paramètres liés à l'atmosphère et à la surface. Malgré la complexité d'extraction d'une information précise de la température, les images thermiques proposent des moyens pour acquérir, à différentes résolutions spatiales et temporelles, des

informations intéressantes (Srivastava et al., 2009 ; Weng et al., 2008b).

### **3.3. Domaines d'application de la télédétection**

La télédétection s'applique à toutes les disciplines qui nécessitent d'appréhender la répartition spatiale d'un phénomène, soit pour déterminer un état à un instant donné, soit pour suivre une évolution plus au moins rapide d'un phénomène (Kergomard, 2000).

Le premier grand domaine d'application de la télédétection a été l'étude de l'atmosphère (météorologie et climatologie). L'intérêt de la télédétection dans ce domaine est d'assurer le suivi de l'évolution spatio-temporelle de la couverture nuageuse, mesurer la température, vapeur d'eau et précipitations...

En océanographie, et ressources marines, la télédétection offre l'avantage de permettre une analyse de la couleur de l'océan (estimation de la production biologique, turbidité), et une étude de la dynamique et caractéristique des mers et océans (températures et altitude de surface, vagues et vents, turbidité des côtes, ..), elle permet également la surveillance des glaciers et des icebergs.

Les applications terrestres de la télédétection sont extrêmement variées. Elles vont de l'agriculture (rendements des cultures, réponses de la végétation à certaines contraintes environnementales,..), foresterie (cartographie forestière, estimation de certaines caractéristiques dendrométriques des peuplements forestiers, défoliation et état sanitaire, ...) et hydrologie (spatialisation de l'intensité des pluies, couverture végétale, ...), à l'urbanisme et l'aménagement (cartographie de l'occupation du sol, ...) , cartographie régulière et thématique, géologie (reconnaissance de la nature pétrographique des surfaces dépourvues de couverture végétale, suivre la dérive des continents, les anomalies thermiques liées aux zones tectoniques..), prospection minière, géomorphologie et structurale (identification des réseaux de failles et donc la détermination des

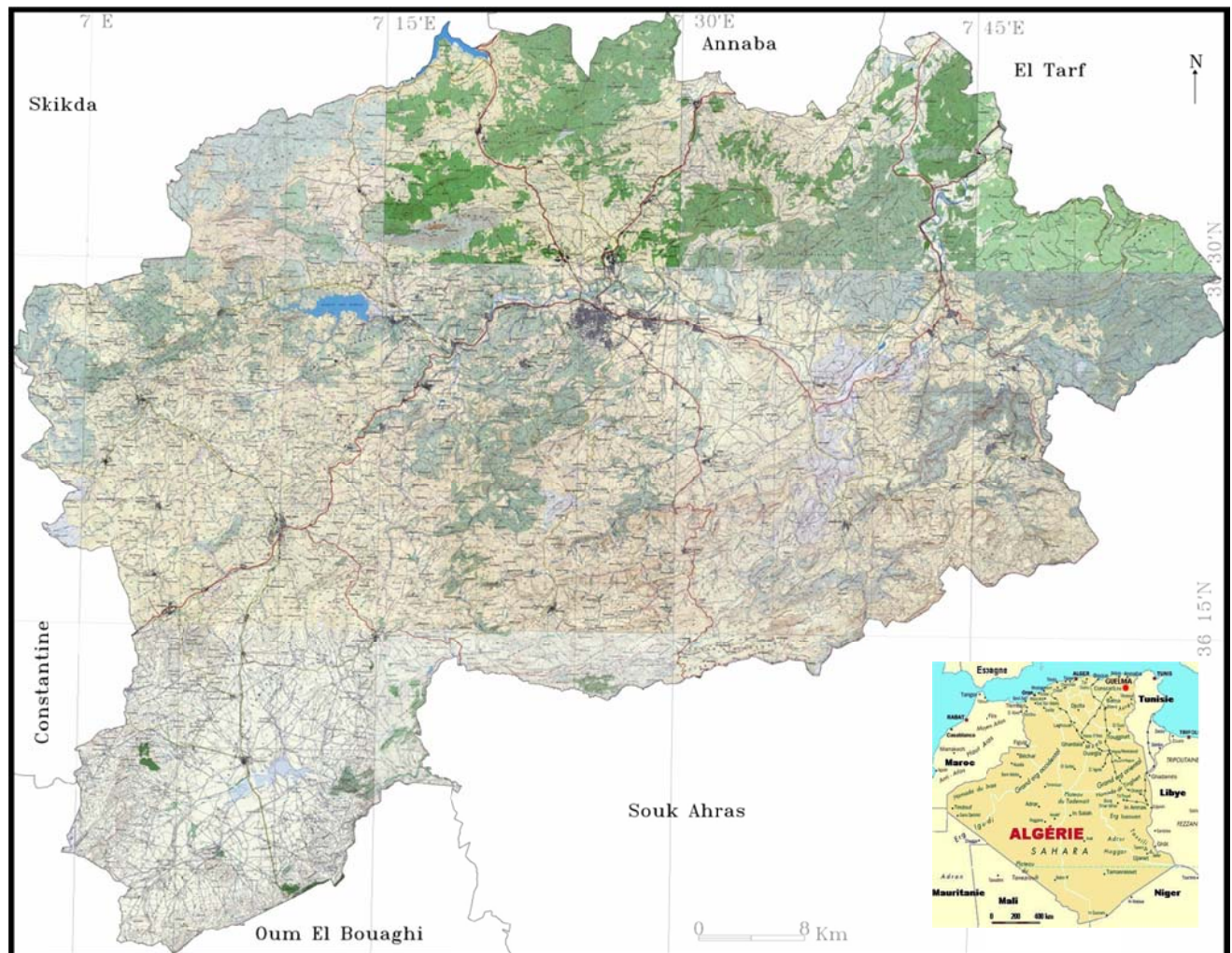


orientations préférentielles de rupture) et risques naturels (dresser des "cartes des risques" pour certaines régions menacées par les cyclones, séismes, volcans, mouvements de terrains, sécheresse,.. ) (Kergomard, 2000).

## **Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude**

### **1. Cadre général**

Notre zone d'étude se situe au Nord-Est de l'Algérie dans la wilaya de Guelma, elle occupe une position géographique stratégique, en sa qualité de carrefour reliant le littoral des Wilaya de Annaba, El Tarf et Skikda, aux régions intérieures telles que les Wilaya de Constantine, Oum El Bouagui et Souk-Ahras et la proximité du territoire Tunisien à l'Est (fig. 9).



**Figure 9 : Situation de la wilaya de Guelma sur un fond topographique.**

La wilaya de Guelma s'étend sur une superficie de 3.686,84 Km<sup>2</sup> et abrite une population (Estimée à fin 2009) de 494079 Habitants dont 25 % sont concentrés au niveau du Chef Lieu de Wilaya. Elle se caractérise par un relief diversifié, une importance de la couverture forestière et le passage de l'oued Seybouse ; elle est à vocation agro-sylvo-pastorale avec la présence d'une couverture forestière relativement importante (12%), la superficie agricole de 35% et la dominance de maquis et broussailles.

## **2. Relief et géologie**

La géographie de la wilaya se caractérise par un relief diversifié dont on retient essentiellement :

- Montagnes : elles constituent 37.87% dont les principales sont :

\* Mahouna avec une altitude de 1411m

\* Haoura avec 1292m d'altitude

\* Taya avec 1208m d'altitude

\* D'Bagh avec 1060 m d'altitude.

- Plaines et plateaux : ils constituent 27.22% de la superficie de la wilaya.

- Collines et Piémonts : qui constituent 26.29% de la superficie totale, plus autres types de relief constituant 8.67% (DUCG, 2007).

La région de Guelma englobe toute la partie médiane du Nord vers le Sud du territoire de la Wilaya. Elle est organisée en auréole, tout autour de la plaine centrale constituée de terrasses alluviales, qui s'étale le long de l'Oued (la vallée de la Seybouse). Elle est la région la plus étendue du territoire de la Wilaya.

Cette région se caractérise aussi par une importante couverture forestière au Nord et à l'Est, par contre, la partie Sud souffre de dégradations répétées d'où une absence de couverture forestière

fournie en dépit du caractère montagneux de cette sous région, d'où une grande vulnérabilité (l'érosion) (Web 1, 2011).

L'aspect des formations géologiques est formé par les argiles et les grès numidiens. La roche mère est composée en majorité des roches sédimentaires à base de silice et de grès numidiens qui couvre une grande superficie. Le sol profond est à dominance argilo-siliceuse qui possède une certaine rétention en eau, dans d'autres endroits on trouve des sols squelettiques de faible profondeur (fig. 10).

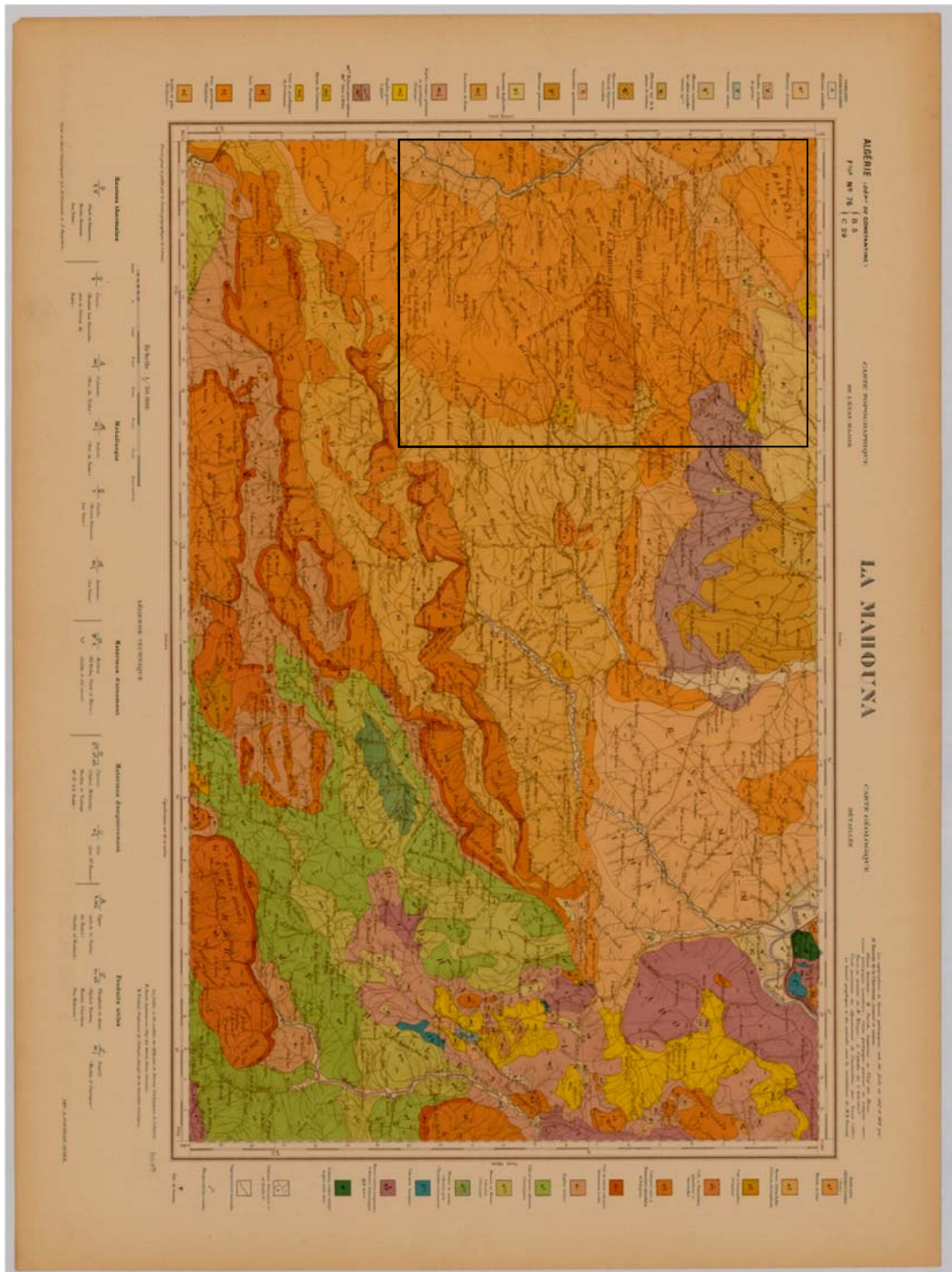


Figure 10 : Aspect géologique de la zone d'étude.

### **3. Réseau hydrographique**

Les nappes captives du champ de Guelma s'étendent sur près de 40 Km le long de la vallée de la Seybouse et sont alimentées par les infiltrations et les ruissellements qui déversent dans l'Oued Seybouse. Elles enregistrent un débit exploitable de **385 l/s**. Elles constituent les plus importantes nappes de la Wilaya.

Au niveau de la nappe de Bouchegouf, les alluvions paraissent moins perméables que ceux de la plaine de Guelma. Elle peut contenir une nappe alluviale moins importante.

#### **Principaux Oueds :**

- **Oued Seybouse:** Il prend sa source à Medjez Amar (point de rencontre entre Oued Charef et Oued Bouhamdane). Il traverse la plaine Guelma - Bouchegouf sur plus de 45 Km du Sud au Nord. Son apport total est estimé à 408 millions m<sup>3</sup>/an à la station de Boudroua (commune de Ain Ben Beida).
- **Oued Bouhamdane:** qui prend sa source dans la Commune de Bouhamdane à l'Ouest de la Wilaya. Son apport est de 96 millions m<sup>3</sup>/an à la station de Medjez Amar II.
- **Oued Mellah :** provenant du Sud-Est, ce cours d'eau enregistre un apport total de 151 millions m<sup>3</sup>/an à la station de Bouchegouf.
- **Oued Charef :** Prend sa source au Sud de la Wilaya et son apport est estimé à 107 millions m<sup>3</sup>/an à la station de Medjez Amar I.

#### **Barrages existants**

Le barrage de Hammam Debagh sur Oued Bouhamdane d'une capacité de 220 HM<sup>3</sup> est destiné à :

- L'irrigation des plaines de : Guelma, Bouchegouf sur 9.600 HM<sup>3</sup>
- L'AEP de Guelma, Hammam Debagh, Roknia

#### 4. Limites géographiques de la zone d'étude

La forêt de la Mahouna se trouve dans la commune de Bendjerrah qu'est située au Sud de la ville de Guelma, et est limitée au Nord par la commune de Guelma, au Sud par la commune de Ain el Larbi, à l'Est par la commune de Belkhier et à l'Ouest par la commune de Houari Boumediene et Sellaoua Announa (fig. 11).



Figure 11 : Carte des limites administratives « commune de Bendjerrah » sur un extrait du fond topographique de Guelma.

## **5. L'aspect climatique de la zone d'étude**

### **Introduction**

Le climat, en région méditerranéenne est un facteur déterminant en raison de son importance dans l'établissement, l'organisation et le maintien des écosystèmes.

Ainsi un des objets essentiels de l'écologie méditerranéenne est de rechercher la meilleure relation entre les différentes formations végétales et le climat.

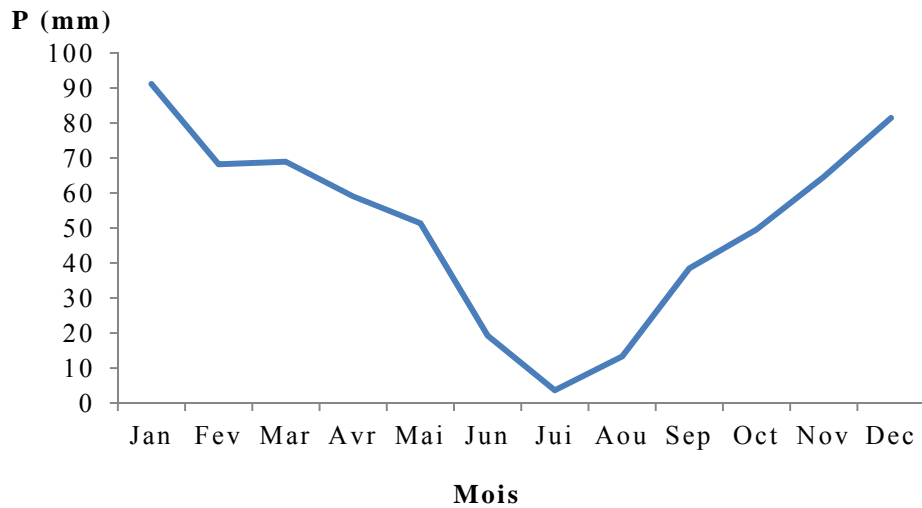
Les données climatiques sont des valeurs journalières, mensuelles et annuelles de la pluviométrie et de la température de la wilaya de Guelma. Ces données ont été prises de la station météorologique de Belkheir de la wilaya de Guelma, qui se trouve à longitude 7°28' Est et la latitude 36°28' Nord pour une période de 30 ans (1986-2015). L'altitude de la station est de 227m.

### **5.1. Les précipitations**

#### **5.1.1. Variation des précipitations moyennes mensuelles de la période 1986-2015**

Afin de caractériser un climat à l'échelle régional, les moyennes mensuelles ont été temporellement calculées pendant la période 1986 à 2015 pour illustrer les modèles dominants dans le cycle saisonnier. Les précipitations mensuelles ont été très variables. La figure 12 montre un fort pic en janvier dans la distribution mensuelle, cependant, en juillet nous avons observé une faible valeur de la quantité des précipitations.

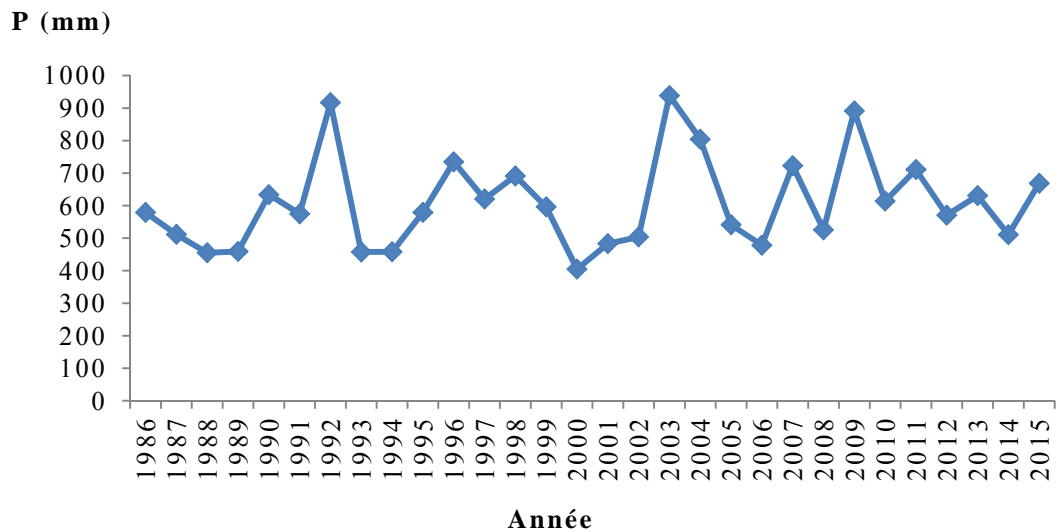




**Figure 12 : Variation moyenne mensuelle des précipitations entre la période 1986 et 2015.**

### 5.1.2. Variation des précipitations annuelles

On constate que les années 1992, 2003 et 2009 ont été les plus pluvieuses (916.8mm, 938.5mm et 891,3mm), tandis qu'une grande diminution est observée durant l'année 2000 (la pluviométrie annuelle est de 405.3mm) (fig. 13).



**Figure 13 : Variation des précipitations de la station de Belkheir (Guelma) pour la période 1986-2010.**

## 5.2. Les températures

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 1984). La température est donc l'un des éléments majeurs influençant le climat d'une région.

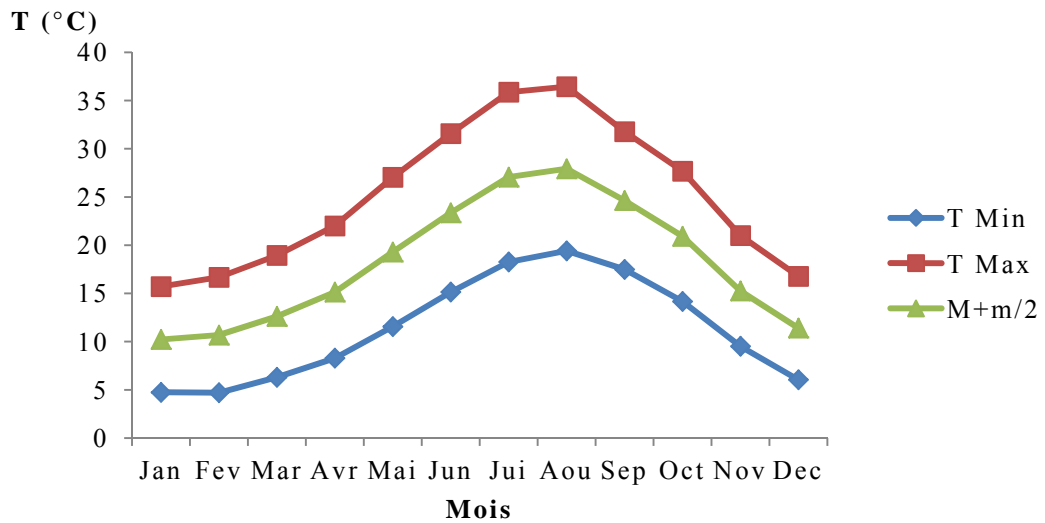
### 5.2.1. Analyse des températures moyennes mensuelles de la période 1986-2015

L'analyse des températures minimales et maximales pour la période d'étude montre une variabilité importante pendant la saison hivernale et estivale.

Les données des températures moyennes pour la station de Belkhier (Guelma) de la période (1986-2015) sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles minimales (m), maximales (M), moyenne (M+m/2) et amplitude thermique (M-m) de la station de Belkheir (Guelma) (1986-2015)**

Mois	M	m	M+m/2	M-m
Janvier	15,71	4,74	10,22	10,97
Février	16,67	4,7	10,68	11,97
Mars	18,94	6,3	12,62	12,64
Avril	22	8,28	15,14	13,72
Mai	27,04	11,56	19,3	15,48
Juin	31,58	15,14	23,36	16,44
Juillet	35,87	18,26	2,06	17,61
Aout	36,44	19,41	27,92	17,03
Septembre	31,78	17,49	24,63	14,29
Octobre	27,68	14,17	20,92	13,51
Novembre	21	9,51	15,25	11,49
Décembre	16,77	6,04	11,40	10,73
Moyenne			18,21	
Ecart-type			6,50	



**Figure 14 : Evolution des températures moyennes de la station de Belkheir (Guelma) durant la période 1986-2015**

A partir de la figure 14, on remarque que les plus faibles teneurs en température sont enregistrées au niveau du mois de février ( $m = 4,70^{\circ}\text{C}$ ) et du mois de janvier ( $M = 15,71^{\circ}\text{C}$  et  $\text{moy} = 10,22^{\circ}\text{C}$ ), alors que les plus hautes températures sont observées au niveau du mois d'Aout ( $m = 19,44^{\circ}\text{C}$ ,  $M = 36,44^{\circ}\text{C}$  et  $\text{moy} = 27,92^{\circ}\text{C}$ ).

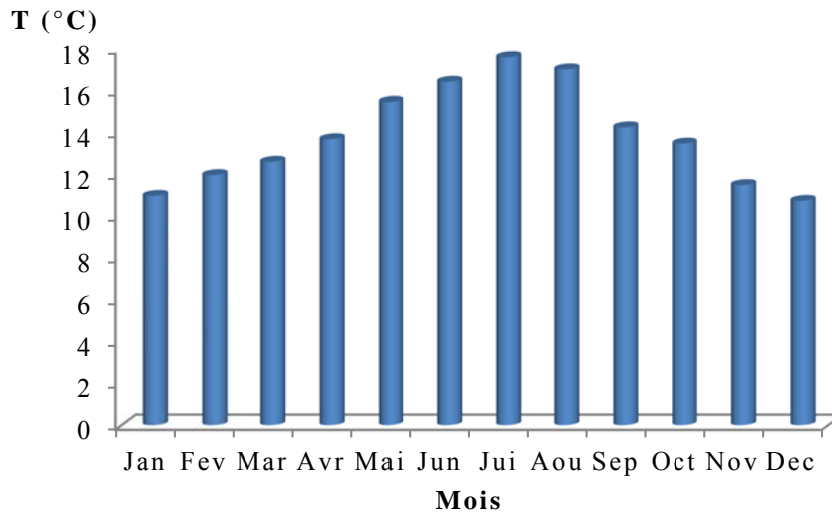
Pour la région de Guelma, le mois le plus froid est de février et le plus chaud est Aout.

### 5.2.2. L'amplitude thermique annuelle moyenne pour la période 1986-2015

L'amplitude annuelle moyenne de la température est définie comme étant «la différence entre les températures moyennes du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid » ; elle caractérise le degré de continentalité thermique d'un climat (sensu Giacobbe, 1959). Cette amplitude thermique subdivise l'Algérie en une « zone maritime où celle-ci est inférieure à  $18^{\circ}\text{C}$  et une « zone continentale » avec une amplitude supérieure à  $18^{\circ}\text{C}$ , valeur biocritique pour la végétation autant ligneuse qu'herbacée (Cote, 1983).

Concernant la zone d'étude, l'amplitude mensuelle moyenne de la température durant la période d'étude varie entre  $10,73^{\circ}\text{C}$  et  $17,61^{\circ}\text{C}$ .

On constate que la valeur la plus élevée est enregistrée au cours de la saison estivale (Juillet), alors que la valeur minimale est observée au cours de la saison hivernale (Décembre) (fig. 15).

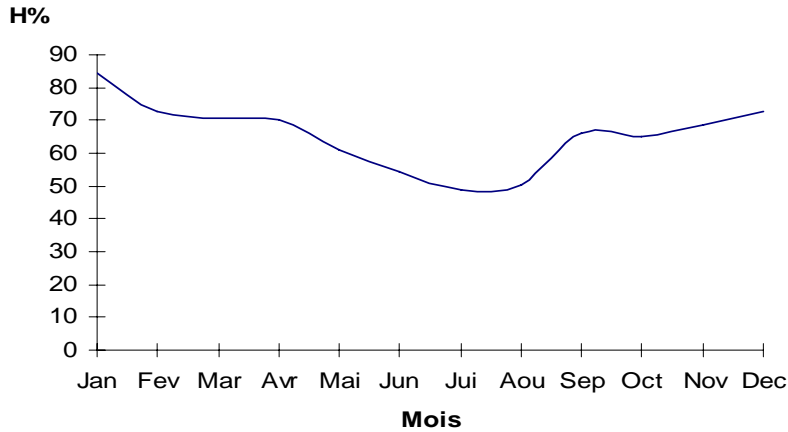


**Figure 15 : Amplitude thermique de la région de Guelma pour la période (1986-2015).**

### 5.3. L'humidité

L'humidité relative de l'air (H%) (ou degré d'hygrométrie), couramment notée  $\phi$ , correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur) à la même température et pression (GFDL, 2009).

L'humidité relative moyenne de l'air pour la période (1986 - 2008) atteint son maximum dans le mois de janvier (84.38%), alors que le minimum est observé dans le mois de juin (48.81%) (fig. 16) (Beldjazia, 2009).



**Figure 16 : Variation moyenne de l'humidité de la station de Belkhier.**

#### 5.4. Les vents

La vitesse du vent peut être exprimée par différentes unités ;

\*Mètre par seconde (m/s), \*Kilomètre par heure (km/h),\*Nœud (Kt)

Il existe des modalités d'évaluer la vitesse du vent sans la mesurer vraiment. On utilise pour cela des échelles.

Une des échelles les plus souvent utilisées est celle de Beaufort , qui permet d'estimer la vitesse du vent selon ses effets sur l'environnement.

**Tableau 3 : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s et des jours de sirocco de la station de Belkhier (période 1994-2008).**

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>Moyenne mensuelle</b>	1,814	1,887	1,791	1,936	1,766	1,93	1,893	1,836	1,709	1,4	1,725	1,877
<b>Jours moy</b>	0	0.2	0.4	0.2	0.3	0.3	0.4	0.2	0.1	0.6	0.1	0

On constate que les vents qui soufflent dans la région sont faibles (tab. 3).

**\*Sirocco**

Le sirocco est un vent chaud et sec. Le tableau ci-dessus présente la moyenne des jours de sirocco de la station de Belkhier (tab. 3).

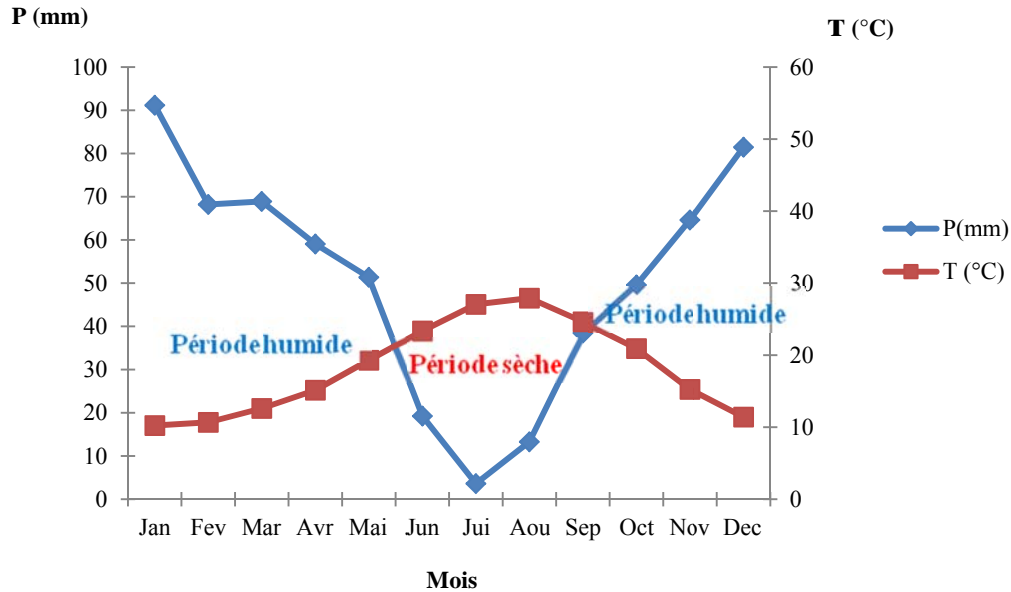
**5.5. Synthèse climatique**

**5.5.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (1953) :**

Le type de climagramme le plus répandu est sans doute celui conçu par Bagnouls et Gausсен (1953). La représentation sur un même graphique des précipitations moyennes mensuelles, exprimées en mm, et des températures moyennes mensuelles, exprimées en °C, avec en abscisses les mois, permet d'obtenir le diagramme ombrothermique, amélioré et systématisé par Walter & Llieth (1957-1966 in Lieth & al., 1999) à l'échelle mondiale.

Ce dernier permet une visualisation immédiate de la durée et de l'intensité de la saison sèche, à condition que les échelles prises en ordonnées sont telles qu'à 1°C corresponde 2 mm (Charre, 1997 ; Richard, 1997 ; Guyot, 1999). Ce diagramme ombrothermique, qui montre la marche mensuelle des précipitations et de la température, permet aussi d'évaluer la longueur de la saison pluvieuse (Ozenda, 1991 ; Le Houérou, 2004 ; Bouma, 2005). La surface du polygone est utilisée comme « indice d'intensité de sécheresse » (Panini & Amandier, 2005 in Madour, 2010).

Le Diagramme ombrothermique de la zone d'étude fait ressortir deux périodes ; une sèche s'étale durant la mi-mai jusqu'à début de septembre avec une forte sécheresse au cours du mois de juillet et une humide situées entre le début de septembre jusqu'à la mi-mai (fig. 17).



**Figure 17 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen pour la période 1986-2015 de la station de Belkeir.**

### 5.5.2. Localisation de la station dans le climagramme d'Emberger

#### a) Détermination des étages bioclimatiques

Notre région d'étude se situe au Nord-est algérien appartenant au bassin méditerranéen ; selon Quézel (1978), cette région appartient au domaine méditerranéen appelé aussi domaine méditerranéen africain.

Pour le bassin méditerranéen, à partir d'un coefficient pluviométrique d'Emberger (indice d'aridité perfectionné par la prise en compte de l'amplitude thermique annuelle) qui a classé toutes les stations météorologiques suivant deux coordonnées : d'une part les valeurs de ce coefficient et d'autre part la moyenne des températures du mois le plus froid (Emberger, 1930, 1955), il montre que le bassin méditerranéen dans son ensemble peut être subdivisé en cinq étages bioclimatiques : aride, semi aride, sub-humide, humide et per-humide :

- Aride (P compris entre 100 et 400 mm)
- Semi-aride (P entre 400 et 600 mm)

- Sub-humide (**P** entre **600** et **800** mm)
- Humide (**P** entre **800** et **1200** mm)
- Per-humide (**P** > **1200** mm) (Quézel, 2000).

Emberger a réalisé un climagramme où l'on retrouve l'ensemble de ces étages associés chacun à la température moyenne minimale du mois le plus froid et le coefficient pluviothermique correspondant. Ce climagramme permet de caractériser le climat d'une région et de la classer dans un étage bioclimatique.

Selon Emberger (1936), l'étage bioclimatique correspond à l'étage de végétation et les diverses structures de végétation qui correspondent à des critères écologiques spécifiques, notamment en fonction des étages altitudinaux de végétation et de type bioclimatiques (Quézel et al., 1990), peuvent être représentés sur le climagramme (Quézel, 2000).

#### **b) Calcul du quotient pluviothermique d'Emberger**

Le calcul du quotient pluviothermique «  $Q_2$  » d'Emberger est nécessaire pour déterminer l'étage bioclimatique de chaque région. Pour cela nous prenons en considération les paramètres ci-dessous :

**P** : Précipitation annuelles en mm ;

**M** : Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud en degré de Kelvin (°K) ;

**m** : Moyenne des températures minima du mois le plus froid en degré de Kelvin (°K).

La formule utilisée pour le calcul est la suivante :

$$Q_2 = 2000 P / (M^2 - m^2)$$

$Q_2 = 65.318$  et  $m = 4.70^\circ\text{C}$



Selon le climagramme pluviothermique d'Emberger, la station de Belkhier est située dans le bioclimat semi-aride tempéré.

### **Conclusion**

Le climat de la forêt de la Mahouna est pratiquement de type méditerranéen comme tout le Nord algérien, il est caractérisé par :

- La concentration des pluies pendant la période froide (automne et hiver)
- Une sécheresse apparente pendant les mois les plus chauds (été).
- Une pluviométrie annuelle supérieure à 600 mm ;
- Une période humide assez longue ;
- Des températures fortes en saison estivale et basse en saison hivernale ;
- Des gelées couvrant des périodes allant de décembre à février ;
- Des vents à faible fréquence.

### **2.6. Etagement de la végétation**

Dans chaque pays le climat façonne la végétation à son image et à chaque type de climat méditerranéen correspond un étage de végétation du même nom qui est l'expression vivante et se superpose exactement à lui (Boudy, 1952).

Dans les régions montagneuses les facteurs climatiques provoquent un gradient écologique dépendant en particulier de changement de la température et les précipitations avec l'altitude qui déterminent un étagement de la végétation.

Pour notre région on a trois étages de la végétation

1- L'étage thermoméditerranéen : on le trouve entre 227 m et 400 m d'altitude ; c'est le domaine de l'Oléo-Cératonion avec : *Olea*

*europa*, *Ceratonia siliqua*, *Pistacia lentiscus*, *Chamaerops humilis* ; (bioclimat subhumide chaud et semi-aride).

2- L'étage mesoméditerranéen : se trouve entre 400 m et 800 m d'altitude ; il se caractérise par des bioclimats subhumide et humide avec les chênaies à *Quercus coccifera* et *Quercus suber*.

- Sous-étage inférieur : Chêne kermès et Chêne liège à Lentisque.

-Sous-étage supérieur : subéraie dense, groupement mixte du Chêne zéen et Chêne liège.

3- L'étage supraméditerranéen : se trouve dans les altitudes de 1300 m à 1411m. Il se caractérise par un bioclimat humide avec la formation de Chêne zéen (Beldjazia, 2009).

## **Chapitre 3 : Matériel et méthodes**

### **1. Les sources d'information**

#### **1.1. L'imagerie satellitaire**

Notre intérêt est d'analyser, dans un premier temps, l'évolution de la végétation dans l'écosystème forestier de la Mahouna localisé dans la wilaya de Guelma (Nord Est de l'Algérie). Les bandes visibles et proche infrarouge du spectre électromagnétique des images de Landsat (5,7 & 8), fournissent une information adéquate sur la couverture végétale, du fait de leur résolution spatiale fine (30 m). De plus, dans un deuxième temps, avec le même jeu de données, on étudie la dynamique de la végétation de l'écosystème forestier à l'aide des indices de végétation.

Le programme d'observation de la surface terrestre "Landsat" est le plus ancien des Etats Unis. Huit satellites Landsat ont été lancés depuis juillet 1972. Le dernier d'entre eux, Landsat 8, marque une nouvelle orientation dans le programme, afin de réduire le coût des données et d'augmenter la couverture globale de la Terre, dans la perspective de recherches concernant le changement global ("Global Change").

Les images multispectrales de programme de Landsat ont été les premières à être utilisées pour l'étude de l'environnement terrestre, les ressources et les changements naturels et artificiels de la surface de la terre. Ces images possèdent une variété multispectrale intéressante pour la description et l'analyse de l'espace terrestre.

Les images satellites utilisées pour cette étude sont :

- Landsat 4 TM : 03 août 1987 et 17 décembre 1987.
- Landsat 5 TM : 24 juillet 1995 et 17 juillet 2010.

- Landsat 7 ETM+ : 11 juillet 1999, novembre 2000, 20 décembre 2000, 20 juillet 2000, février 2001, juin 2001, octobre 2001, janvier 2002, juin 2002, mai 2003 et 14 juillet 2003.

- Landsat 8 ETM+ : 08 juillet 2013, decembre 2015 et juillet 2015

## **1.2. Données météorologiques**

La description du climat de l'écosystème forestier de la Mahouna est obtenue à partir de l'analyse des séries fournies par la station météorologique présente dans notre zone d'étude, celle de la commune de Belkheir de la wilaya de Guelma, qui se trouve à longitude 7°28' Est et la latitude 36°28' Nord. L'altitude de la station est de 227m, à laquelle nous avons ajouté trois autres stations corrigées selon la station de référence parceque notre région d'étude est de type montagneuse (elle se situe entre 300 et 1411m), endroit difficile d'accès, sans station météorologique, pour cette raison on est parfois amené à faire des extrapolations.

Les variables traitées constituent, donc, une série chronologique de pluies et de température de la zone d'étude pendant la période 1986-2015. Les variations journalières, mensuelles, saisonnières et annuelles font l'objet d'une analyse statistique approfondie de la zone d'étude.

Concernant notre travail, l'analyse des données a fait l'objet d'une création d'une base de données, et le traitement statistique a été réalisé à l'aide du logiciel Statistica. Les résultats sont représentés sous forme de tableaux et graphes.

## **1.3. Autres sources d'information**

L'autre source d'information concerne les données altimétriques. Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une structure de données qui représente la distribution spatiale d'une variable quantitative et continue (FELICISIMO, 1994), quand il s'agit de la variable altitude, on parle d'un modèle numérique d'altitude (MNA). Autrement dit, un MNT est la description d'un terrain sous la forme des coordonnées X,

Y et Z, X et Y correspondent aux coordonnées géographiques et Z représentant une troisième donnée quantitative, l'ordonnée altitudinale. A partir d'un MNT, il est possible de calculer, à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG), des modèles dérivés, telles que des modèles de pente et d'orientation.

#### **1.4. La construction d'une base de données**

Face à l'importante quantité d'information de caractère spatiale et alphanumérique que nous avons du traiter dans cette étude, nous avons construit une base de données. L'intérêt principal est d'avoir une structure ordonnée pour nous faciliter l'accès à l'information de façon simple et rapide. La gestion de la base de données est possible grâce à la mise en place d'un SIG. Rappelons brièvement qu'un SIG est un outil permettant de créer, stocker, manipuler, analyser et visualiser un grand volume de données spatialement référencées (Bosque, 1997).

Dans le cadre de notre travail de thèse, la combinaison d'un SIG et de données issues de la télédétection, offre un cadre méthodologique idéal pour l'interprétation, la détection des changements et la présentation de nos résultats. L'information issue des analyses de l'imagerie satellitaire est un excellent *input* pour l'analyse synoptique des phénomènes spatiotemporels (Engman et Mattikalli, 2003). La principale source d'information de notre base de données, est celle issue des images de Landsat.

## **2. Préparation et traitements des données**

La démarche méthodologique de ce travail se base sur plusieurs étapes à savoir :

### **2.1. Le travail du terrain**

Le travail de terrain consiste à localiser, caractériser, échantillonner et quantifier différents paramètres en vue d'améliorer la connaissance acquise des milieux et/ou des usages. Afin de répondre à ces objectifs nous disposons du matériel suivant :

- Une carte d'état major 1/10 000 ème de la forêt domaniale de la Mahouna ayant servi pour faire le zonage de la forêt ;

- Une carte topographique IGN type 1960 (échelle 1/50 000ème) (Guelma) ;

- Une carte géologique 1/50 000ème de Mahouna (feuille N°76 de l'Algérie) ;

- HCl : pour vérifier sur le terrain s'il s'agit d'un substrat calcaire ;

-Un GPS de positionnement pour l'orientation et le prélèvement des coordonnées géographiques des relevés.

-Couteau, sécateur.

-Papier herbier et sac à récolte

-Appareil photo numérique.

- Guide de la flore méditerranéenne.

- Flore de l'Afrique du Nord.

-La nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (Quezel et Santa 1962-1963).

En vue de connaître les différentes espèces végétales dans la zone d'étude, leur chorologie et leur substrat pédologiques, des sorties sur terrain ont été organisées avec le soutien des services forestiers durant la période 2010 à 2012.

## **2.2. Analyse de la diversité floristique**

Afin de réaliser ce travail, l'échantillonnage stratifié a été adopté. Les sources d'information utilisables pour le choix des zones à échantillonner sont essentiellement : les photographies aériennes (2003), la carte topographique de Guelma, la carte géologique de Guelma et la carte des principaux groupements végétaux du massif forestier de la Mahouna établi par Beldjazia (2009).

L'identification des espèces est basée sur la Nouvelle flore de l'Algérie et des Régions Désertiques Méridionales (Quézel et Santa, 1963).

L'analyse de la richesse floristique est déterminée à l'aide de la classification de Raunkier (elle concerne les types biologiques), ainsi que leurs chorologies.

### **2.3. Analyse pédologique**

La réalisation des quatre profils pédologiques est déterminée à partir de la carte de la végétation établie par Beldjazia (2009). Chaque échantillon recueilli est mis dans un sac en plastique codifié.

Les analyses physico-chimiques (la granulométrie, le pH, Matière organique, Azote total, Carbone organique, Bases échangeables  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  et Conductivité électrique) ont été réalisées au sein du laboratoire fertiale à Annaba.

### **2.4. Analyse climatique**

Dans le but de caractériser l'écosystème forestier de la Mahouna du point de vue climatique, nous avons analysé les données thermiques de la région de Guelma sur une période de 30 ans. Cette analyse est réalisée par une étude statistique des paramètres climatiques.

#### **2.4.1. Détermination de l'étage bioclimatique**

Les paramètres étudiés, la température et la pluviométrie sont corrigées par les différents gradients de Selzer.

Trois stations sont choisies à différents altitudes (400 m, 900m et 1400m) pour caractériser les formations végétales du massif.

#### **2.4.2. Traitement des données pluviométriques**

##### **a. Calcul de l'indice pluviométrique de la période 1986-2015**

Pour diagnostiquer si une année est pluvieuse ou sèche dans une région donnée, l'indice de pluie (IP) est couramment utilisé. Il est

calculé à partir de la méthode classique de Nicholson (Nicholson S.E., 1988) pour chaque année et s'exprime comme suit :

$$I_i = (X_i - \bar{X})/S$$

Avec :  $X_i$  = hauteur de pluie en mm de l'année  $i$  ;  $\bar{X}$  = hauteur de pluie en mm moyenne sur la période d'étude ;  $S$  = écart-type de la hauteur de pluie sur la période d'étude. L'indice de Nicholson apparaît comme une variable centrée et réduite.

#### **b. Analyse statistique des données pluviométriques**

Cette analyse traite des données pluviométriques mensuelles sur une période de 30 ans à l'aide du test-t du Student.

L'analyse statistique des données journalières des quatre saisons (hivernale, printanière, estivale et automnale) sur une période de 11 ans (2000-2010), est réalisée afin de tirer les caractéristiques suivantes :

- Relation entre le nombre de jours de pluies et la quantité des pluies selon les saisons et les années.
- Détermination des manifestations les plus sensibles telles que le raccourcissement de la (des) saison (s) des pluies ou la diminution du nombre annuel de jours de pluies.
- Variabilité des précipitations mensuelles moyennes.
- Variabilité du régime saisonnier.
- Variabilité saisonnière et annuelle de l'indice pluviométrique.

#### **2.4.3. Traitement des données thermiques**

Une analyse des données thermique journalières des quatre saisons (hiver, printemps, été et automne) sur une période de 11 ans (2000-2010) est faite, afin de tirer les caractéristiques climatiques suivantes de la zone d'étude :

- Variabilité journalière, mensuelles, saisonnière et annuelle des températures tri horaire.
- L'intensité, le poids et la durée des périodes froides et chaudes.



## **2.5. L'apport de la télédétection spatiale à l'étude de la végétation et la température de la surface du sol**

Avant d'analyser les images sélectionnées, il est nécessaire de les corriger afin de les rendre utilisables et comparables. Le prétraitement correspond à un ensemble d'opérations qui visent à modifier les images brutes selon trois aspects : une correction des déformations géométriques dues à la prise de vue, des corrections des valeurs radiométriques et finalement une correction atmosphérique à l'aide du logiciel ENVI 5.0.

### **2.5.1. Réalisation des compositions colorées**

Nous avons utilisé la composition colorée pour produire une image couleur à partir de la combinaison de trois bandes spectrales. Cette combinaison repose sur le principe d'affectation des bandes spectrales, choisies en fonction des objectifs de l'étude, aux trois couleurs primaires rouge, vert et bleu (Enonzan, 2010).

Les compositions colorées réalisées sont : TM 5-4-3 pour Landsat 4, ETM+ 5-4-3 pour Landsat 7 et pour Landsat 8 est ETM+ 6-5-4 sur des images acquises en trois dates différentes : Aout 1987, juillet 1999 et juillet 2013. Le traitement est fait à l'aide du logiciel de télédétection ENVI 5.0.

### **2.5.2. Interprétation indirecte des images de télédétection**

L'interprétation la plus efficace des images satellitaires associe l'utilisation des méthodes assistées par ordinateur et l'analyse visuelle. L'interprétation visuelle permet l'analyse la plus sûre des structures de l'image (Girard C-M et Girrard M-C., 1973 ; Girard M-C., 1986) ; par contre c'est en utilisant les possibilités de l'ordinateur que l'interprétation des textures se fait le plus rigoureusement (Girard M-C. et Girard C-M., 1989 ; Bonn et al., 1989).

### **2.5.3. Calcul de l'indice de végétation normalisé (NDVI)**

Cet indice est calculé à partir de deux bandes spectrales, le rouge R et l'infrarouge IR selon la formule suivante :

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

Son utilité pour décrire le couvert végétal se base sur le fait que d'une part ce dernier absorbe préférentiellement l'énergie lumineuse dans les longueurs d'onde du rouge pour la photosynthèse, et réfléchit par contre fortement cette énergie dans le proche infrarouge, en fonction de la structure inter-cellulaire du matériel végétal photosynthétisant (Gausman, 1985 in Bartholomé, 1994).

### **2.5.4. La télédétection de la température de la surface du sol**

La réalisation des cartes de l'émissivité aux températures de surface se fait selon les étapes suivantes :

**Première étape :** on utilise les bandes thermiques de l'image satellite de Landsat (canal 6 1 et canal 6 2). Le passage de la luminance apparente (VN) à la luminance vraie ( $L_v$ ) peut se faire en utilisant l'équation suivante :  $L_v = (L_{\text{max}} - L_{\text{min}} / Q_{\text{calmax}}) * \text{VN} + L_{\text{min}}$

avec :  $(L_{\text{max}} - L_{\text{min}} / Q_{\text{calmax}}) =$  gain,  $L_{\text{min}} =$  offset, VN= luminance apparente.

**Deuxième étape :** le passage de la température de brillance à la température en degrés Celsius comme suit :

$$T_{(dC)} = (K2 / \ln((K1 / L_v) + 1)) - 273$$

avec :  $T_{(dC)} =$  Température en degrés Celsius, K1 et K2 = constantes de calibration liées au type de satellite,  $L_v =$  luminance vraie.

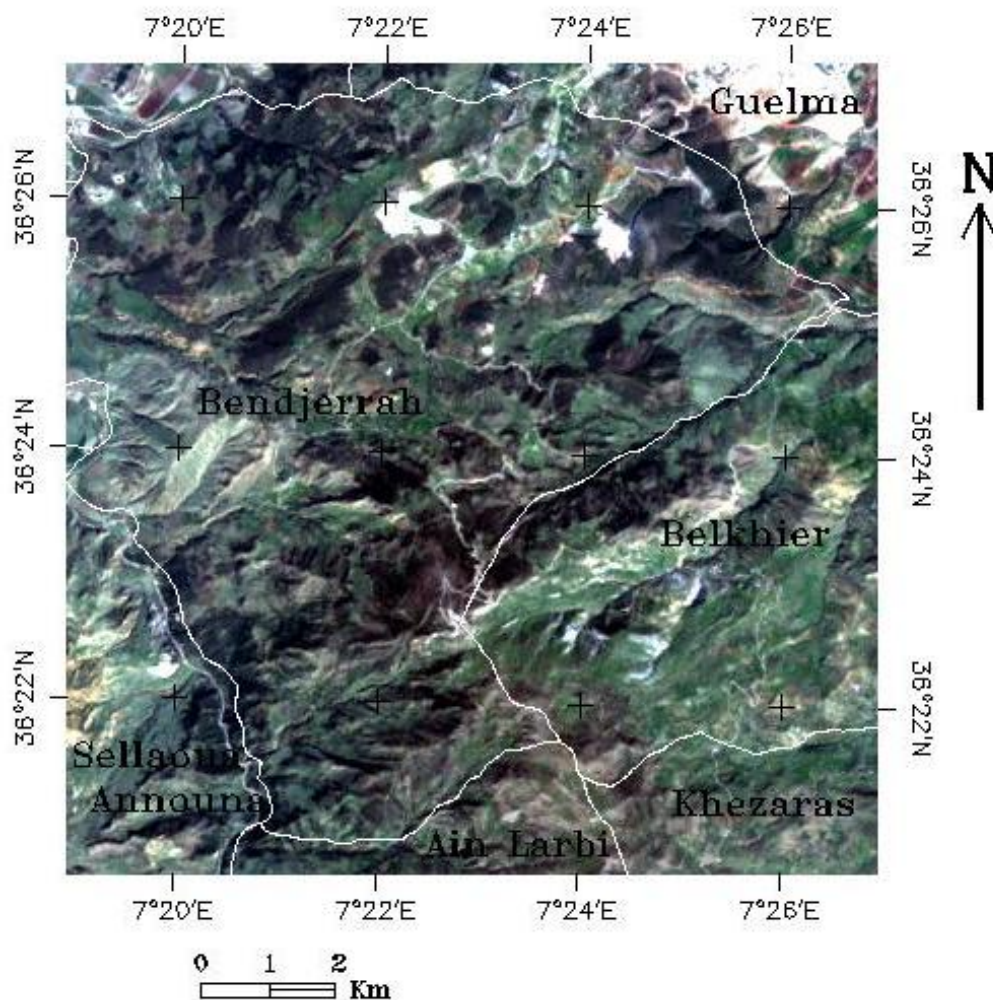
### **2.5. L'apport du modèle numérique de terrain (MNT)**

Le MNT a permis d'établir les cartes des pentes, carte des altitudes et les cartes des expositions en utilisant le logiciel ENVI 5.0.

## Chapitre 4 : Résultats et discussion

### 1. Analyse de la végétation de la zone d'étude

Le massif forestier de la Mahouna se localise dans la commune de Bendjerrah et limitrophe avec les autres communes : Guelma, Belkhier, khezaras, Ain el Arbi et Sellaoua Announa. Cette région s'allonge au nord avec une latitude de 36°21' à 36°27' nord et à l'est avec une longitude de 7°19' à 7°27'. Ce massif occupe une superficie de 14400 ha, l'altitude varie entre 227m et 1411m (le point culminant). C'est une forêt de montagne à relief accidenté (pente supérieur à 25%) (Fig. 18).

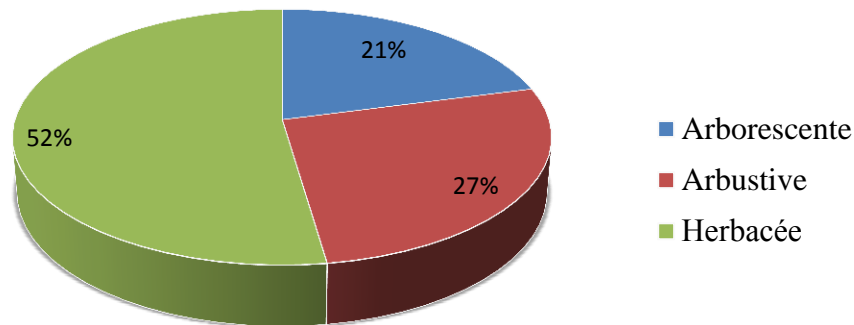


**Figure 18 : Localisation de la zone d'étude sur image de Landsat ETM (2000) composition vraie couleur (Bandes : 3+2+1).**

Les relevés floristiques de la végétation ont été réalisés dans le mémoire de magister pour les principaux groupements forestiers.

Un système forestier est équilibré lorsqu'il se compose de trois strates, arborée, arbustive et herbacée, de sujets de classes d'âges variées.

L'analyse des relevés réalisés sur terrain montre qu'il y a une dominance de la strate herbacée sur le massif forestier de la Mahouna, représentée par des pelouses, des ripisylves et broussailles, suivi par une végétation arbustive sous forme de maquis et le sous bois de la forêt (fig. 19).



**Figure 19 : Répartition des strates du massif forestier de la Mahouna.**

Dans la zone d'étude, 86 espèces (80% de la totalité des espèces du massif forestier) ont été déterminées.

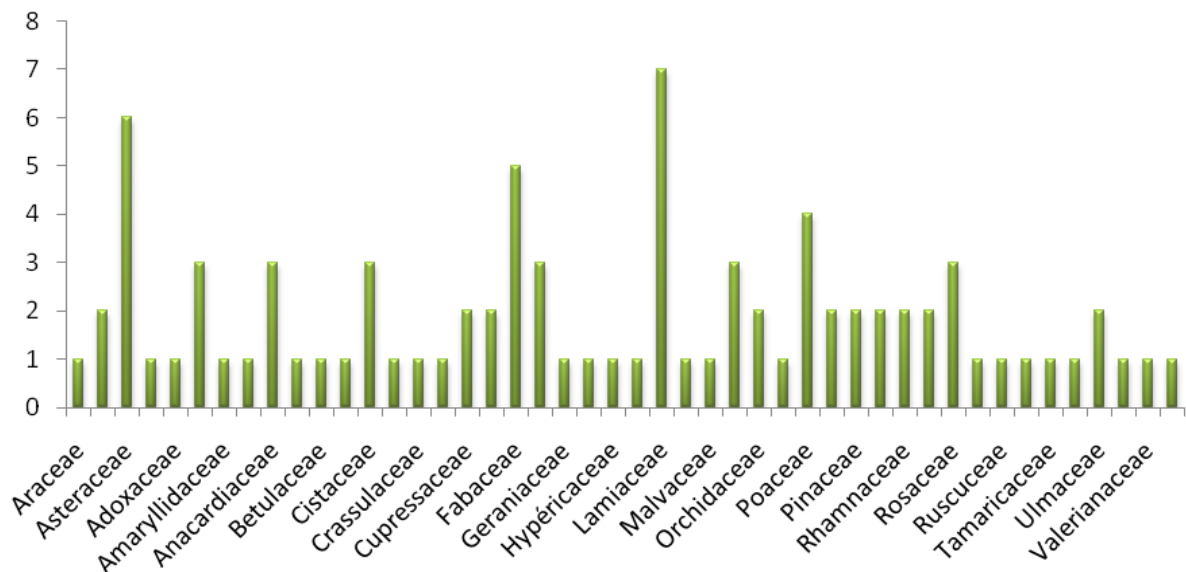
Les formations arborescentes et arbustives trouvées sous forme de forêt et maquis, sont représentées par : *Quercus canariensis*, *Quercus coccifera*, *Quercus suber*, *Erica arborea*, *Calycotome spinosa*, *Phillyrea angustifolia*, *Olea oleaster*, *Pistacia lentiscus*, *Cistus monpeliensis*, *Ceratonia siliqua*, *Crataegus monogyna*.

Sur le long de la vallée de Oued Charef, on trouve des ripisylves dominés par *Tamarix galica*, *Nerium oleander* et *Mentha aquatica*.

### 1.1. Les familles botaniques

La classification APG iii ou classification phylogénétique, établie selon les travaux de l'Angiosperms Phylogeny Group en 2009 est la troisième classification qui nous permet de classer les espèces végétales du massif forestier de la Mahouna en 46 familles botaniques.

La diversité biologique des zones montagneuses est d'une richesse supérieure à celle des autres régions écologiques de la planète (FAO, 2002). En terme de diversité taxonomique, les familles des Lamiaceae et Asteraceae sont les deux familles les plus dominantes dans notre zone d'étude, suivie par les familles Fabaceae, Poaceae, Anacardiaceae, Cistaceae, les Fagaceae représentent un nombre assez important de taxons. Cette richesse floristique illustre une diversité floristique très remarquable au niveau de ce massif forestier (fig. 20).

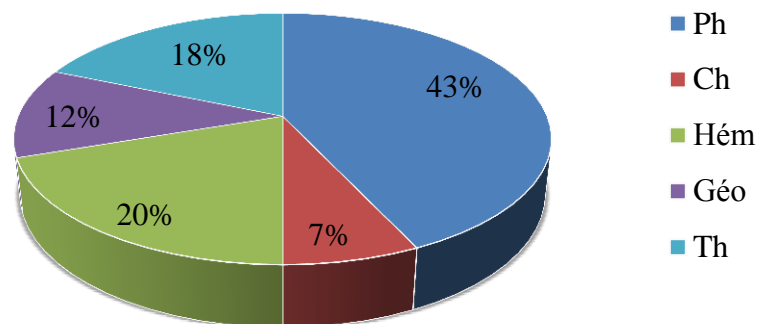


**Figure 20 : Richesse des espèces du massif forestier de la Mahouna selon les familles botaniques.**

### 1.2. Le spectre biologique

L'analyse des types biologiques de la flore du massif forestier de la Mahouna met en évidence la dominance des phanéropytes avec 43%, des hémicryptophytes (20%) et les théropytes (18%). Même si le pourcentage

des thérophytes est habituellement élevé dans les formations méditerranéennes avec l'aridité (Daget, 1980) et la dégradation (Grime, 1977), ce pourcentage augmente d'une manière très significative dominant largement les autres types biologiques. Les géophytes représentent 12 % suivi par et les chaméphytes (fig. 21).

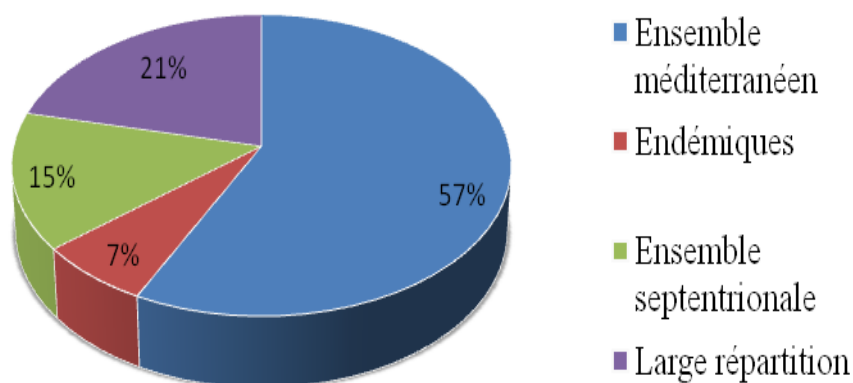


**Figure 21: Spectre biologique du massif forestier de la Mahouna.**

### 1.3. Le spectre chorologique

Selon Quézel (2000), plusieurs éléments chorologiques ont contribué à la mise en place de la flore d'Afrique du nord (méditerranéen et mésogène) et élément septentrional. L'examen des principaux types chorologiques confirme l'abondance de l'élément méditerranéen.

Les nordiques (septentrionales) sont bien représentées par rapport à l'ensemble de la flore (15 % du total). La présence de ces espèces en domaine méditerranéen remonte probablement à une période glaciaire. Mais le retrait des glaciers, accompagné du réchauffement climatique, a conduit à leur raréfaction, voir leur disparition dans certaines régions (Quézel, 1995). Sur l'ensemble de la zone d'étude on note également l'abondance du type Cosmopolite, Euro-Méditerranéen et Méditerranéo-Atlantique (fig. 22).



**Figure 22: Spectre chorologique du massif forestier de la Mahouna**

## 2. Analyses pédologiques

Nous avons effectué un profil pédologique dans chaque formation végétale du massif forestier.

### 2.1. La forêt dense de chêne liège

Afin de déterminer les caractéristiques du sol de ce groupement on a effectué un profil pédologique dans une vieille futaie adulte du chêne liège.

Les résultats obtenus montrent la présence des trois principaux horizons répartis comme suit :

- **L'horizon A** : Constitué de deux sous horizons :

\* **L'horizon A1** : Se situe entre 0 – 25 cm, il se caractérise par une structure grumeleuse fine (mull), porosité bonne, système racinaire abondant avec une activité microfaune, pas d'effervescence, couleur noir.

\* **L'horizon A2** : Se trouve entre 25 – 45 cm, ayant une structure grumeleuse fine, porosité bonne, peu de système racinaire, présence de quelques cailloux, pas d'effervescence, couleur noir.

- **L'horizon B** : Représenté par deux sous horizons :

\* **L'horizon B1** : Se situe à une profondeur allant entre 45 – 65 cm, sa structure est polyédrique, porosité bonne, présence de quelques racines, pas d'effervescence, couleur brun ocre.

\* **L'horizon B2 (Bt) (horizon lessivé)** : Occupe une profondeur entre 65 et 100 cm, sa structure est polyédrique (compacte), porosité bonne, présence de quelques racines, pas d'effervescence, couleur rouge ocre.

- **L'horizon C** : Se trouve au-delà de 100 cm, caractérisé par une roche mère altéré avec une couleur jaune rouge (photo 1).



**Photo 1 : Profil pédologique dans la forêt du chêne liège**



Les résultats des analyses biochimiques sont représentés par le tableau 4.

**Tableau 4: Résultats d'analyses biochimiques du profil 01**

Horizons	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>t</sub>
<b>Granulométrie</b>				
<b>Sable %</b>	72	64	56	66
<b>Argile %</b>	8	8	12	6
<b>Limon %</b>	20	28	32	28
<b>Classe texturale</b>	SL	SL	SL	SL
<b>Caractères biochimiques</b>				
<b>M.O %</b>	3,829	1,735	0,502	0,149
<b>Azote totale %</b>	0,06	0,11	0,01	T
<b>pH</b>	5,92	5,95	5,83	5,63
<b>Complexe absorbant</b>				
<b>Ca meq /100 g</b>	12,57	5,85	1,30	2,16
<b>Mg meq/100 g</b>	1,41	1,08	0,74	0,99
<b>Na meq/100 g</b>	0,12	0,12	0,08	0,10
<b>K ppm</b>	154,20	52,60	28,90	68,10
<b>Conductivité µs/cm</b>	197	221	213	192

Le profil de cette unité est bien développé. Compte tenu du type de roche-mère sur laquelle repose ce sol, la texture reste toujours sablo-limoneuse. La teneur du sable est considérable dans les horizons A<sub>1</sub> et B<sub>t</sub>. Ce que Patrick (2010) a mis en évidence. Il a remarqué que le chêne liège se développe sur un sol de type sableux ou limoneux.

De point de vue morphologique, l'organisation des particules de sol est pratiquement identique dans les deux horizons de surface et la subsurface. La structure est moins favorable dans la couche inférieure, elle est d'un aspect compact.

Les propriétés chimiques de ce sol nous permettent de distinguer qu'en général, le pH est acide. Ses grandeurs diminuent légèrement de 5,92 dans l'horizon A, pour atteindre 5,63 dans l'horizon le plus bas.

La matière organique est décroissante de la surface (3,83%) vers la profondeur (0,15%) en passant par une teneur médiane (1,73%) dans l'horizon qui est proche de la surface, cette allure de la matière organique

s'explique notamment en surface par l'apport de matière organique fraîche (M.O.F) de la futaie. Mais la forte activité microbienne aurait contribué dans la minéralisation d'une fraction importante de l'humus de ce sol. Les substances organiques (Humiques) auraient été lessivées dans les premiers quartiers du sol. En s'approchant de la roche-mère, la matière organique est très réduite.

Les valeurs de la conductivité électrique du sol varient entre 192 à 221  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Selon l'échelle de Durand J.H. (1983), la qualité de ces sols est dans la classe non salée.

## **2.2. La forêt mixte du Chêne liège-Chêne zéen**

La forêt mixte du Chêne liège – Chêne zéen se développe sur un substrat gréseux. La description morpho-pédologique fait ressortir trois horizons :

- **L'horizon A** : Se présente sur une profondeur de 11 cm, sa structure est grumeleuse fine, poreux. On note la présence de système racinaire (herbacé) avec une activité microfaune, pas d'effervescence, couleur noir-rouge.

- **L'horizon B** : Composé deux sous horizons :

\* **L'horizon B1** : qui se situe entre 11 à 50 cm, il a une structure polyédrique, moins poreux et pas d'effervescence. La couleur se varie entre ocre et ocre grès. Le système racinaire est présent (herbacées) avec une activité microfaune.

\* **L'horizon Bt** : S'étale de 50 cm jusqu'au 120 cm. Il se caractérise par une structure compacte, absence de porosité, présence de système racinaire (Chêne liège), pas d'effervescence, couleur vert bariolé et quelques taches du couleur rouge.

- **L'horizon C** : Se trouve au delà de 120 cm, roche mère argile et grès (photo 2).



**Photo 2 : Profil pédologique dans la forêt mixte du chêne liège- chêne zéen.**

Les résultats des analyses biochimiques sont représentés par le tableau 5.

**Tableau 5: Résultats d'analyses biochimiques du profil 02**

Horizons	A	B <sub>1</sub>	B <sub>t</sub>
<b>Granulométrie</b>			
Sable %	52	36	28
Argile %	16	44	48
Limon %	32	20	24
Classe texturale	LS	A	A
<b>Caractères biochimiques</b>			
M.O %	T	0,868	0,596
Azote totale %	0,15	0,10	0,10
pH	4,86	7,23	6,06
<b>Complexe absorbant</b>			
Ca meq /100 g	15,06	7,13	28,73
Mg meg/100 g	2,45	2,26	3,48
Na meq/100 g	0,13	0,15	0,76
K ppm	196,90	118,80	184,40
Conductivité µs/cm	235	187	176

Les données synthétiques et analytiques révèlent que ce sol présente, en général, une texture variable. Elle est limono-sableuse en surface, puis devienne argileuse dans médian, un horizon B<sub>t</sub> est bien décelé dans la couche 50-90 cm.

De point de vue structural, il est possible de préciser que ce profil bénéficie d'une organisation très favorable des particules organo-minérales du sol vers sa surface. Cependant, dans le reste du profil, la compacité du sol a tendance à augmenter. Ce qui a compromis la diminution de la porosité successivement dans les couches B<sub>1</sub> et B<sub>t</sub>.

Les résultats des analyses biochimiques indiquent que le sol affiche une réaction très contrastée. On passe subitement d'un pH très acide (4,86) en surface vers un pH légèrement neutre dans l'horizon B<sub>1</sub>(7,23), puis sa valeur diminue pour être faiblement acide (6,06) dans l'horizon B<sub>t</sub>.

Les teneurs de la matière organique sont très faibles en surface ou en profondeur. Il semble que les substances humiques aient migré à

l'occasion des précipitations qui sont très importantes dans la zone au cours de cette période.

L'élément azote total est très rare. Ce qui confirme probablement le lessivage des composés azotés solubles. Ces derniers sont moins retenus dans le sol. De même, la minéralisation de la matière organique, serait également favorisée et ce malgré le niveau élevé des précipitations.

Pour ce qui est des cations échangeables, il faut dire que le  $\text{Ca}^{2+}$  est le plus dominant. Ses teneurs sont considérables en surface (15,06 meq / 100 g) et plus élevées dans l'horizon  $B_t$  (28,73 meq/100g). Le magnésium est bien présent avec des teneurs comparables le long du profil. Les éléments alcalins sont très faiblement présents. Les faibles valeurs de la conductivité électrique confirment que le sol n'est pas salé.

### **2.3. Maquis à Chêne liège**

La dégradation de la forêt de chêne liège suite à l'action des facteurs de dégradation aboutit à la formation de maquis.

A la limite inférieure de l'aire du chêne liège, dans le niveau supérieur de l'étage thermoméditerranéen (basses altitudes), la formation est infiltrée par le lentisque (*Pistacia lentiscus*) pour donner un groupement de chêne liège à lentisque qui constitue le faciès thermophile de la subéraie (Beldjazia, 2009).

La description morpho-pédologique sur terrain de cette formation distingue trois horizons :

- **L'horizon A** : Se trouve jusqu'à 17 cm de profondeur, caractérisant par une structure grumeleuse fine, porosité de lombric (vers de terre), présence de système racinaire (herbacées), riche en matière organique, pas d'effervescence, couleur brun.

- **L'horizon B** : Se situe à partir de 17cm jusqu'au 45 cm, sa structure est grumeleuse grossière, poreux, présence des cailloux, organo-minérale avec une couleur noir. Le système racinaire est abondant avec une activité microfaune, pas d'effervescence.

- **L'horizon C** : Il est présent à partir de 45 cm de profondeur. La roche mère est non altérée, elle est de type grès numidien (photo 3).



**Photo 3 : Profil pédologique dans le maquis à chêne liège.**

Au niveau de chaque horizon, des analyses biochimiques ont été réalisées. Les résultats sont résumés dans le tableau 6.

**Tableau 6: Résultats d'analyses biochimiques du profil 03**

Horizons	A	B
<b>Granulométrie</b>		
Sable %	64	72
Argile %	28	28
Limon %	8	T
Classe texturale	SA	SA
<b>Caractères biochimiques</b>		
M .O %	4,242	1,969
Azote totale %	0,08	0,04
pH	05 ,38	06,2
<b>Complexe absorbant</b>		
Ca meq /100 g	17,47	10,46
Mg meg/100 g	1,49	1,51
Na meq/100 g	0,13	0,13
K ppm	86,90	56,40
Conductivité $\mu$ s/cm	154	138

On note que la texture est sablo-argileuse relativement stable le long du profil. Par contre, la structure varie légèrement. Elle est grumeleuse fine en surface et devient grumeleuse grossière dans l'horizon B.

Sur le plan chimique, ce profil présente une réaction du sol nettement différente dans les deux horizons. Elle est plus acide dans la partie superficielle que dans la partie restante.

Quant à la matière organique, on remarque qu'il y a tendance à une accumulation accrue de ces substances. Ceci, serait imputable à la qualité du couvert végétal qui caractérise ce sol. Par contre, l'horizon B est très visiblement moins enrichi en matière organique. Il se pourrait qu'à ce niveau, les substances humiques aient subi une migration grâce à la qualité de la porosité qui y existe.

L'élément azote totale est présent en général en des teneurs très faibles. Il aurait subi une perte par lessivage. Les conditions physiques de ce sol ainsi que le fort taux de précipitations peuvent être la cause de sa diminution en profondeur.

L'analyse des éléments (cations) échangeables nous permet de constater que malgré la nature du substrat géologique (gréseuse), ce profil présente une importante d'accumulation de  $\text{Ca}^{+2}$  dans la couche A, et diminue notamment pour arriver à 10 meq/100g. Le reste des éléments sont très peu présents. Les valeurs de  $\text{Na}^+$  sont très faibles. Ceci serait dû à un lessivage intense favorisé par les précipitations. Les valeurs de la conductivité électrique montre que le sol est non salé.

#### **2.4. La forêt du Chêne zéen**

Le Chêne zéen est indifférent à la constitution physique et chimique du sol par rapport au Chêne liège ; pourvu que le sol soit frais, peu importe sa nature. Néanmoins, il préfère le grès numidien (Boudy, 1952). Les caractères morpho-pédologiques de la forêt du Chêne zéen sont comme suit :

- **L'horizon A** : Se situe jusqu'à 15 cm de profondeur. Il se caractérise par une structure grumeleuse, porosité bonne, présence de système racinaire, présence des cailloux, pas d'effervescence avec une couleur noire.

- **L'horizon B** : Composé de deux sous horizons :

\* **L'horizon B1** : Se trouve entre 15 et 40 cm de profondeur. Sa structure est polyédrique, la porosité est bonne, pas d'effervescence. On note la présence de quelques racines avec des cailloux de différentes tailles. La couleur varie entre ocre et jaune ocre avec quelque tache du ocre foncé.

\* **L'horizon Bt (argile lessivé)** : S'étale entre 40 et 60 cm de profondeur. Il a une structure compacte avec la présence de quelques pores. Le système racinaire est peu abondant. La couleur varie entre ocre rouge et ocre vert, pas d'effervescence

- **L'horizon C** : Se trouve au-delà de 60 cm de profondeur. La roche mère est altérée avec une couleur ferrugineux (présence de fer) (photo 4).





**Photo 4 : Profil pédologique dans la forêt du chêne zéen.**

Différents paramètres chimiques ont été déterminés au niveau de chaque horizon. Les résultats sont représentés par le tableau 7.

**Tableau 7: Résultats d'analyses biochimiques du profil 04**

Horizons	A	B <sub>1</sub>	B <sub>t</sub>
<b>Granulométrie</b>			
Sable %	64	60	44
Argile %	8	16	40
Limon %	28	24	16
Classe texturale	SL	SL	A
<b>Caractères biochimiques</b>			
M.O %	2,936	0,27	0,273
Azote totale %	0,17	0,03	0,00
pH	6,32	5,82	5,29
<b>Complexe absorbant</b>			
Ca meq /100 g	5,84	0,64	1,20
Mg meg/100 g	1,34	0,82	0,86
Na meq/100 g	0,12	0,08	0,10
K ppm	72,40	28,30	35,20
Conductivité µs/cm	188	179	162

L'observation des résultats analytiques de cette station nous permet de retenir qu'en général, le sol présente une texture sablo-limoneuse en surface et en sub-surface. Elle devient argileuse dans la couche B<sub>t</sub>, où on remarque une nette individualisation du B<sub>t</sub>.

La structure est grumeleuse fine dans l'horizon A et polyédrique en B<sub>1</sub>. Par contre, en B<sub>t</sub> elle est très compacte à cause du type de texture qui y prédomine.

Le pH est faiblement acide dans l'horizon A. l'acidité de ce profil augmente dans les horizons moyen et inférieure.

Pour la matière organique, il y a une accumulation des composés humiques vers la surface où le taux est 2,93%. Le taux de matière organique a nettement diminué dans les couches B<sub>1</sub> et B<sub>t</sub>., tandis que les valeurs de l'azote total sont faibles (0,17%) à très faibles (0,03%).

Pour les cations échangeables, le Ca<sup>2+</sup> est prépondérant dans la couche supérieure du sol avec 5,8 meq/100g, puis ses concentrations deviennent très faibles vers la profondeur. Les autres éléments échangeables (Mg, Na et K) sont dans l'ensemble, moins présents dans

les horizons moyens et celui du bas de ce profil. Les valeurs de la conductivité électrique indiquent que ce sol est dans la classe non salé.

Après la réalisation des différents profils pédologique, on constate que la profondeur de l'horizon A se diffère d'une station à une autre, où elle est faible dans la formation mixte de liège – chêne zéen (11cm) et remonte progressivement jusqu'à atteindre son maximum dans la forêt du chêne liège (jusqu'à 45cm). On signale que l'horizon A présente une texture sablo-limoneuse.

Pour l'horizon B, leur profondeur est en relation avec les types des strates ; elle est faible dans les formations arbustives, et atteint son maximum dans les formations arborescentes. La texture est variable entre sablo-limoneuse, sablo-argileuse à argileuse.

Selon la variation de l'altitude, la matière organique est plus importante en bas de montagne, le pH devient de moins en moins acide et les valeurs des éléments échangeables (Ca, Mg, Na) augmentent légèrement.

### **3. Etude climatique**

En raison de leurs répercussions immédiates et durables sur le milieu naturel et sur l'homme, les questions de changement et de variabilité climatiques sont placées depuis quelques temps au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde.

La position géographique de l'Algérie est caractérisée par un climat méditerranéen (eaux chaudes et système orographique complexe). Position et intensité de la circulation générale de l'atmosphère caractérisée en :

Surface : *Par l'Anticyclone de Sibérie, des Açores, et la dépression d'Islande.*

Altitude : *Par des courants de vents forts (Jet Front Polaire et le Jet Subtropical).*

La grande variabilité naturelle de ces éléments rend plus difficile la détection d'un changement climatique. Néanmoins on constate que, d'après les résultats de certains travaux :

→ Les précipitations en Algérie ont tendance à la baisse depuis l'année 75 et la phase ascendante des pluies n'est pas encore prête d'être amorcée.

Les températures ont tendance à augmenter depuis plus de deux décennies sur la partie Nord de l'Algérie.

→ Le réchauffement a été de l'ordre de 0.5°C

→ La pluviométrie a baissé en moyenne de 10 % (Boucherf, 2010).

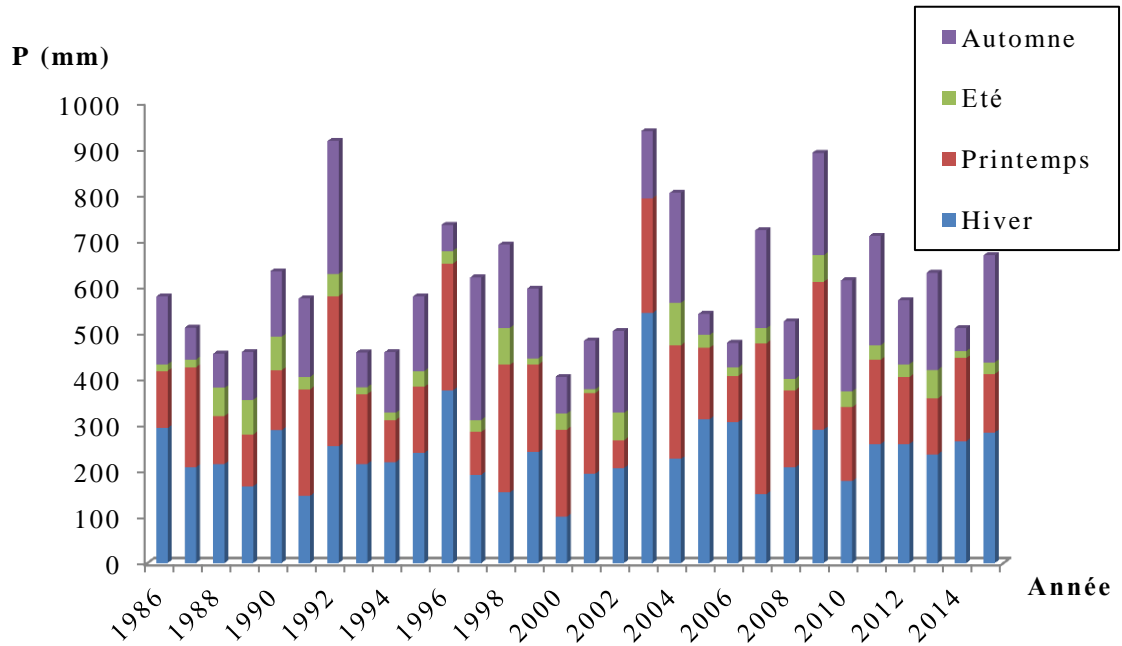
### **3.1. Variation des variables pluviométriques**

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat, les habitants et pour les écosystèmes. Pour la plus grande partie du monde, les précipitations représentent la source principale d'eau pour la production agricole; ce sont également des données climatiques très variables dans le temps et dans l'espace (Guyot, 1999).

#### **3.1.1. Le régime pluviométrique saisonnier**

Pour mieux saisir le régime pluviométrique saisonnier, nous avons adopté la méthode qui consiste à « diviser l'année en quatre trimestres astronomiques, de sorte que les mois initiaux de chaque trimestre contienne soit un solstice, soit un équinoxe » (Halimi, 1980). L'hiver a été défini comme la période de décembre, janvier et février (DJF) ; le printemps intègre les mois de mars à mai (MAM) ; l'été les mois de juin à août (JJA) et l'automne la période de septembre à novembre (SON).

L'analyse du régime saisonnier des précipitations montre que celui-ci diffère d'une année à l'autre, avec une dominance de la pluviométrie hivernale (fig. 23).



**Figure 23 : Variation du régime saisonnier des précipitations de la station de Belkheir (Guelma) pour la période 1986-2015**

Dans le but d'avoir une information concernant la valeur centrale, la dispersion et la distribution des observations relatives aux séries des précipitations, une statistique descriptive a été adoptée. La moyenne (Moy), l'écart type (S) et le coefficient de variation (CV) ont été calculés pour les quatre saisons sur une période de 30 années.

L'étude statistique descriptive des précipitations a donné les résultats suivants :

**Tableau 8 : Résultats de l'étude statistique descriptive des précipitations saisonnières de la région de Guelma**

	<b>Hiver</b>	<b>Printemps</b>	<b>Eté</b>	<b>Automne</b>	<b>Annuel</b>
<b>Moy</b>	240.81	179.32	36.12	152.65	608.91
<b>S</b>	81,65	73,84	23,64	73,56	142,04
<b>CV</b>	33,91	41,18	65,43	48,19	23,33

La moyenne des précipitations varie de 36.12mm pendant la saison estivale à 240.81 mm en hiver.

Les valeurs de l'écart type sont très élevées, cela signifie qu'elles sont assez loin de la moyenne.

Les valeurs du coefficient de variation sont très élevées pour l'ensemble des saisons nettement supérieures à 25% et atteint une valeur très forte en saison estivale (65%), ce qui montre l'intensité de la variabilité des précipitations durant cette saison. Donc, on peut dire que la dispersion autour de la moyenne est grande et que les données sont hétérogènes.

Les résultats ont été statistiquement analysés à l'aide du test-t de student en comparant les saisons entre elles. Ils montrent que la différence entre le printemps et l'automne n'est pas significative, alors que les différences entre les autres saisons sont significatives (tab. 9).

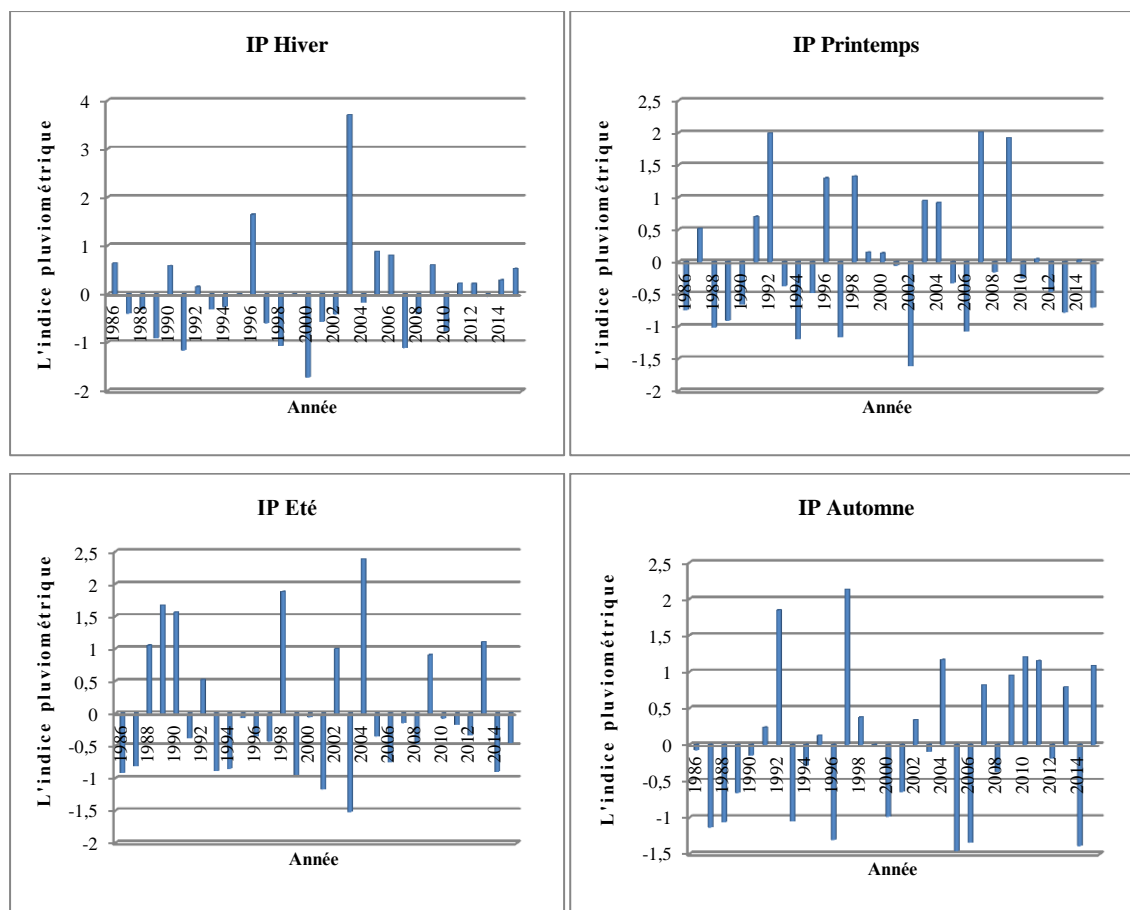
**Tableau 9 : Test-t de Student pour les saisons**

	Et-Au	Pr-Au	Pr-Et	Hi-Au	Hi-Et	Hi-Pr
Difference	-111.5440	36.5080	148.0520	88.5080	200.0520	52.0000
t (valeur Observé)	-7.9416	2.0216	9.2040	3.8397	10.8301	2.1846
t  (valeur Crical)	2.0639	2.0639	2.0639	2.0106	2.0106	2.0106
p-valeur (Deux-tailed)	<0.0001	<b>0.0545</b>	<0.0001	0.0004	<0.0001	0.0338
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Le classement décroissant des taux des précipitations saisonnières permet de montrer, que spatialement le régime saisonnier moyen de la période (1986-2015) est de type **HPAE** caractérisant notre zone d'étude.

### **3.1.2. L'indice pluviométrique de la période 1986-2015**

C'est la pluviométrie de l'année *i* moins la pluviométrie moyenne de la période d'étude sur l'écart type. Il indique que le climat du massif forestier de la Mahouna se caractérise par des saisons humides et sèches alternées d'année en année (fig. 24).



**Figure 24 : L'indice pluviométrique saisonnier de la quantité des pluies durant la période 1986-2015.**

Pour la saison hivernale, l'analyse montre que l'année 2003 a connu un hiver à forte humidité alors qu'une extrême sécheresse a été observée au niveau de l'année 2000.

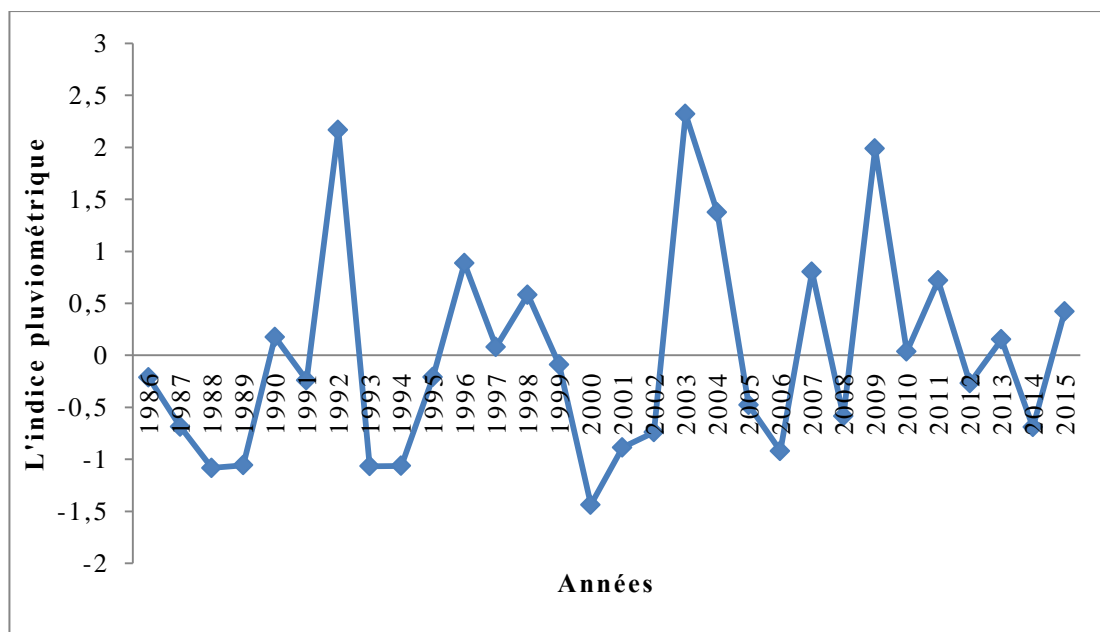
Au printemps, l'analyse indique la présence de 13 ans humides, alors que les autres sont des années sèches avec une extrême sécheresse pour l'année 2002.

En été on remarque que 8 années ont connu une saison estivale humide avec une forte humidité en 1997.

Pour la saison automnale, l'année 2004 est la plus humide.

L'analyse de l'indice pluviométrique annuel de la période (1986-2015), montre un changement variable, il est parfois irrégulier (3 années sèches pour une année humide) (fig. 25).





**Figure 25 : L'indice pluviométrique annuel de la quantité des pluies de la station de Belkheir (Guelma) durant la période 1986-2015.**

Ces résultats expliquent que la région de Guelma a connu un déséquilibre pluviométrique annuel durant la période (1986-2015) et elle tend vers des années de plus en plus sèches. L'analyse saisonnière montre une faible humidité hivernale et automnale, ce qui confirme le changement pluviométrique saisonnier de la région, ceci s'accorde avec les études de EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2004) qui ont enregistré une baisse significative (jusqu'à 20 %) de la pluviométrie en zone méditerranéenne (jusqu'à 20 %, dont 10 % en période estivale).

### **3.1.3. Analyse des précipitations saisonnières journalières de la période 2000-2010**

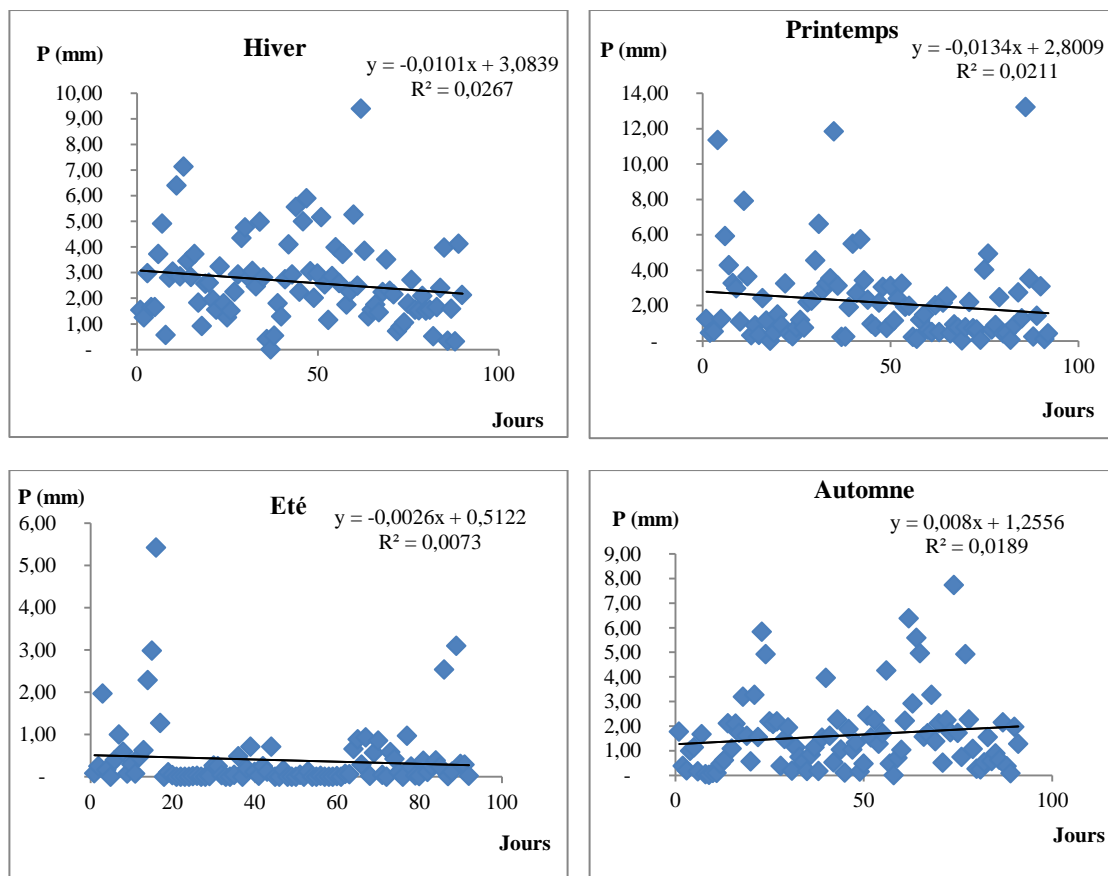
L'étude des moyennes pluviométriques saisonnières se justifie par l'importance de cette unité temporelle (Anser A., 1998).

L'évolution des précipitations moyennes saisonnières durant la période (2000-2010), montre que la saison hivernale connaît une répartition temporelle presque homogène, avec une forte tendance au début et une faible à la fin de la saison.

Pour la saison printanière, on remarque que la quantité pluviométrique baisse d'une manière sensible, en moyenne de 2,18mm quotidiennement.

En automne, les valeurs moyennes varient entre 0,1 et 2 mm avec quelques jours de fortes précipitations en fin de la saison (mois de novembre).

En été, les moyennes pluviométriques baissent nettement avec une moyenne quotidienne qui ne dépasse pas 0,4 mm, avec plusieurs jours non pluvieux particulièrement au milieu de la saison au mois de juillet (le mois le plus sec de la région), alors qu'on observe une augmentation pluviométrique légère au début et en fin de saison estivale (fig. 26).



**Figure 26 : Evolution des précipitations journalières saisonnières de la station de Belkheir (Guelma) pour la période 2000-2010**

Ces résultats ont été statistiquement analysés en utilisant coefficient de corrélation de pearson calculé à travers l'indice de précipitation du nombre de jours de pluie et l'indice de précipitation de la quantité des pluies durant les années ainsi que les saisons (tab. 10).

**Tableau 10 : Matrice de corrélation (Pearson)**

Variabiles	IP (j)a	IP (p)a	IP(j)h	IP (p)h	IP (j)p	IP (p)p	IP (j)e	IP (p)e	IP (j)au	IP (p)au
IP (j)a	<b>1</b>	<b>0.8270</b>	0.5407	0.0781	<b>0.8011</b>	<b>0.7835</b>	0.2656	0.4513	<b>0.6955</b>	<b>0.7471</b>
IP (p)a	<b>0.8270</b>	<b>1</b>	0.5935	0.5031	<b>0.6467</b>	<b>0.8023</b>	-0.206	0.2263	<b>0.6539</b>	0.5659
IP(j)h	0.5407	0.5935	<b>1</b>	<b>0.6641</b>	0.0492	0.4480	-0.3539	-0.1611	0.2019	-0.0851
IP (p)h	0.0781	0.5031	<b>0.6641</b>	<b>1</b>	-0.2652	0.1006	<b>-0.6764</b>	-0.3929	0.0563	-0.3158
IP (j)p	<b>0.8011</b>	<b>0.6467</b>	0.0492	-0.2652	<b>1</b>	0.6876	0.4245	<b>0.7066</b>	0.4635	<b>0.8663</b>
IP (p)p	<b>0.7835</b>	<b>0.8023</b>	0.4480	0.1006	<b>0.6876</b>	<b>1</b>	-0.1331	0.1357	<b>0.6401</b>	0.5102
IP (j)e	0.2656	-0.2060	-0.3539	<b>-0.6764</b>	0.4245	-0.1331	<b>1</b>	<b>0.6989</b>	0.0162	0.4516
IP (p)e	0.4513	0.2263	-0.1611	-0.3929	<b>0.7066</b>	0.1357	<b>0.6989</b>	<b>1</b>	0.0326	0.6124
IP (j)au	0.6955	0.6539	0.2019	0.0563	0.4635	0.6401	0.0162	0.0326	<b>1</b>	<b>0.6955</b>
IP (p)au	<b>0.7471</b>	0.5659	-0.0851	-0.3158	<b>0.8663</b>	0.5102	0.4516	0.6124	<b>0.6955</b>	<b>1</b>

*Valeur en gras sont différents de 0 avec un niveau de signifiante  $\alpha=0,05$*

IP(j) : indice de précipitation du nombre de jours de pluie

IP(p) : indice de précipitation de la quantité de la pluviométrie

a : année, h : hiver, p : printemps, e : été, au : automne

Le coefficient de corrélation de Pearson permet d'analyser les relations linéaires (Grasland, 2000). Le signe du coefficient de corrélation permet de déterminer si la corrélation est positive ou négative. L'amplitude du coefficient de corrélation détermine l'intensité de la corrélation qu'elle est décrite selon le guide d'Evans (1996) pour les valeurs absolues de r :

- 0.00-0.19 : très faible
- 0.20-0.39 : faible
- 0.40-0.59 : moyenne
- 0.60-0.79 : forte
- 0.80-1.0 : très forte

La corrélation de Pearson est utilisée dans cette étude essentiellement pour tester la relation entre le nombre de jours de pluies et la quantité de la pluviométrie selon les saisons et les années. Les résultats montrent une corrélation très forte et positive entre la quantité des précipitations

annuelles et le nombre annuel des jours de pluies, ainsi qu'entre les précipitations annuelles et les précipitations printanières. Ceci confirme que lorsque la précipitation annuelle (nombre de jours et cumul) augmente (ou diminue), la précipitation printanière sera augmentée (ou diminuée).

Une forte corrélation négative est observée entre la quantité de précipitation de l'hiver et le nombre de jours de pluie en été, ce qui signifie que lorsque l'hiver est humide, l'été est plus sec.

On note également la présence d'une forte positive corrélation entre les précipitations automnales et les précipitations annuelles.

Différents travaux ont montré l'importance des précipitations printanières et leur impact sur le rendement final. Les pluies de début de saison jouent également un rôle très important du point de vue en hauteur et date d'occurrence (Yacoubi et Hanchane, 2006).

En automne, les valeurs moyennes varient entre 0,1 et 2 mm avec quelques jours de fortes précipitations dans la fin de la saison (mois de novembre).

En été, les moyennes pluviométriques baissent nettement avec un moyen quotidien qui ne dépasse pas 0,4 mm avec plusieurs jours non pluvieux particulièrement au milieu de la saison en mois de juillet (le mois le plus sec de la région), alors qu'on observe une augmentation pluviométrique légère au début et en fin de saison estivale.

### **3.2. Variations thermiques**

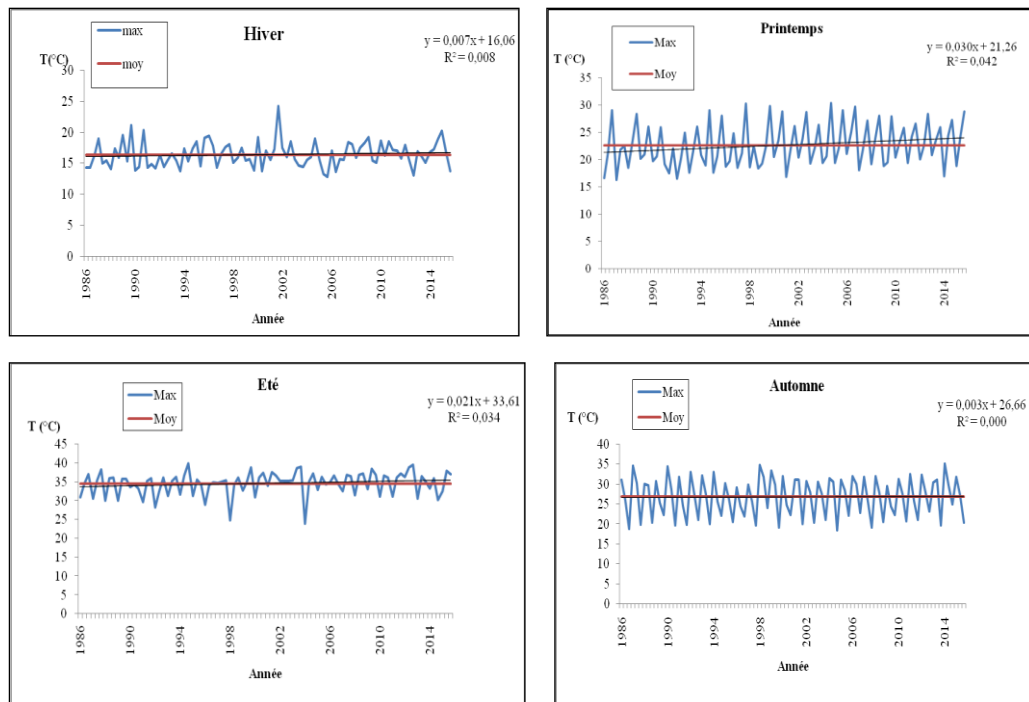
La température représente un facteur limitant de toute première importance car, elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 1984). La température est donc l'un des éléments majeurs influençant le climat d'une région.

#### **3.2.1. Variabilité thermique mensuelle au cours des saisons durant la période 1986 à 2015**

Le climat n'est pas une donnée immuable conditionnée par la forme de notre planète et sa position dans le système solaire. Les climatologues le définissent comme l'ensemble des paramètres statistiques de la

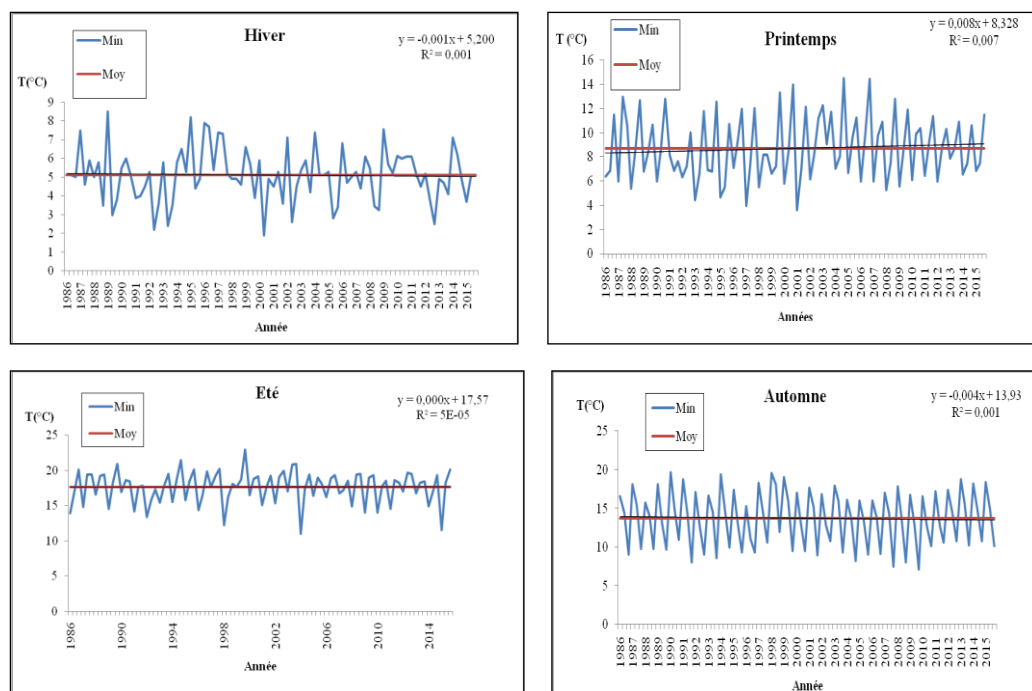
distribution des variables météorologiques sur une période conventionnelle de 30 ans de données continues.

Les planches d'évolution des températures maximales expriment une tendance moyenne, calculée sur des périodes de 30 années. L'augmentation de la température maximale en hiver et en été devrait se traduire par une augmentation significative de la fréquence des vagues de chaleur estivales et par celle des hivers doux (fig. 27), ceci s'accorde avec les résultats de météo France (DIRO/EC – janvier 2013).



**Figure 27 : Evolution des températures maximales moyennes mensuelles pour les quatre saisons durant la période 1986-2015.**

L'analyse des températures minimales moyennes des trente dernières années indique une légère diminution non significative de l'ordre de  $0.001^{\circ}\text{C}$  pour la saison hivernale et  $0.004^{\circ}\text{C}$  pour la saison automnale, alors que le printemps tend vers une légère augmentation non significative de l'ordre de  $0.008^{\circ}\text{C}$ . En revanche, les températures minimales de l'été sont stationnaires (fig. 28).



**Figure 28 : Evolution des températures minimales moyennes mensuelles pour les quatre saisons durant la période 1986-2015.**

### 3.2.2. Les tendances thermiques saisonnières

L'évolution des températures moyennes minimales et maximales journalières au cours des saisons durant la période (2000-2010) montre que la saison printanière tend vers un réchauffement hautement significatif de  $0.12^{\circ}\text{C}$ , alors que la saison automnale connaît un refroidissement très hautement significatif de  $-0.16^{\circ}\text{C}$ .

La saison estivale montre une variabilité non significative avec un réchauffement de  $0.06^{\circ}\text{C}$ , tandis que la saison hivernale montre une stabilité avec un léger refroidissement de  $-0.004^{\circ}\text{C}$  (fig. 29).

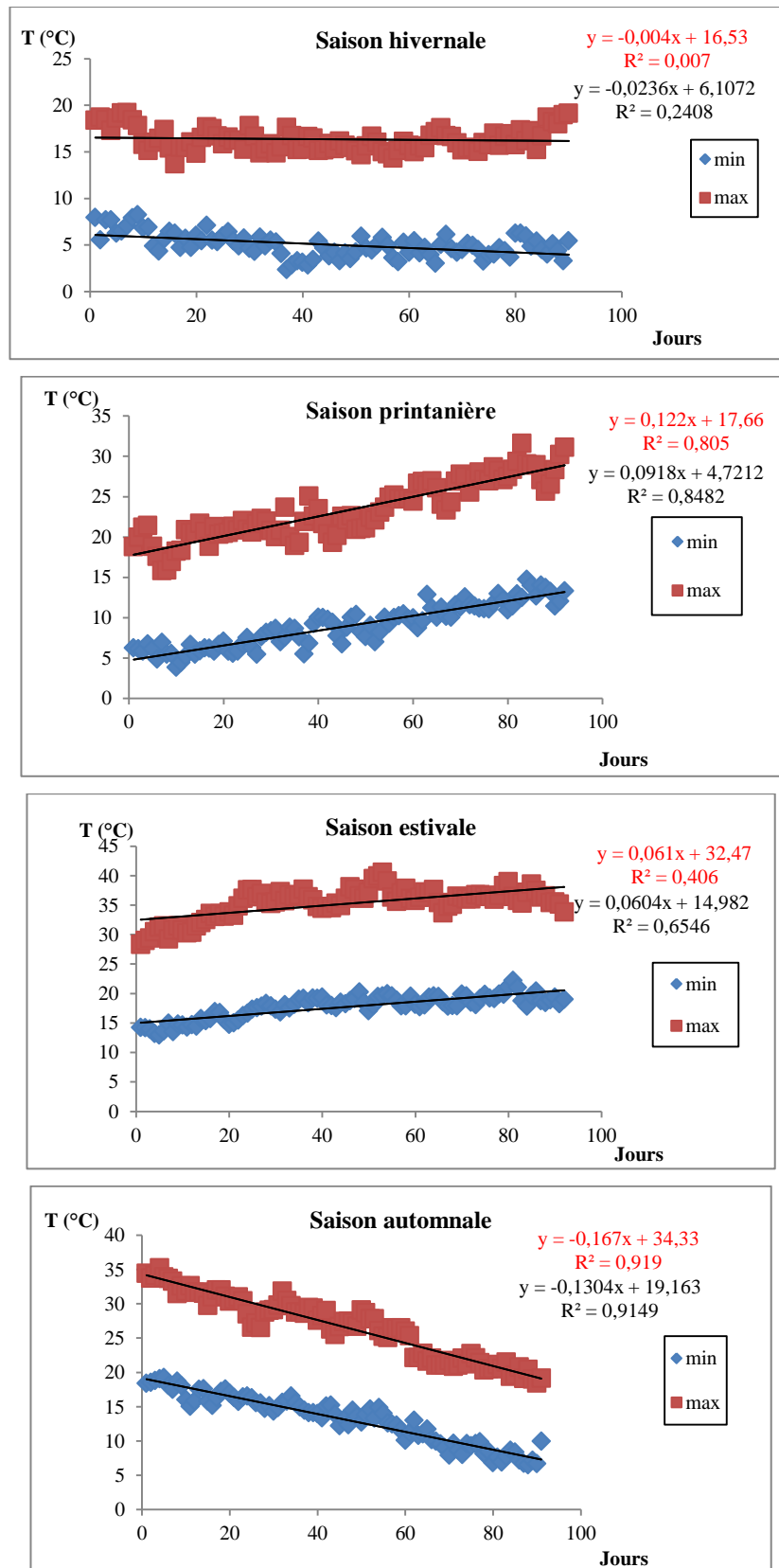


Figure 29 : Evolution des températures moyennes minimales et maximales journalières durant la période 2000-2010.

Ceci s'accorde avec les études de Bernard Seguin (2007), au niveau de la distribution spatiale, depuis 1976, le réchauffement est le plus net aux latitudes moyennes de l'hémisphère nord, et sur les surfaces continentales, qui se réchauffent plus que les surfaces océaniques. Il faut également noter que les températures minimales augmentent deux fois plus vite que les maximales.

Au niveau mondial, pour la température, on observe un réchauffement de l'ordre de 0,6°C depuis 1860, la date la plus ancienne pour laquelle des données suffisantes existent à l'échelle du globe. Le réchauffement du 20ème siècle est probablement le plus important de ceux constatés depuis les dernières mille années, et la dernière décennie est la plus chaude de toutes celles considérées : 9 des années les plus chaudes se situent entre 1995 et 2004 (la plus chaude étant 1998, avec 0,58°C au dessus de la moyenne (Jones et Moberg, 2003), pour la région de Guelma l'année 2004 est marquée par des températures chaudes (0.42°C au dessus de la moyennes pour les températures minimales et 0.74°C au dessus de la moyennes pour les températures maximales).

### **3.2.3. Variabilité des températures maximales et minimales saisonnières de la période 2000-2010**

Les températures maximales journalières de chaque saison pour la période 2000-2010, montre que leur moyenne est estimée respectivement à 16.35°C pour la saison hivernale, 23.33°C pour le printemps, 35.2°C pour l'été et 26.64°C pour la saison automnale (fig. 30).



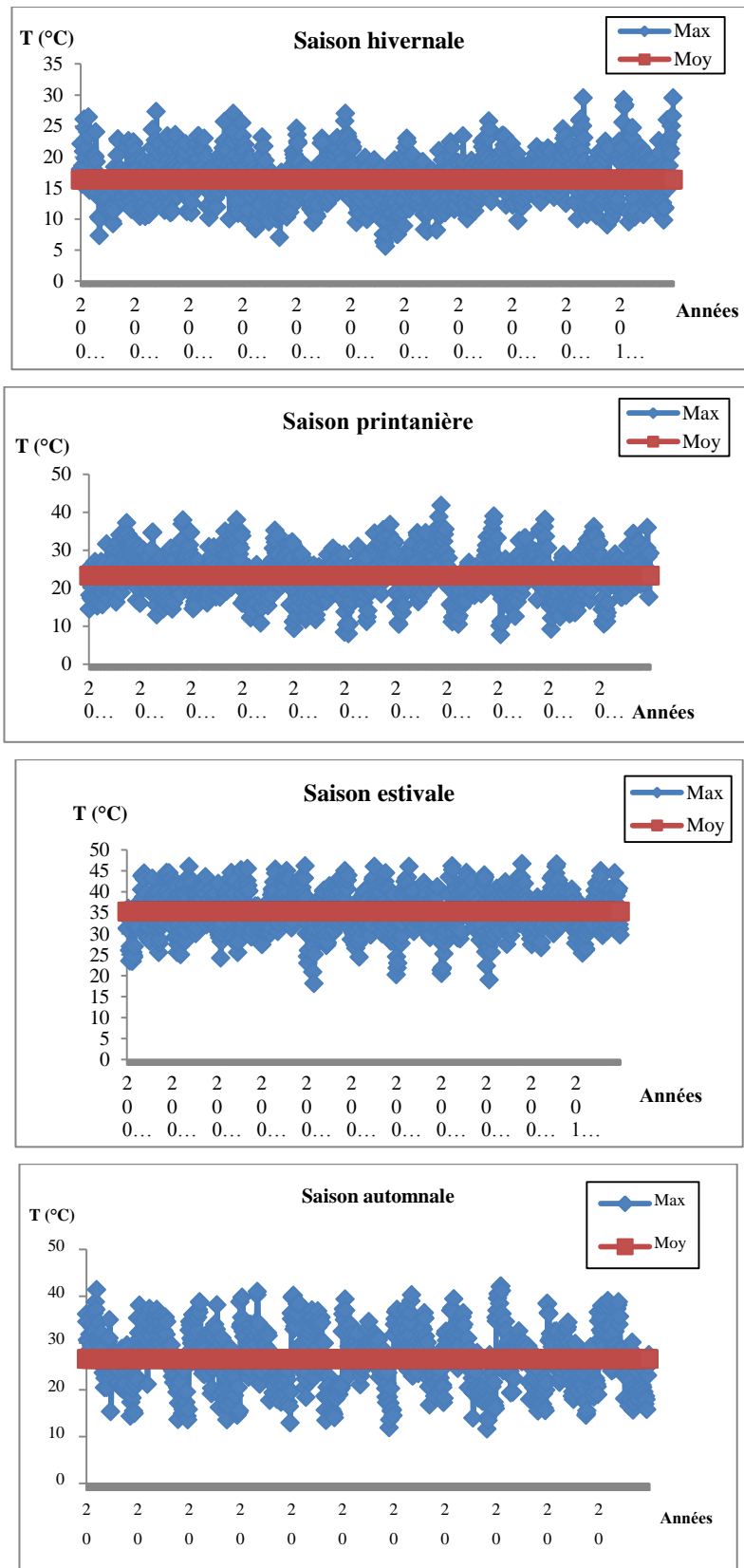


Figure 30 : Evolution des températures maximales journalières pour la période 2000-2010.

Les tendances thermiques de la température minimale illustrent une augmentation non significative des températures minimales journalières pour la saison hivernale de l'ordre de  $0.001^{\circ}\text{C}$ , tandis qu'une légère diminution est remarquable au niveau de la saison automnale. Le printemps et l'été sont marqués par des températures régulières (fig. 31).

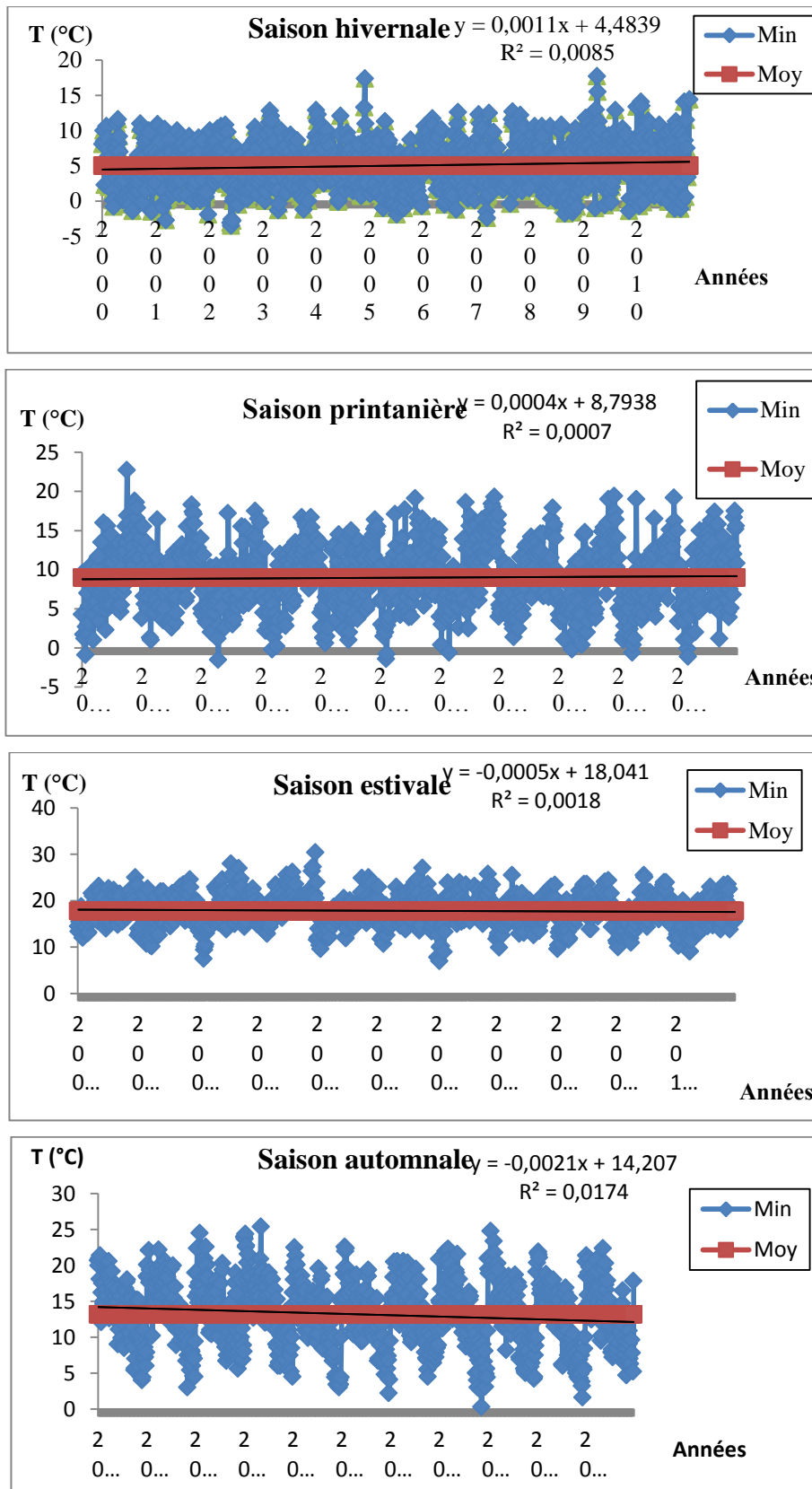
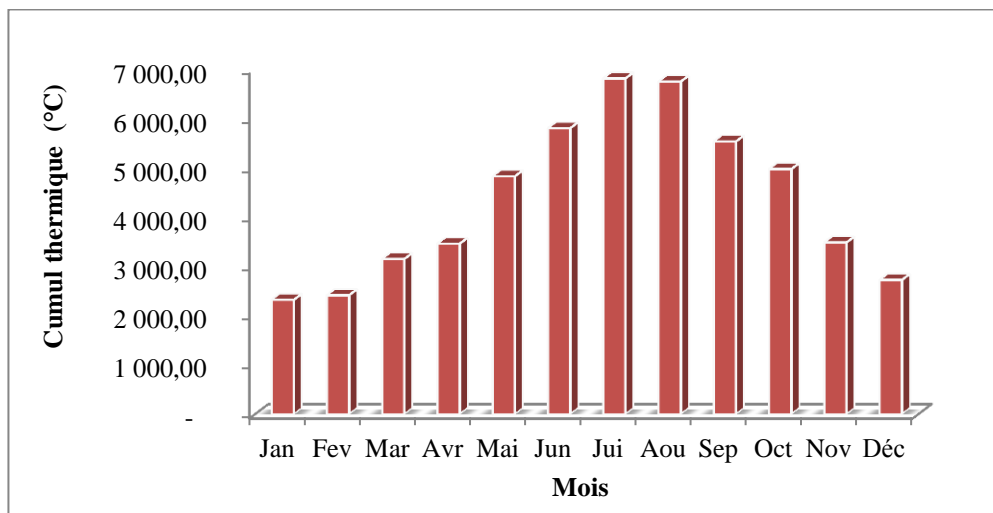


Figure 31 : Evolution des températures minimales journalières pour la période 2000-2010.

Les observations de cette évolution thermique montre que la saison hivernale tend vers des années de plus en plus chaudes, alors que les phases des saisons printanières et estivales sont plus régulières.

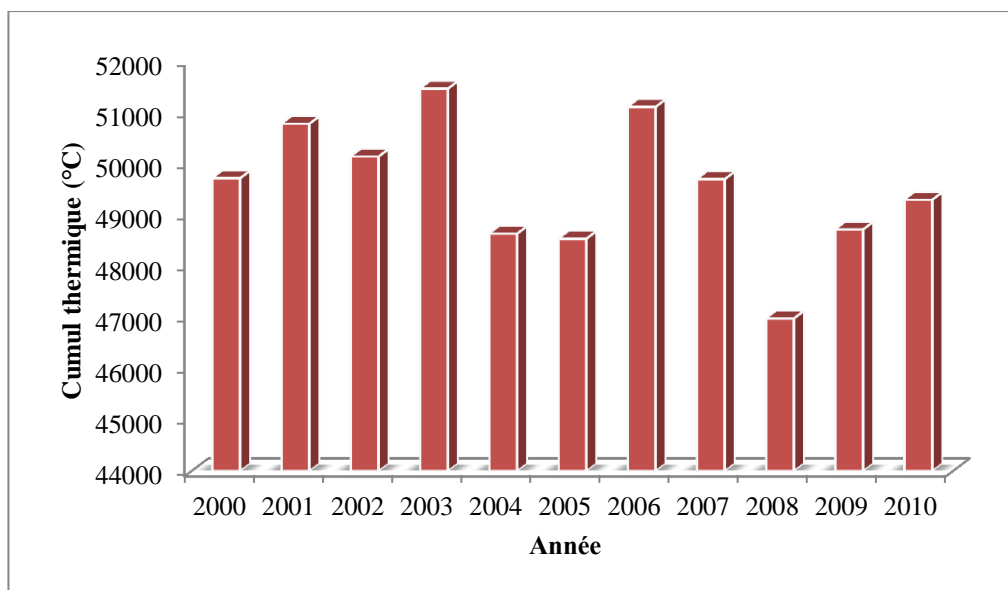
### 3.2.4. Variabilité du cumul thermique de la période 2000-2010

Le cumul thermique journalier est calculé à travers la somme des huit observations journalières des températures, ainsi que le cumul mensuel selon la somme des cumuls thermiques journalières de tout le mois. L'évolution du cumul thermique mensuel montre une variation graduelle où le mois de janvier occupe la plus faible valeur (2321.60°C), alors que la valeur maximale est observée au niveau du mois de juillet (6817.05°C) (fig. 32).



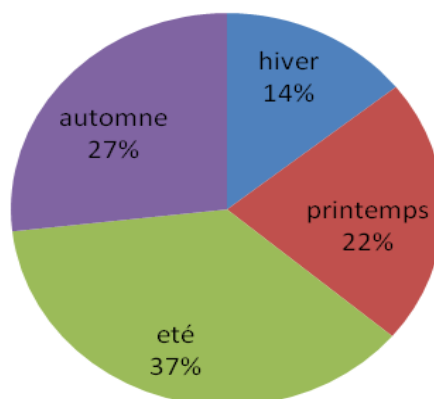
**Figure 32 : Cumul thermique mensuel dans la région de Guelma (2000-2010).**

Le régime thermique annuel s'évolue d'une année à l'autre avec des fortes valeurs enregistrées au cours des années 2001, 2003 et 2006 et la plus faible valeur est observée durant l'année 2008 ce qui signifie que l'année 2003 est la plus chaude que 2008 (fig. 33).



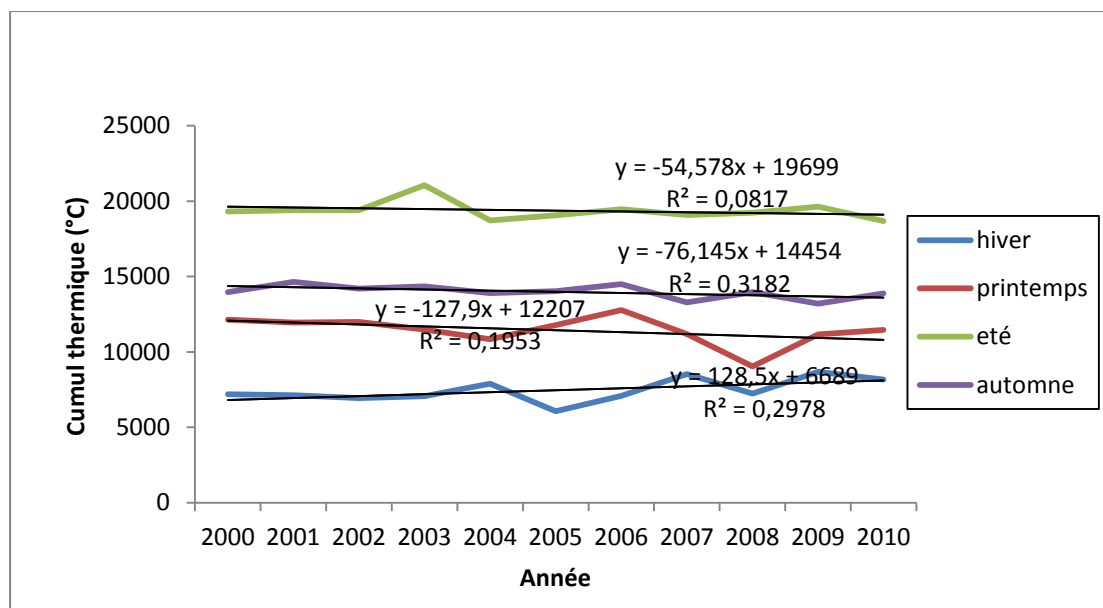
**Figure 33 : Cumul thermique annuel dans la région de Guelma (2000-2010).**

Le spectre thermique réparti entre les saisons montre que le régime thermique est de type EAPH (fig. 34).



**Figure 34 : Spectre thermique moyen saisonnier dans la région de Guelma (2000-2010).**

La variabilité thermique saisonnière au cours des 11 années montre que la saison hivernale tend vers une augmentation non significative de l'ordre de 128.5°C, tandis que les autres saisons tendent vers une diminution du taux du cumul thermique (fig. 35).



**Figure 35 : Evolution des cumuls thermiques saisonniers dans la région de Guelma (2000-2010).**

L'analyse de la matrice de corrélation de Pearson réalisée sur le cumul thermique saisonnier durant 11 années, montre la présence d'une forte corrélation négative entre le cumul thermique hivernale et automnale (tab. 11).

**Tableau 11 : Matrice de corrélation (Pearson)**

	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Hiver	1			
Printemps	-0,26024694	1		
Eté	-0,21252863	0,1398955	1	
Automne	<b>-0,7282796</b>	0,37754262	0,28919526	1

*Valeur en gras sont différents de 0 avec un niveau de signifiante  $\alpha=0,05$*

### 3.2.5. Stress enregistrés durant la période 2000- 2010

Pour la période s'étendant de 1986 à 2015, nous avons calculé la moyenne des maxima du mois le plus chaud ( $M=36.44^{\circ}\text{C}$ ) et la moyenne des minima du mois le plus froid ( $m =4.70^{\circ}\text{C}$ ) pour mieux définir les périodes exceptionnellement froides et exceptionnellement chaudes pour la région de Guelma. Nous remarquons que la répartition de ces stress au

cours du temps peut donner une indication sur la tendance des variations thermiques pour la période considérée.

Les stress sont définis par rapport aux températures minimales (m) et maximales (M) moyennes des mois les plus froids et chauds de la zone d'étude.

### 3.2.5.1. Les températures fraîches inférieures à $m=4.7^{\circ}\text{C}$

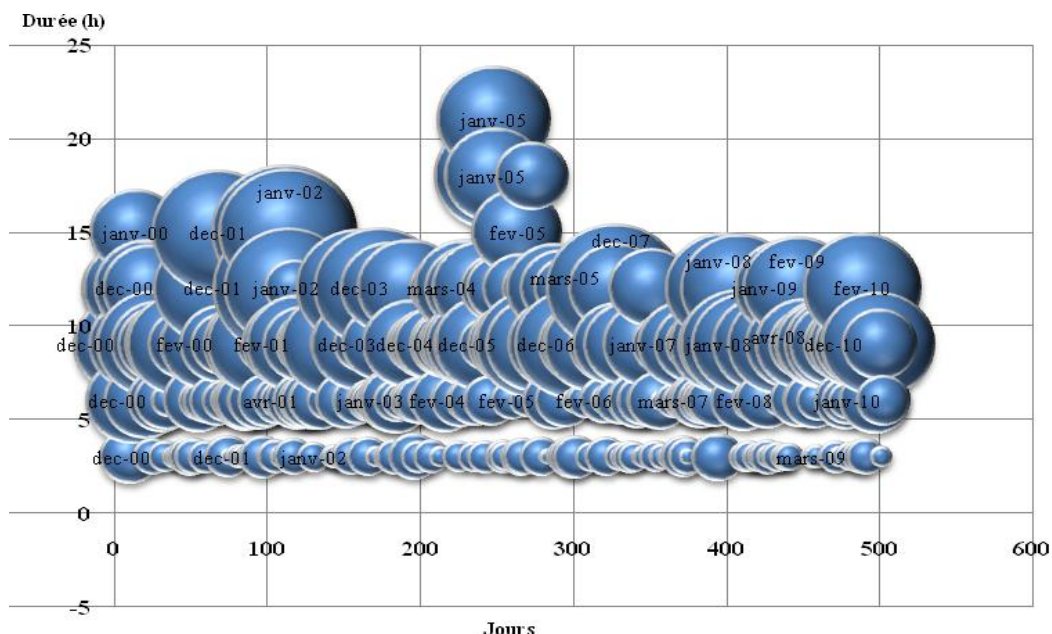
Nous avons choisi les paramètres suivants:

- La date du stress
- La durée du stress(en heures).
- Le poids: en degrés Celsius, avec  $4.70^{\circ}\text{C}$  de température minimale comme référence: par exemple : une température minimale de  $(+0.50^{\circ}\text{C})$  aura un poids de:  $4.70^{\circ}\text{C} - 0.50^{\circ}\text{C} = 4.20^{\circ}\text{C}$ . On fait la somme de ces valeurs pour toute la durée de stress.

$$\text{Poids} = (T_m - T_i)$$

- L'intensité du stress: (poids/durée en degrés Celsius/heure) : par exemple : un poids de  $4.20^{\circ}\text{C}$  sur une durée de 3 heures donne une intensité de  $1.4^{\circ}\text{C/h}$ .

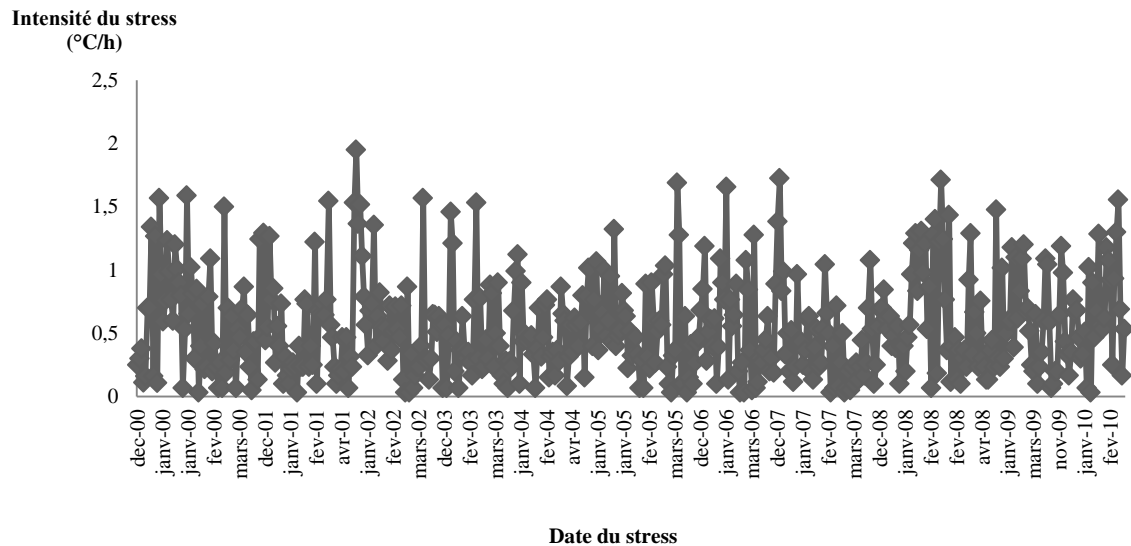
Toutes ces données ont été reprises dans le graphique suivant:



**Figure 36 : Stress au froid enregistré durant la période 2000-2010.**

L'analyse des données thermiques tri-horaire montre que durant la période de 2000 à 2010, on observe 502 jours de stress au froid avec des

durées variant de 3 à 21 heures. La taille des sphères est proportionnelle au poids de stress : plus les sphères sont petites plus le poids de stress est faible. Les périodes de refroidissement les plus intenses se regroupent durant l'année 2002 pour le mois de janvier, en 2007 pour le mois de décembre et en 2010 pour février. Un stress très important a été enregistré en mars 2005 avec une intensité de 1.27°C/h (fig. 37).



**Figure 37 : Intensité du stress au froid durant la période 2000-2010.**

En région méditerranéenne, les facteurs prépondérants qui régissent la distribution des plantes sont le stress hydrique (sécheresse) et le stress thermique hivernal (froid ou gel) (Mitrakos, 1980, 1982). Les végétaux et les formations végétales se répartissent de ce fait en fonction de ces deux critères écoclimatiques, d'où les zonations latitudinales et altitudinales de la végétation (Le Houérou, 1995).

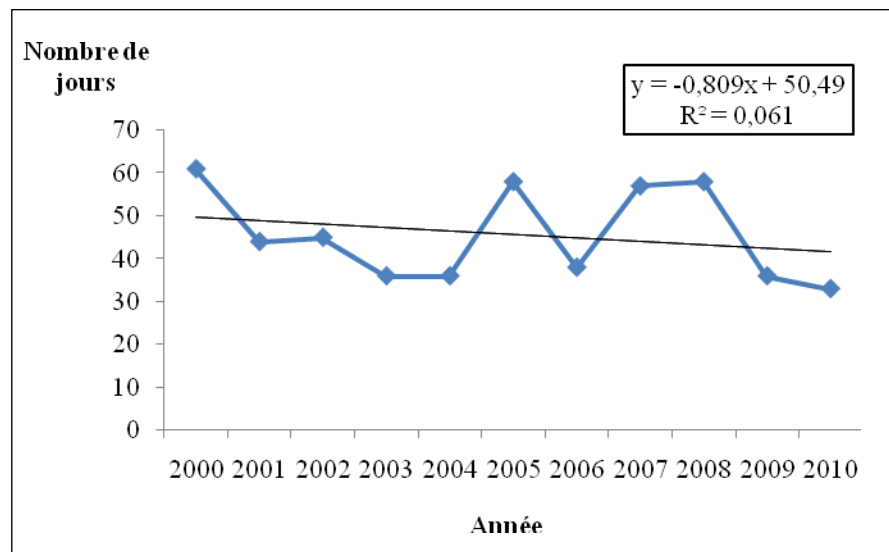
Mitrakos en 1980 a montré que la distribution des espèces sclérophylles sempervirentes, typiques du climat méditerranéen, est déterminée principalement par le stress du froid hivernal, bien caractérisé par le critère « m », qui est bien souvent, beaucoup plus déterminant que les fortes températures pour la végétation phanérophytes en particulier (Cote, 1987 ; Quézel et Médail, 2003). Ce stress thermique hivernal conditionne divers aspects de la biologie et écophysologie de ces espèces, la distribution, la reproduction, la productivité et les taux de survie des



ligneux en fonction des accidents abaissant brusquement et longuement les minima hivernaux ; les effets étant cumulatifs d'année en année, autant que ceux de la sécheresse (Mitrakos, 1980, 1982 ; Quézel et Médail, 2003).

Durant la période d'étude de 11 années, les résultats montrent que notre site a subi 3438 heures de stress de froid, soit 143,25 jours avec une intensité moyenne de 0.01 à 2°C/h.

L'analyse de la période du stress au froid indique une diminution de l'ordre de 0.80 du nombre de jours du stress au froid (fig. 38), ces résultats sont comparables à ceux obtenus à l'échelle globale (Trenberth *et al.*, 2007) ou alpine (Durand *et al.*, 2009), indiquant une augmentation des températures depuis les années 1980, quelle que soit l'altitude considérée, ainsi qu'une baisse du nombre de jours de gel de 12 à 14 % (ONERC, 2008).



**Figure 38 : Tendances du nombre de jours du stress au froid durant la période 2000-2010.**

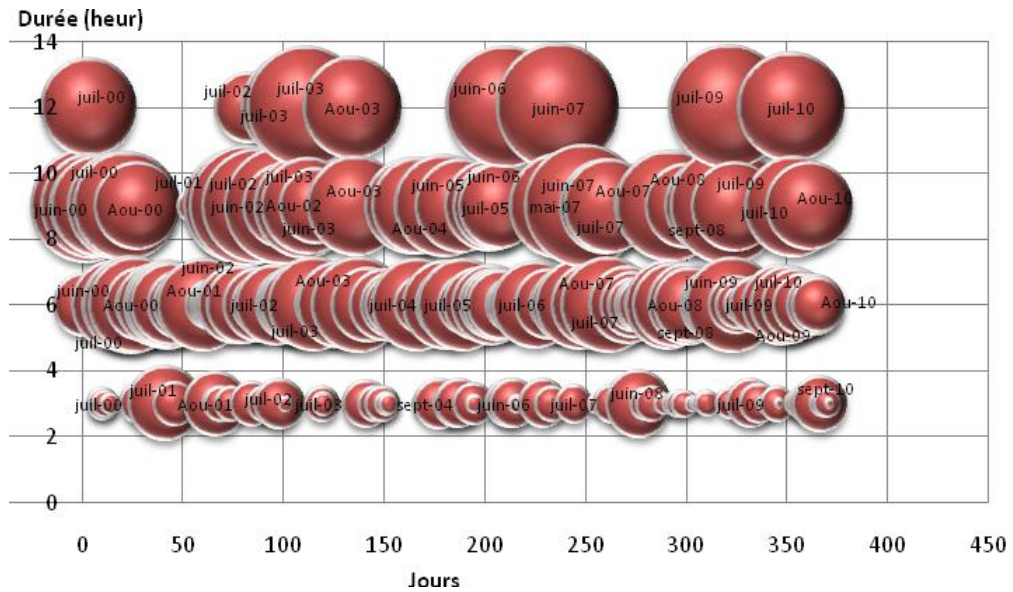
### 3.2.5.2. Les températures chaudes supérieures à M=36.44°C

Pour les hautes températures le poids du stress est exprimé en degrés/heure, avec 36.44°C de température maximale comme référence: une température maximale de 39°C aura un poids de:

$39^{\circ}\text{C}-(36.44^{\circ}\text{C})= 2.56^{\circ}\text{C}$ . On fait la somme de ces valeurs pour toute la période de stress (annexe ).

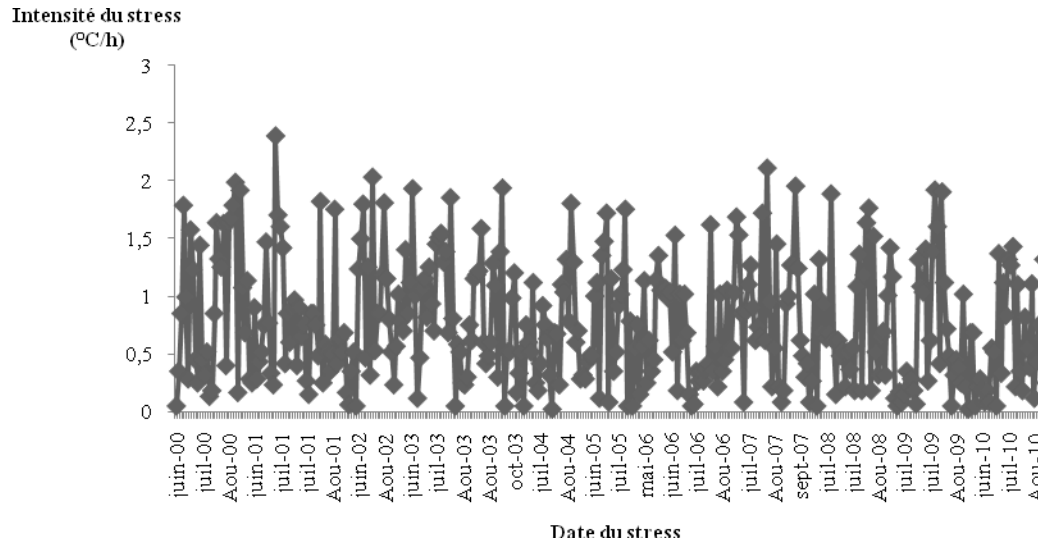
Le graphe ci –dessous montre les principaux stress de chaleur enregistrés durant les 11 années (2000 à 2010).

Le diamètre des sphères est proportionnel au poids de la période de réchauffement (fig. 39).



**Figure 39 : Stress de chaleur durant la période 2000-2010.**

L’analyse des températures maximales supérieurs à  $M=36.44^{\circ}\text{C}$  montre que les périodes de réchauffement les plus importants d’une durée de 12 heures, sont enregistrées pour les mois de juillet et les années 2000, 2002, 2003, 2009 et 2010, pour un fort stress est observé au cours du mois d’aout 2003. Les mois de juin 2006 et 2007 ont été marqués par un stress très intense avec une durée de 12 heures (fig. 40).

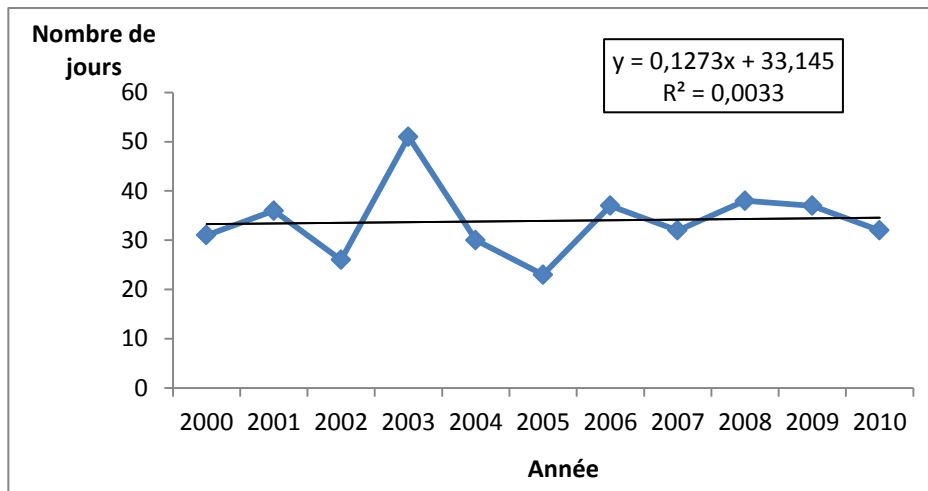


**Figure 40 : Intensité du stress à la chaleur durant la période 2000-2010.**

Les températures qui régissent les possibilités d'existence des végétaux sont celles qui favorisent ou empêchent leur naissance et leur croissance pendant leurs premières années (Nsibi et al., 2006).

Les résultats indiquent que les périodes extrêmement chaudes sont enregistrées au cours de la saison estivale ainsi que la saison automnale. En effet, les températures automnales plus chaudes retardent le processus d'endurcissement des plantes, ce qui les rend plus sensibles aux premières gelées (Lepage et al., 2011).

L'analyse de la période du stress à la chaleur fait ressortir une augmentation de l'ordre de 0.12 du nombre de jours chaudes (fig. 41). La région d'étude connaît une augmentation du nombre de vagues de chaleur pendant la période 2000 - 2010.

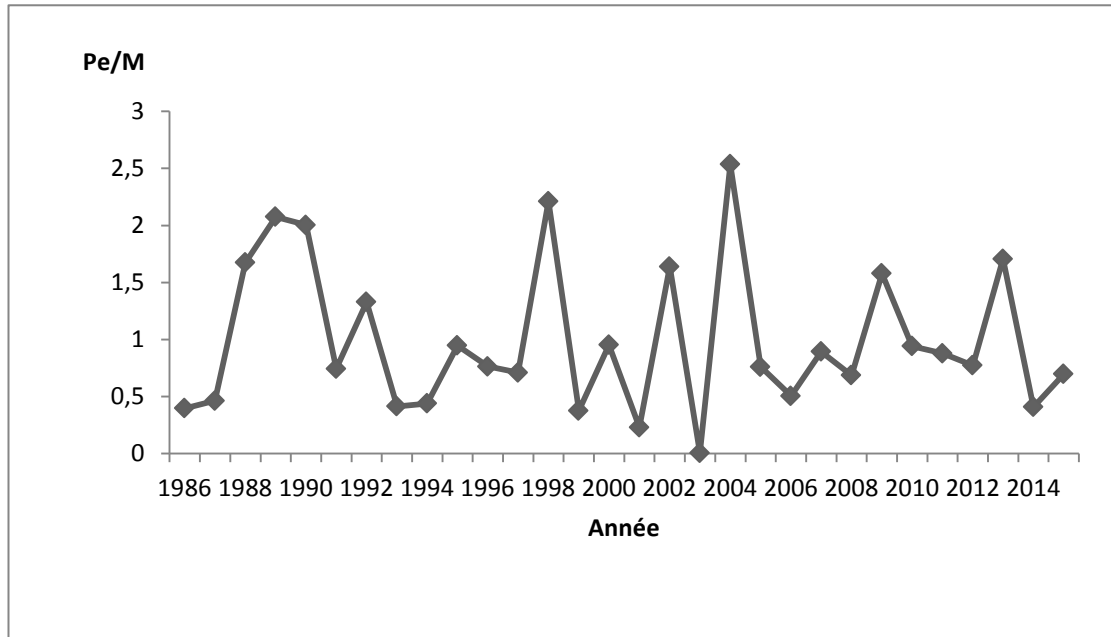


**Figure 41 : Tendances du nombre de jours de stress à la chaleur durant la période 2000-2010.**

### **3.3. L'indice de sécheresse estivale d'Emberger-Giacobbe et méditerranéité**

A la suite de Giacobbe, Emberger (1943) a caractérisé l'intensité de la sécheresse estivale par un indice S,

Le rapport entre la pluviosité estivale (Pe) à la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M). Cet indice constitue un complément indispensable à la caractérisation du climat méditerranéen. Si celui-ci est inférieur à 5, il y a sécheresse estivale et la station est ipso facto méditerranéenne (Daget, 1977a & b). Ce quotient (Pe/M) nous a permis de quantifier l'intensité de la période sèche pour l'écosystème forestier de la Mahouna durant la période 1986 à 2015. Ceci indique déjà que la régénération du Chêne liège a supporté une sécheresse estivale assez forte surtout en 2003 (fig. 42).

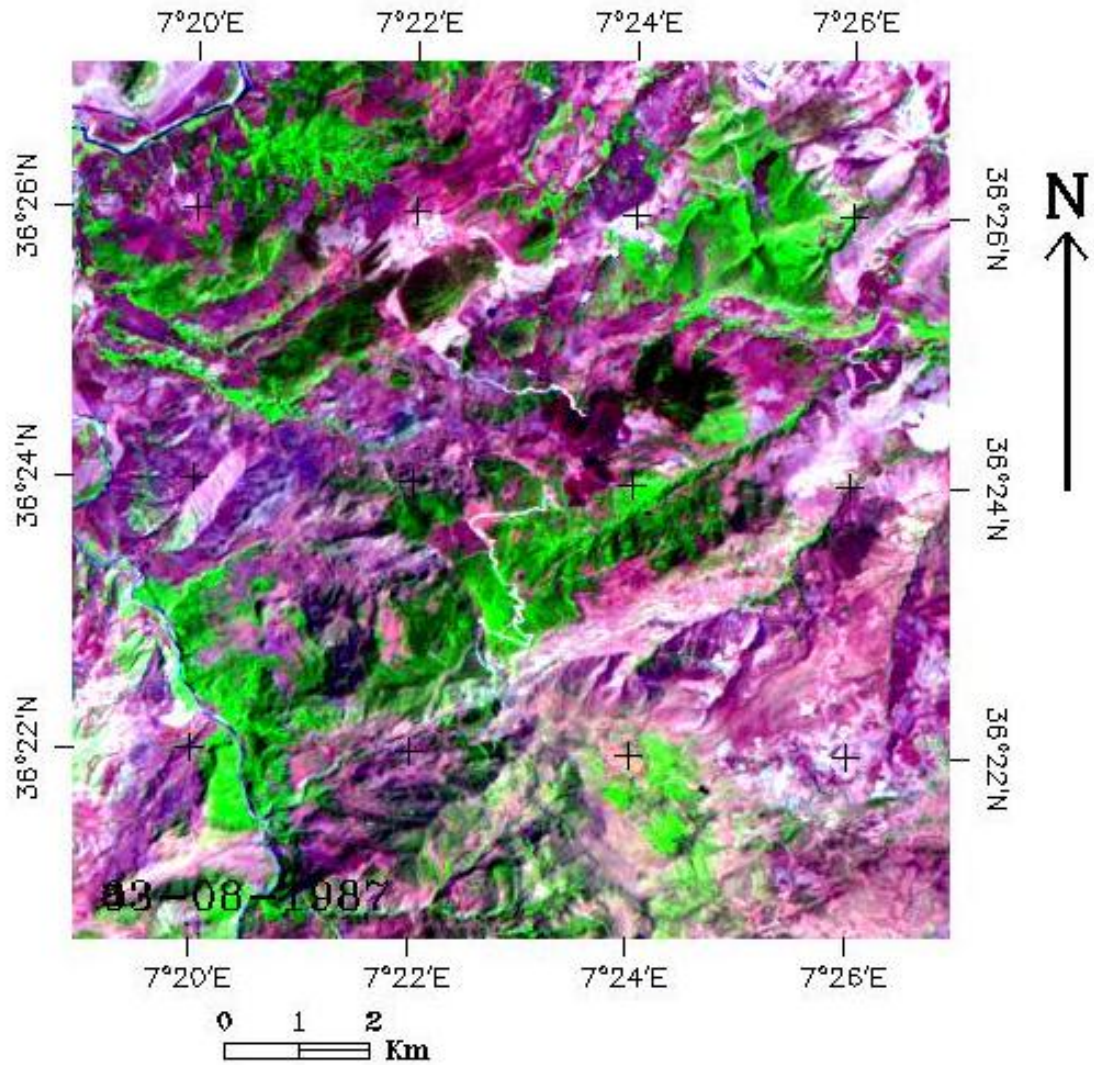


**Figure 42 : La sécheresse estivale d’Emberger durant la période 1986-2015.**

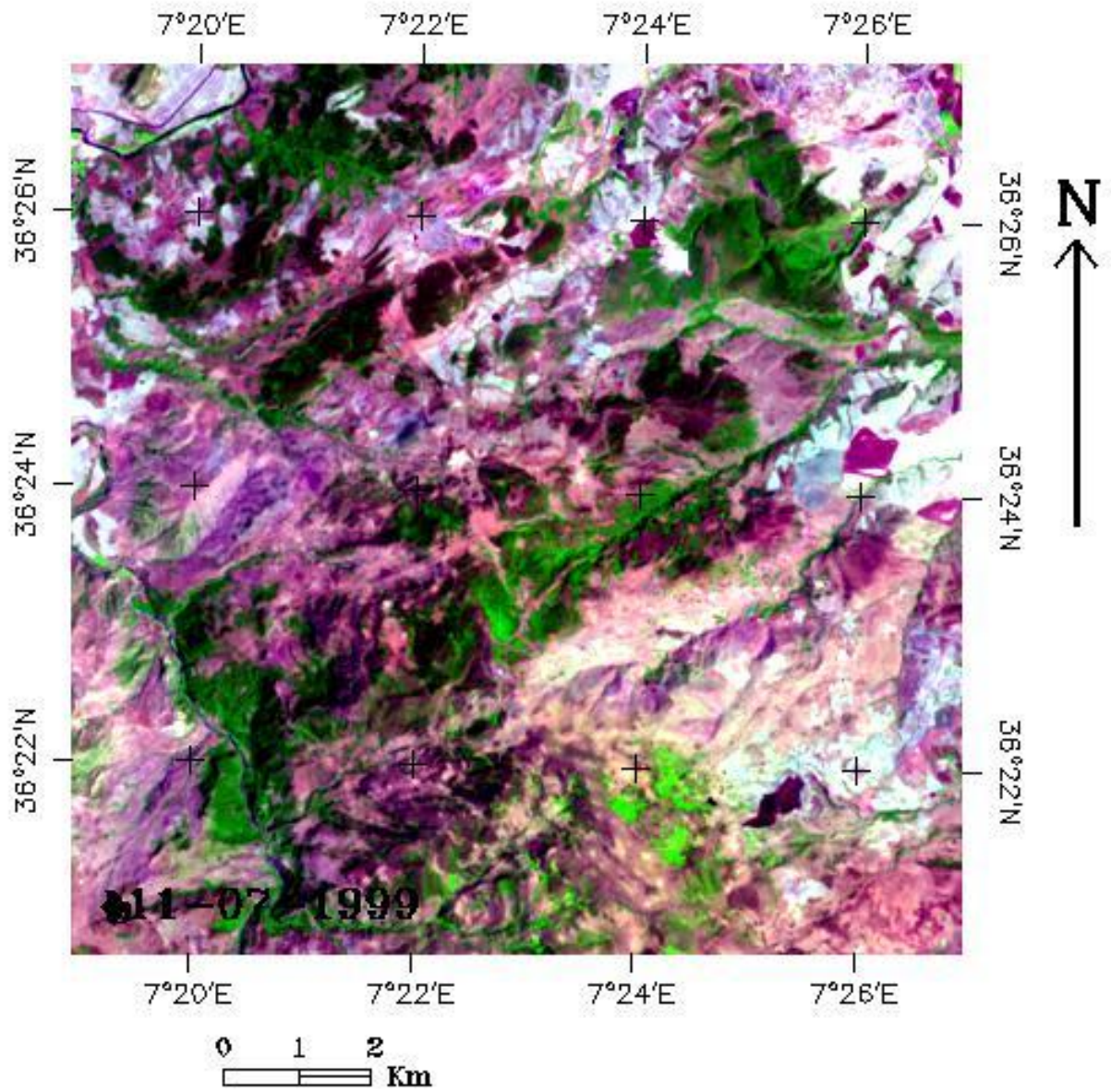
#### **4. Etude conjointe du climat et de la végétation de l’écosystème forestier de la Mahouna par télédétection**

##### **4.1. Analyse de la dynamique des formations végétales**

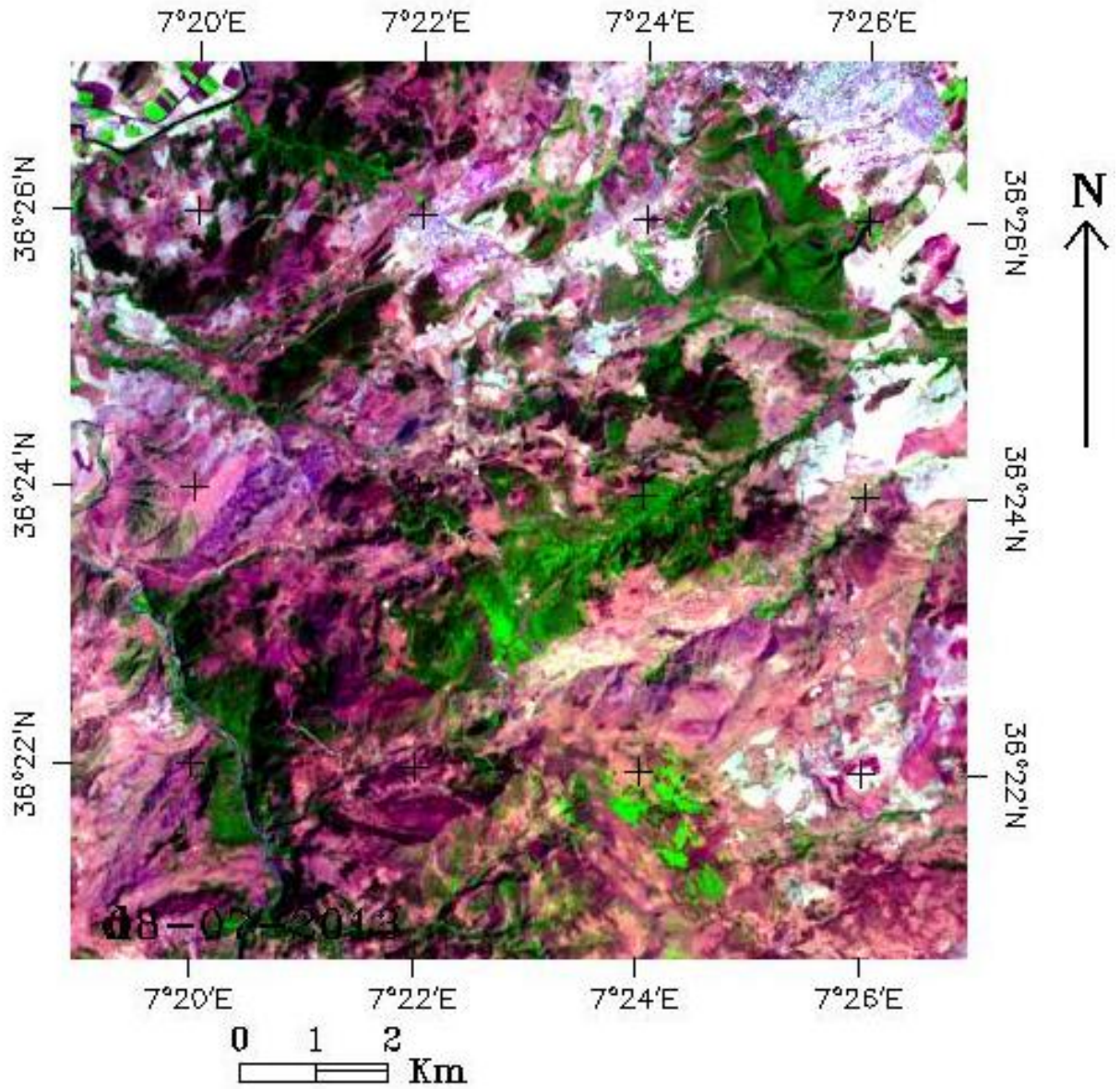
Les compositions colorées LANDSAT 4, et ETM+ (5-4-3) du 03 Août 1987, 11 juillet 1999 et Landsat 8 (6-5-4) du 14 juillet 2003, obtenues à l’issue du traitement des images sont présentées par les figures 43, 44 et 45.



**Figure 43 : Compositions colorées des bandes 5-4-3 des images LANDSAT de 1987.**



**Figure 44 : Compositions colorées des bandes 5-4-3 des images LANDSAT de 1999.**



**Figure 45 : Compositions colorées des bandes 6-5-4 des images LANDSAT de 2013.**

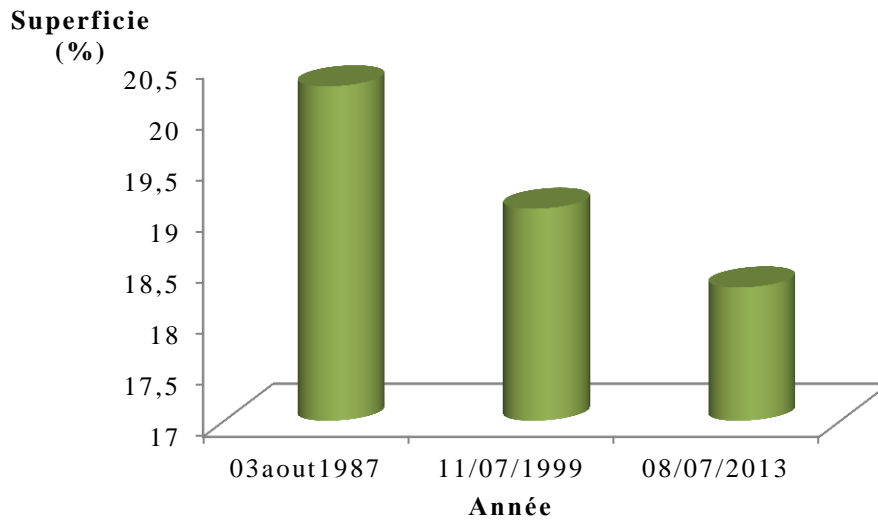


Les classes thématiques, identifiables sur les compositions colorées sont réparties en quatre groupes, sur ces compositions colorées :

- Les sols nus apparaissent dans des colorations allant du rose au mauve ;
- les plans d'eau apparaissent en bleu foncé ;
- les forêts, en vert foncé ;
- Les constructions (bâti) en blanc.

En comparant les figures (45), (44) à (43), on constate une diminution des colorations vertes foncés et roses correspondants aux forêts et aux sols nus. On observe également une augmentation du blanc qui correspond à des nouvelles installations du bâti. Les compositions colorées TM 5-4-3, ETM+ 5-4-3 utilisées dans cette étude ont été utiles pour cartographier la couverture végétale. Le choix des bandes, dont deux dans l'infrarouge (TM 5, TM 4, ETM+ 5 et ETM+ 4) et une dans le rouge (TM 3 et ETM+ 3), a permis de discriminer les formations végétales entre elles et de les différencier des autres occupations du sol. En effet, la chlorophylle, pigment caractéristique de la végétation, réfléchit dans l'infrarouge (Pony et al., 2000). Plusieurs auteurs comme Koné et al. (2007) et Dibi N'Da et al. (2008) ont utilisé les bandes infrarouges dans leurs compositions colorées pour cartographier l'occupation du sol et de la végétation.

L'analyse statistique des compositions colorées montre que la superficie de la végétation est en régression. Le taux de la végétation était à 20.27% en 1987 diminue progressivement à 18.30% en 2013 (fig. 46).



**Figure 46 : Formations végétales (%) dans le massif forestier de la Mahouna de la période de 1987 à 2013.**

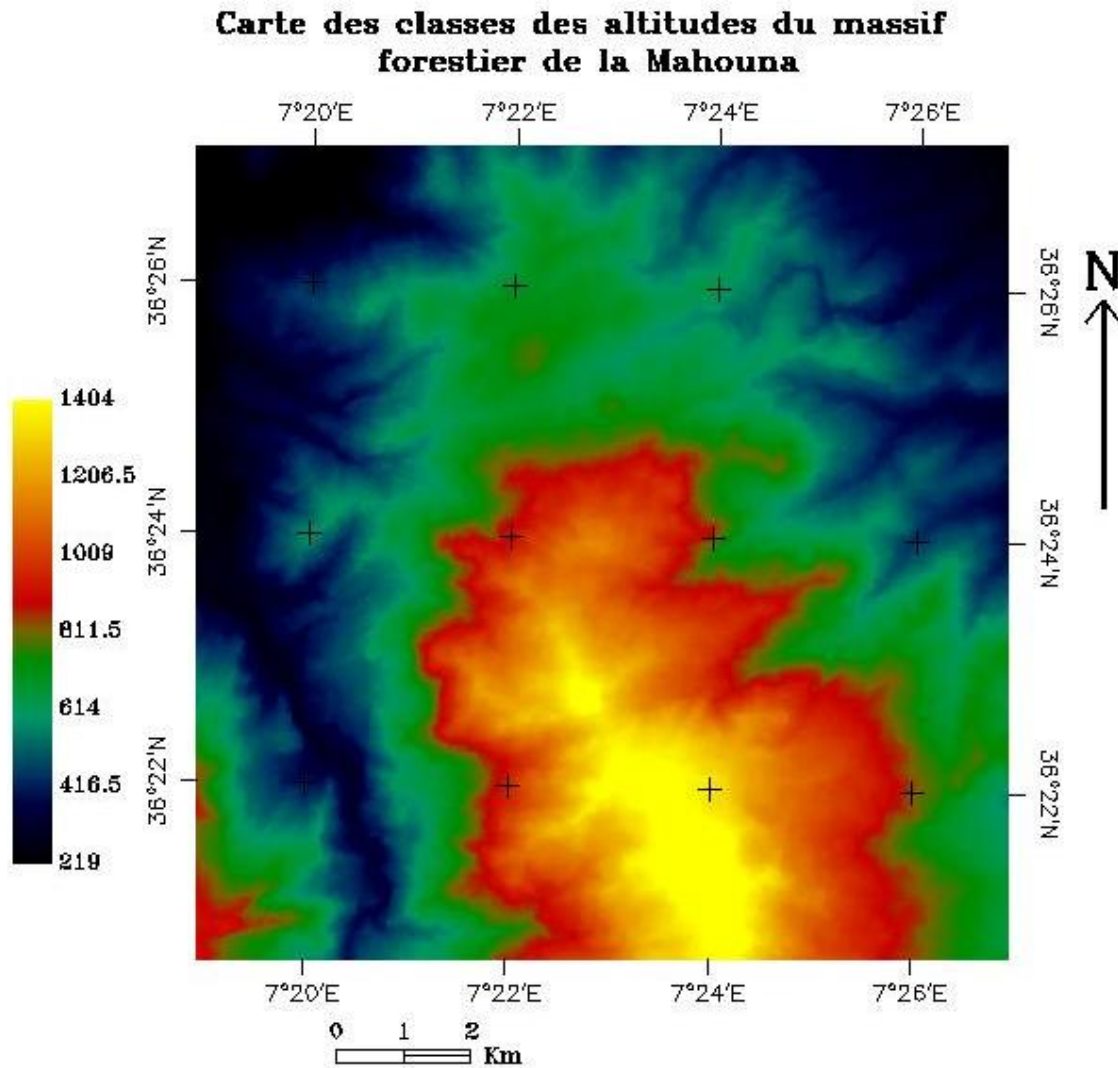
#### **4.2. Description du relief du massif forestier de la Mahouna**

Le modèle numérique du terrain permet de bien synthétiser l'information altimétrique du terrain. Son traitement dérive de différentes cartes thématiques :

##### **a- La carte des classes des altitudes**

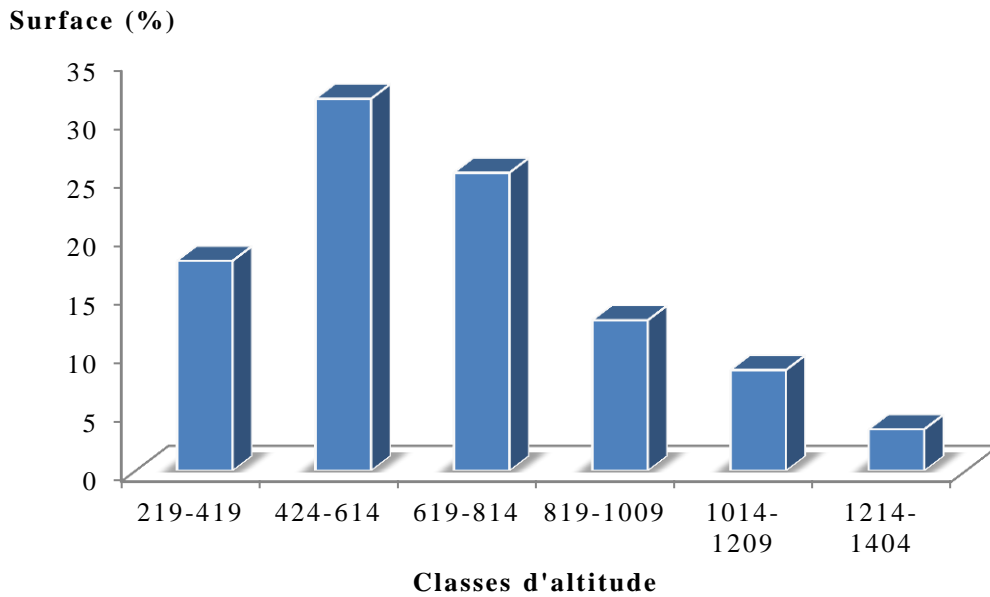
Chaque pixel du MNT représentant une altitude, leur regroupement par classes de plusieurs niveaux livre une carte qui synthétise les grandes classes des altitudes de la zone étudiée.

L'examen de la carte hypsométrique montre que l'altitude augmente du nord vers le sud avant de diminuer lentement dans l'extrême sud vers Oued charef et l'extrême nord est vers la ville de Guelma (fig. 47).



**Figure 47 : Carte hypsométrique du massif forestier de la Mahouna.**

L'analyse de la carte hypsométrique permet de ressortir six classes d'altitude entre 219m et 1404 m. Les deux classes (424-614) et (619-814) occupent des surfaces plus importantes dans la zone d'étude avec des pourcentages de 31 à 25% ; il s'agit des terrains de piémonts et des collines alors que la classe (1214-1404) représente une faible surface ; ce sont des sommets des montagnes (fig. 48).



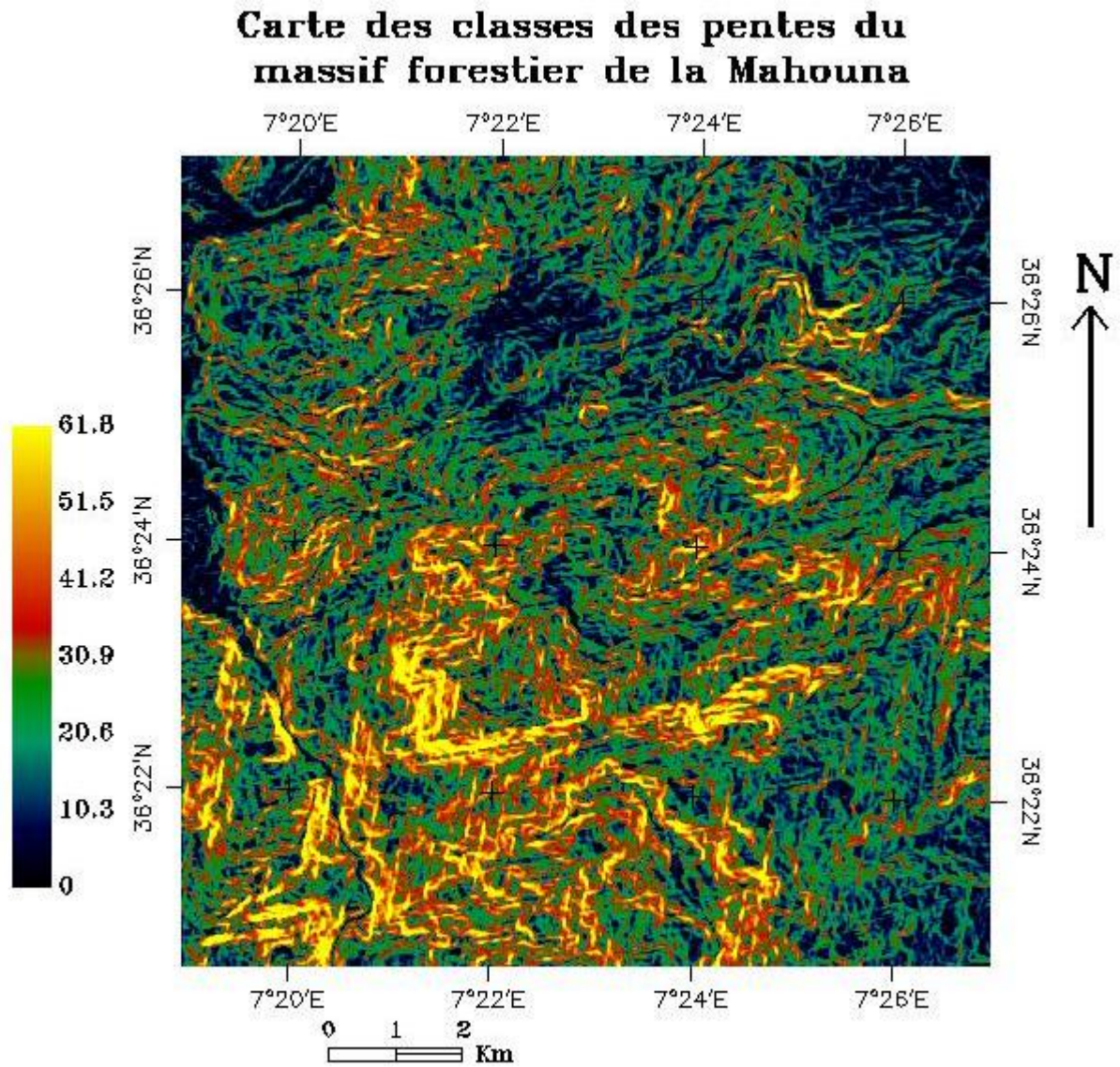
**Figure 48 : Superficie des classes altitudinales du massif forestier de la Mahouna.**

#### **b- La carte des pentes**

Elle est réalisée par traitement numérique du modèle numérique du terrain à l'aide de l'application topographic modeling dans le logiciel ENVI 5.0. Cette carte des pentes est faite avec beaucoup de précision, elle mentionne les diverses valeurs mesurées des lignes de plus grandes pentes et leurs directions. Elle indique enfin l'allure générale concave, convexe, rectiligne ou irrégulière des éléments constituant les versants (fig. 49).

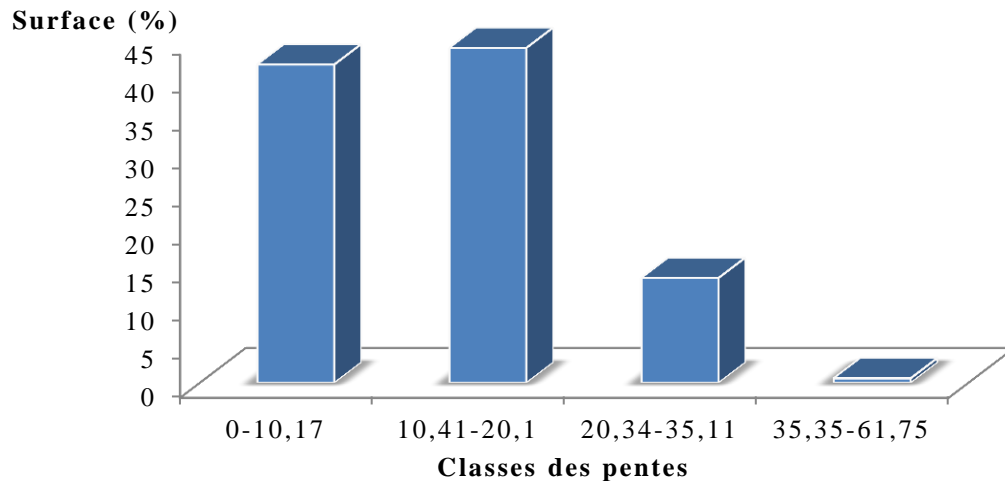
La carte illustre la valeur des pentes de chaque espace ou de chaque forme topographique, on distingue :

- Les pentes fortes où très fortes > 35%
- Les pentes moyennes entre 20 et 35%
- Les pentes faibles entre 4 et 10%
- Les pentes très faibles entre 0 et 4%



**Figure 49 : Carte des classes des pentes du massif forestier de la Mahouna.**

En dépouillant statistiquement cette carte des pentes, les résultats montrent que certaines valeurs des pentes sont plus fréquentes que d'autres. Les classes les plus fréquentes sont celles de 0-1.17 et 10.41-20.1 (fig. 50).



**Figure 50 : Classes des pentes du massif forestier de la Mahouna.**

Les pentes nulles à faibles couvrent une grande surface (41.73%), il s'agit des plaines, des zones d'épandage (oued) et de bas piémonts.

Les pentes moyennes sont assez bien représentées dans le massif forestier de la mahouna (43.91%). Ce sont des terrains sur djebels et zones accidentées.

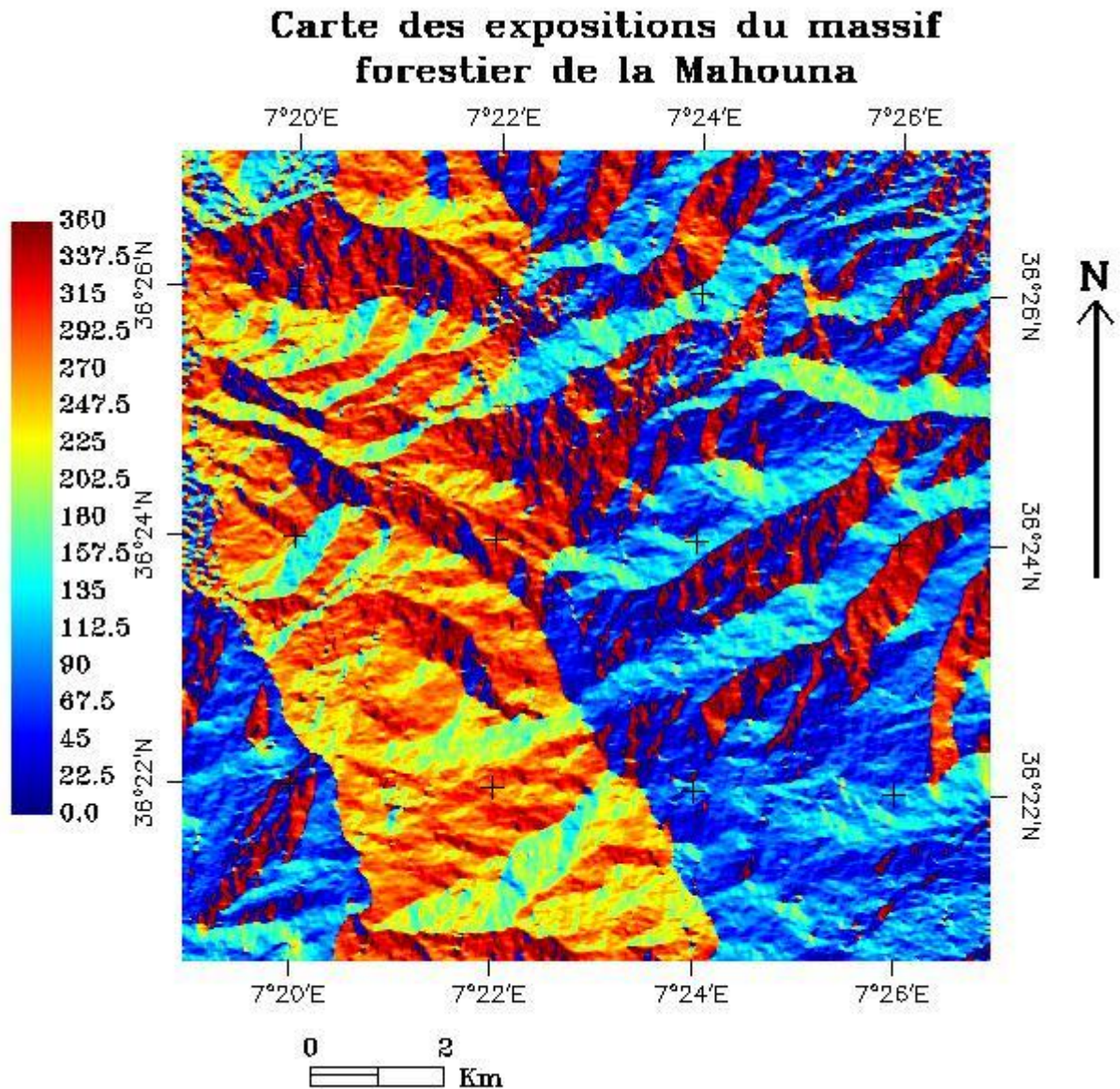
Les pentes fortes ou très fortes sont un peu représentées et sont situées surtout sur les sommets de montagnes.

### **c. Carte des expositions**

L'exposition traduit la situation du versant par rapport aux vents dominants et à l'ensoleillement. La carte des expositions a été faite à l'aide de l'analyse du MNT par l'intermédiaire du logiciel ENVI. Huit principales classes d'expositions ont été retenues dont chaque exposition correspondant à un quartier de 45° centré sur la valeur moyenne de cette exposition. Elles sont déterminées par rapport aux huit points cardinaux avec des valeurs exprimées en degré avec le nord comme origine (fig. 51) :

- **Nord** = 0° à 22.5° et 337.5 à 360°
- **Nord-Est** = 22,5° à 67.5
- **Est** = 67.5° à 112.5°

- **Sud-Est** = 112,5° à 157.5°
- **Sud** = 157,5° à 202.5°
- **Sud-Ouest** = 202,5° à 247.5°
- **Ouest** = 247,5° à 292.5°
- **Nord-Ouest** = 292,5° à 337.5°



**Figure 51 : Carte des classes des expositions du massif forestier de la Mahouna.**

A partir de cette carte, on note que la zone d'étude est orientée vers le Nord, Nord-Est et l'Est, ce qui explique la dominance de la végétation

et l'intensité de la forêt parfois dense de chêne zéen et de chêne liège jusqu'à une altitude relativement basse, 400 m environ, en revanche les expositions Sud, Sud-Est et Sud-Ouest représentent moins de 27% de la superficie totale de la zone d'étude (fig. 52).

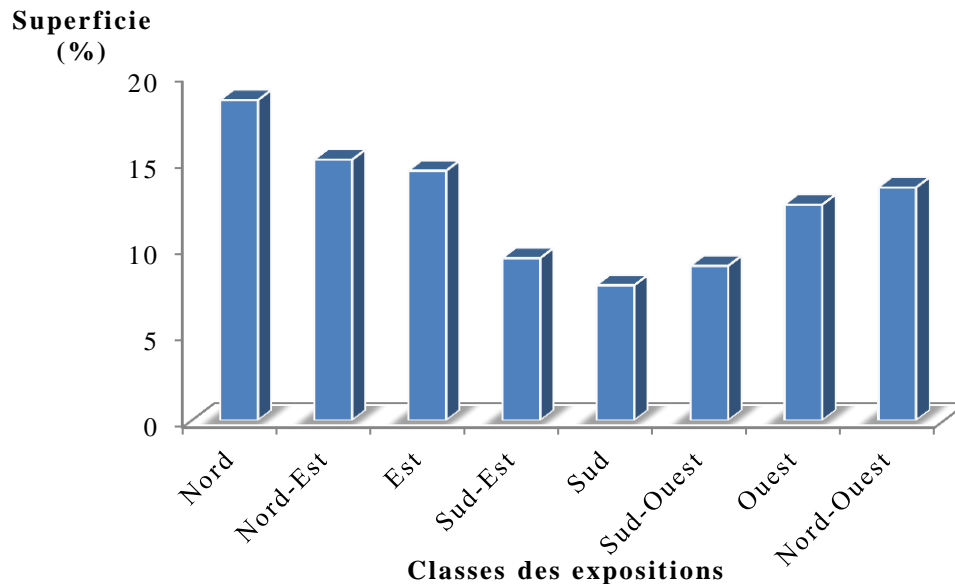


Figure 52 : Classes des expositions du massif forestier de la Mahouna.

#### 4.3. Calcul de l'indice de végétation normalisé (NDVI)

Les analyses de la dégradation des forêts et des changements d'affectation des terres représentent des exemples majeurs d'application de cette approche. Il est en effet possible de comparer des images issues d'années différentes. Ces images doivent être prises à la même période de l'année, de façon à réduire au maximum l'expression de variables telles que la qualité de la lumière, la géométrie de l'observation et, dans le cas d'écosystèmes végétaux, les différences de comportement d'une communauté au cours de l'année (Singh, 1986; Mouat et al., cité par Chuvieco, 1998).

La composition du cortège floristique se caractérise essentiellement par la présence des trois types de végétation (chêne kermès, chêne liège et chêne zéen), sachant que la zéenaie est caducifoliée avec une période représentative de l'état de la densité en saison estivale. Pour cette raison



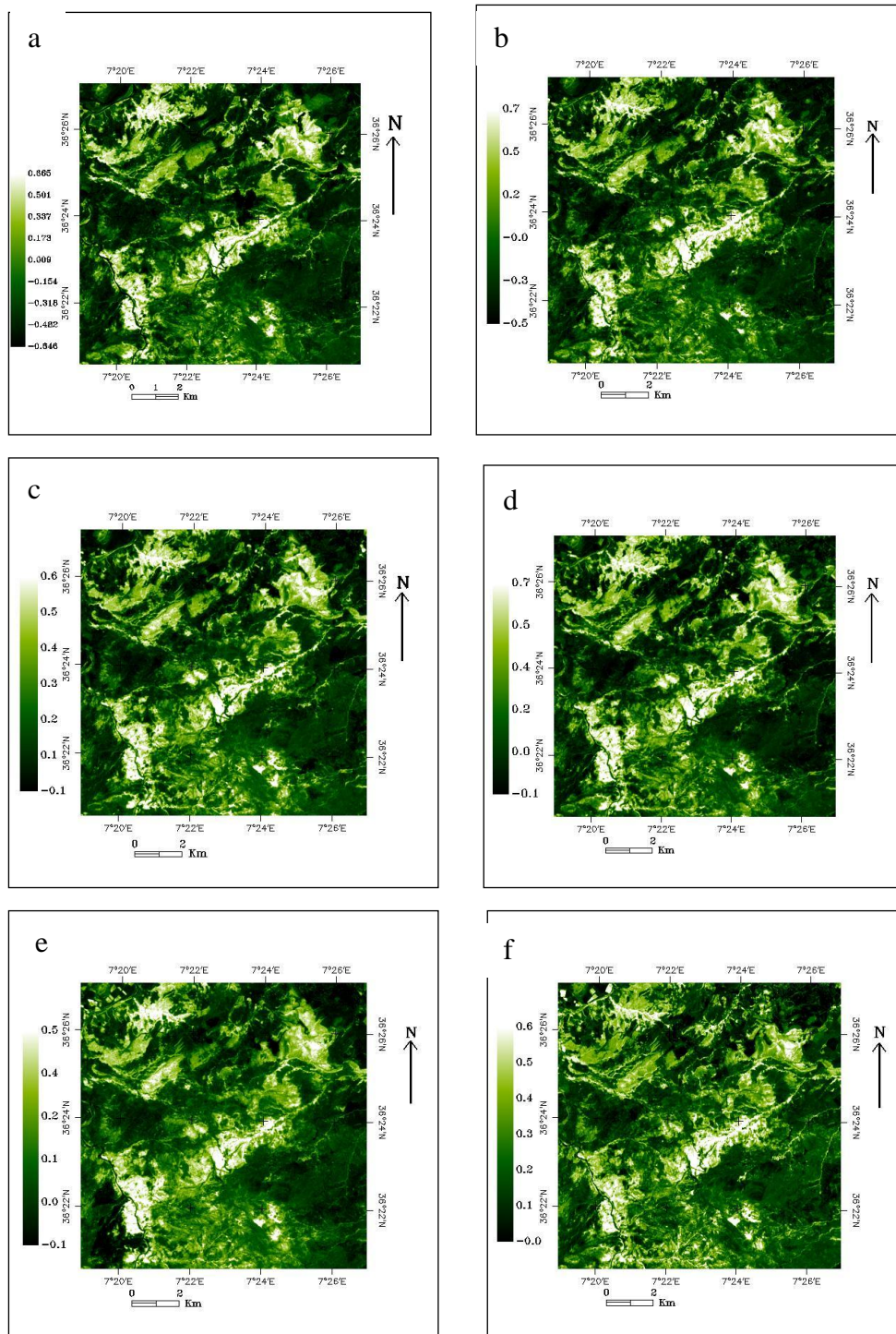
on a choisi six dates durant la période 1987 et 2015 au mois de juillet pour voir l'ensemble de la strate arborescente de l'écosystème forestier de la mahouna, et quatre dates au mois de décembre pour déterminer les caractéristiques de la forêt du chêne liège ainsi que les maquis et les ripisylves.

L'indice de végétation est calculé directement à partir d'un module dans l'ENVI, le résultat est un néocanal (fig. 53 et 54).

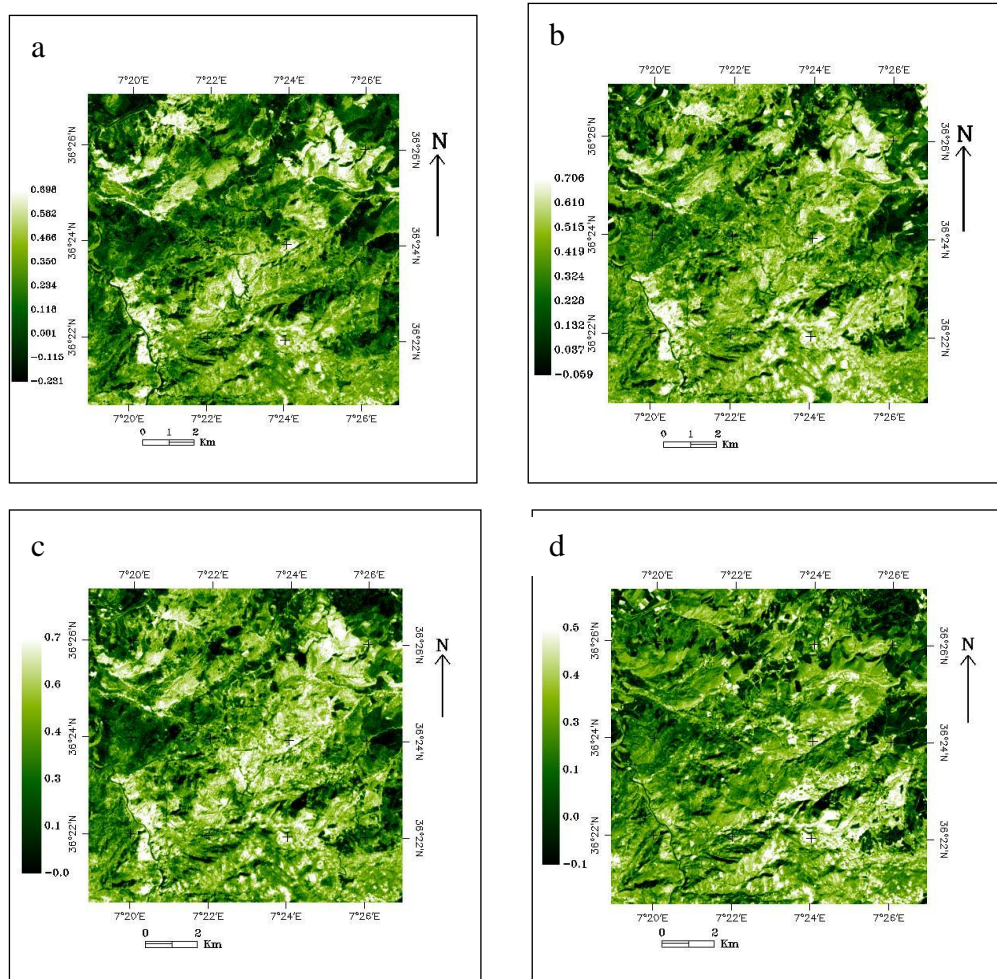
Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux autres surfaces que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectance étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0.

Les formations végétales ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

Le NDVI varie fortement au cours de la période d'étude. Une première remarque d'ordre général montre que toutes les courbes du NDVI, en fonction des classes, ont le même comportement.



**Figure 53 : Visualisation du néocanal « NDVI » des images LANDSAT du mois de juillet pour les années : 1987 (a), 1995 (b), 1999 (c), 2000 (d) 2003 (e) et 2015 (f).**



**Figure 54 : Visualisation du néocanal « NDVI » des images LANDSAT du mois de décembre pour les années : 1987 (a), 2000 (b), 2002 (c) et 2015 (d).**

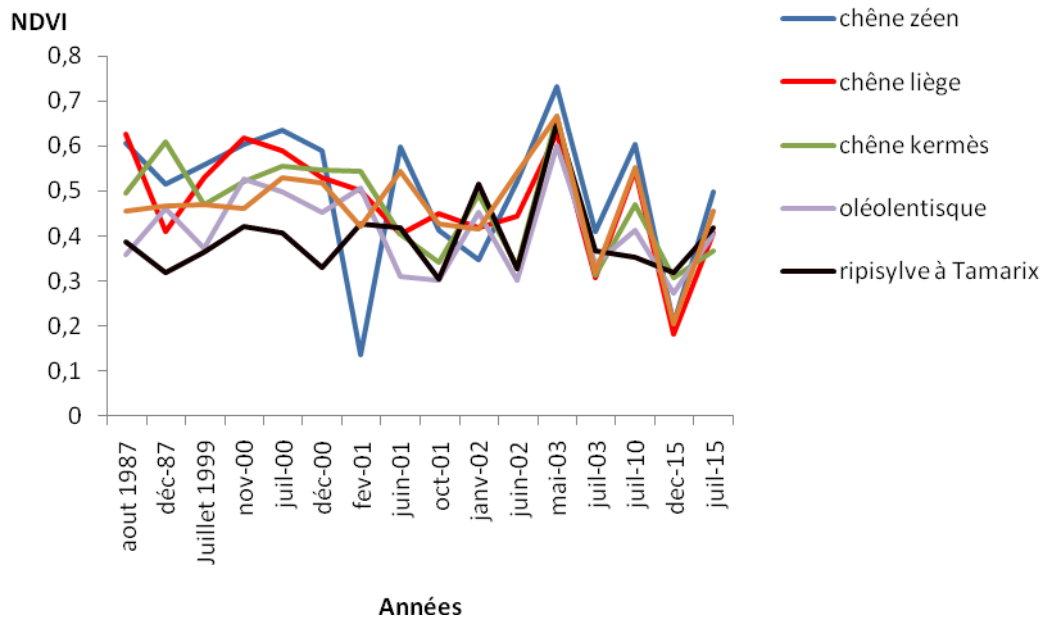
Il existe diverses méthodes permettant d'étudier les changements saisonniers de végétation à travers des images satellites, l'une d'entre elles consistant à appliquer des indices de végétation associés à l'intensité de vert (Chuvieco, 1998). Le NDVI est une mesure du bilan entre l'énergie reçue et l'énergie émise par les objets sur la terre. Lorsqu'il est appliqué à des communautés végétales, cet indice établit une valeur mesurant l'intensité de vert d'une zone donnée, c'est-à-dire indiquant la masse de végétation présente dans celle-ci, ainsi que son état de santé ou sa vigueur de croissance. Le NDVI est un indice sans dimension, dans la pratique, les valeurs situées en dessous de 0,1 correspondent aux étendues d'eau et aux

sols nus, tandis que les valeurs plus élevées indiquent une forte activité de photosynthèse, propre aux terres arbustives, aux forêts tempérées, aux forêts humides et aux terres agricoles.

Le calcul de l'indice de végétation normalisé montre qu'il y a une diminution de la densité du couvert végétal au niveau du massif forestier de la Mahouna. Cette diminution est très remarquable dans l'étage de végétation thermoméditerranéen qui se caractérise essentiellement par une végétation de type maquis (oléolentisque à chêne kermès) remplacée par un étalement urbain, ainsi que les valeurs de NDVI de la forêt du chêne liège et chêne zéen sont variables d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre.

Les espèces feuillues apparaissent dans des teintes claires et correspondent à des fortes valeurs de l'indice NDVI (0.6-0.7 en moyenne). Les résineux apparaissent dans des teintes plus foncées (0.4-0.5 en moyenne). Les sols nus et les surfaces d'eau libre apparaissent dans des teintes très foncées et correspondent à des valeurs de l'indice faibles ou négatives.

Les basses valeurs du NDVI se produisent parce que le niveau d'intensité de vert correspondant à ces périodes est faible, du fait de la tombée ou du changement de couleur des feuilles comme le cas chez le chêne zéen en hiver. La valeur affichée est la réponse combinée de l'écosystème tout entier (sols, herbacées, arbustes et couches d'arbres) (fig. 55).

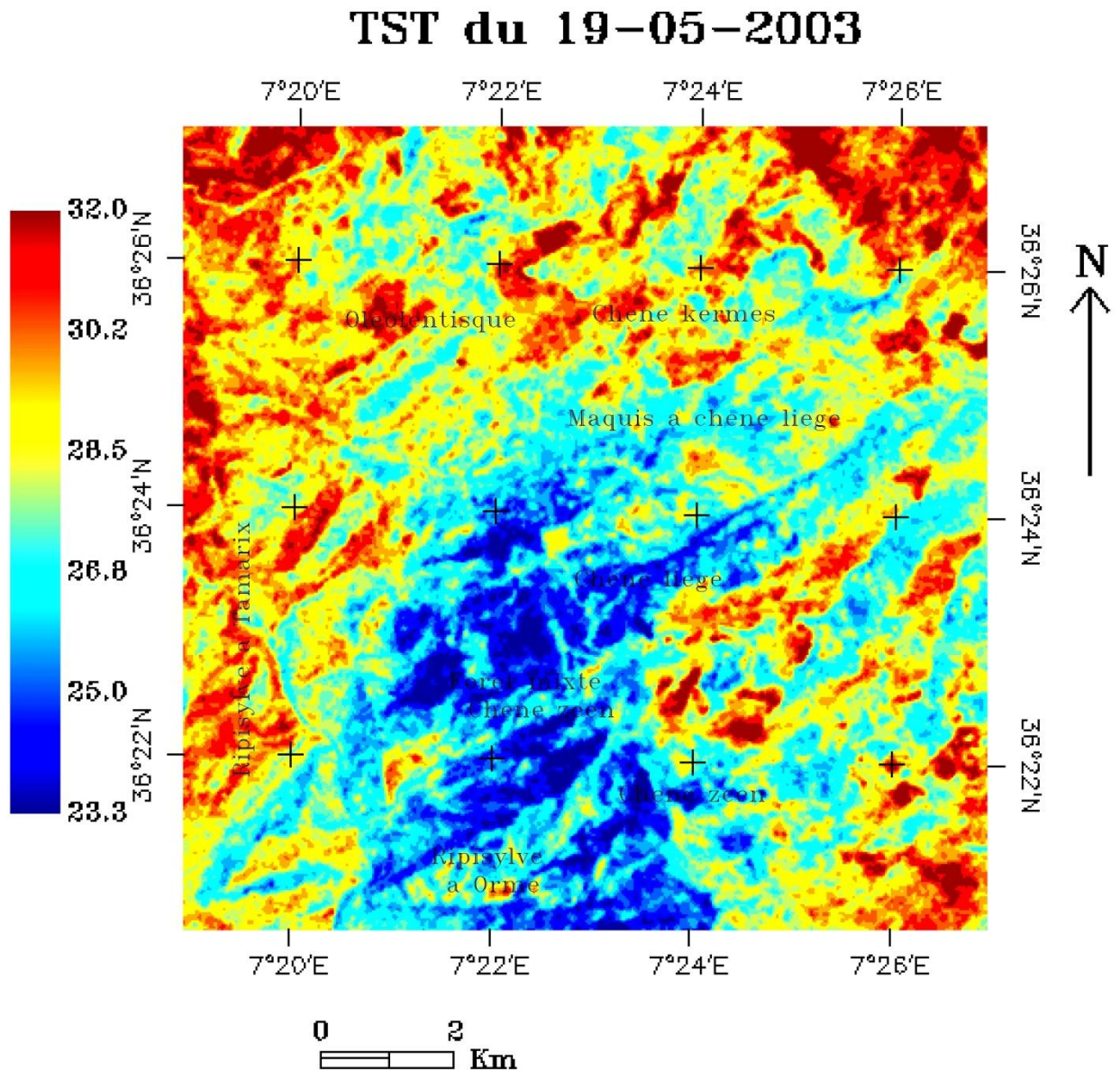


**Figure 55 : Comportement du NDVI des mêmes placettes pour divers catégories de végétation.**

Les valeurs de NDVI les plus élevées correspondent aux forêts humides de haute et moyenne altitude (l'aire du chêne liège et chêne zéen). Les communautés végétales ayant les valeurs de NDVI les plus faibles sont les ripisylves à Tamarix où les feuilles sont très clairsemées. La réponse des communautés végétales apparaissant plutôt comme celles d'une région aux précipitations irrégulières.

#### **4.4. La télédétection de la température de la surface du sol et détermination des étages bioclimatiques**

La température de la surface représente un indicateur environnemental spatial dans notre étude sur l'évaluation environnementale en milieu forestier. Dans ce contexte, cet indicateur décrit un état environnemental à un moment donné. Il fournit une représentation spatiale et continue la distribution de cette dernière et sert à détecter la variation de la température dans l'écosystème forestier de la Mahouna.



**Figure 56 : Carte de la répartition spatiale des températures de la surface du sol le 19 mai 2003.**

Sur les cartes de la répartition spatiale de la  $T_{\text{SOL}}$  (fig. 56), les zones avec des températures chaudes (couleur rouge) correspondent aux zones bâties et les zones de basse altitude (entre 200 et 500m), tandis que les températures froides (couleur bleue) correspondent aux zones hydriques et végétales.

Une première lecture de la carte de la distribution spatiale de la  $T_{SOL}$  en 2003, décrit la densité de la température sur la zone d'étude en fonction des composants variés de l'occupation du sol. Autrement dit, la variation des signatures thermiques de différents types d'occupation du sol reflète bien entendu l'hétérogénéité en milieu de l'écosystème montagneux. Les plus fortes valeurs thermiques correspondent au bâti, la ville et les bas de montagnes. La couverture végétale est représentée par les températures les plus basses.

Le calcul du coefficient de correction de la température consiste à tenir en compte la carte de la répartition spatiale de l'émissivité de la température de la surface du sol et la carte des altitudes du massif forestier de la mahouna réalisées précédemment.

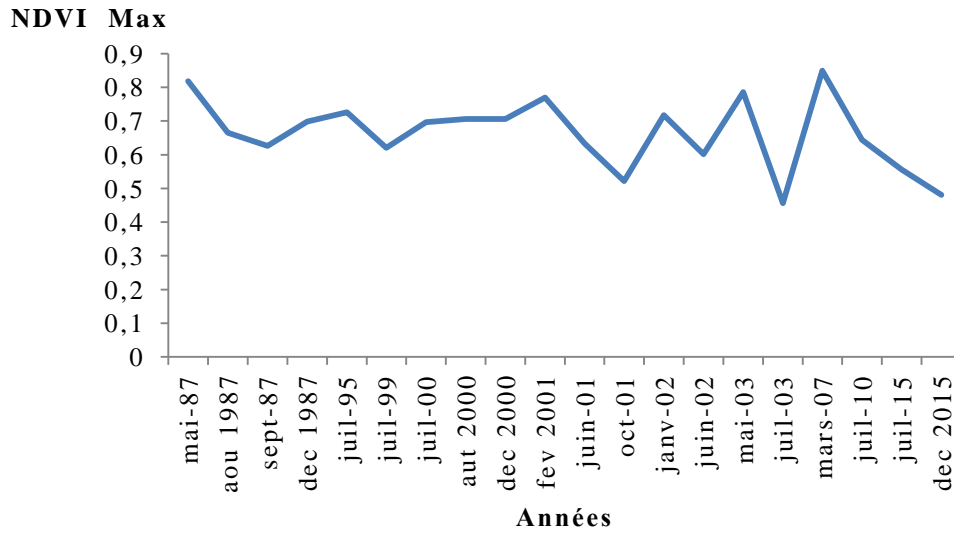
Le coefficient de correction est estimé à  $0.46^{\circ}C$  chaque 100 m d'altitude pour une température tri-horaire.

Le calcul du Q2 permet de localiser le massif forestier dans trois étages bioclimatiques : semi-aride à 500m, sub-humide à 900m et humide à 1400m.

#### **4.5. Comparaison du NDVI et précipitations**

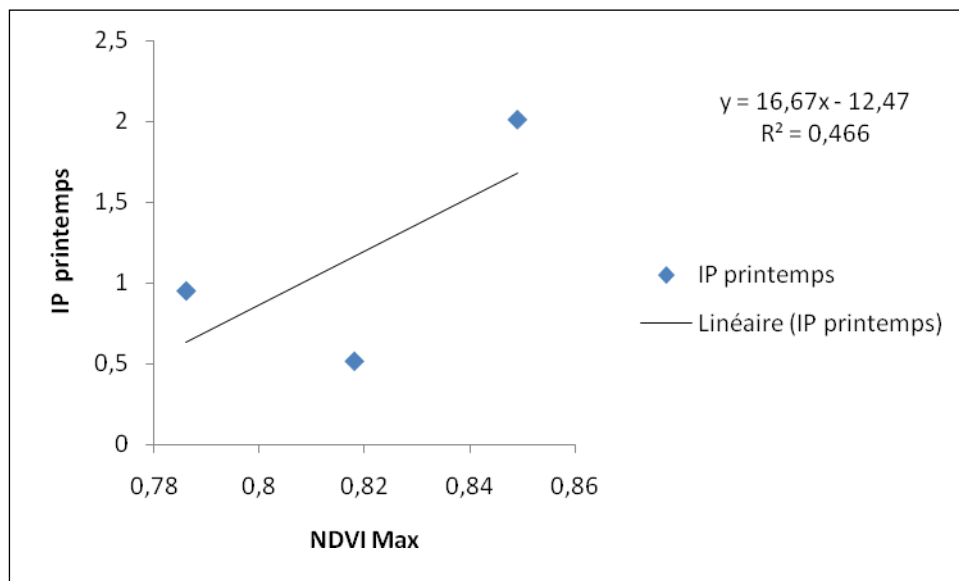
La comparaison entre la végétation et les précipitations a été analysée à travers le calcul du coefficient de corrélation en utilisant l'indice de végétation normalisé (NDVI) et l'indice pluviométrique sur une période de 1987 à 2015.

L'étude comparative des valeurs les plus élevées de NDVI indique qu'ils varient d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre (fig. 57). Les valeurs les plus élevées correspondent à la saison printanière. Ceci est en accord avec la répartition de la pluviométrie selon les saisons ainsi que les jours pluvieux.



**Figure 57 : Variation des valeurs maximales de NDVI.**

Ces variations sont corrélées significativement avec l'indice pluviométrique ( $R^2 = 0.466$ ) (fig. 58).

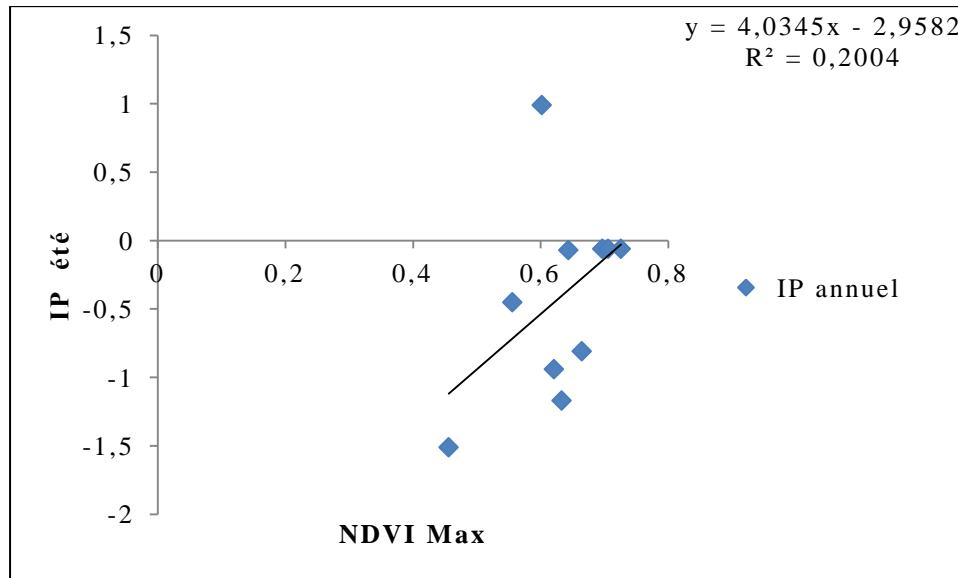


**Figure 58 : Corrélation entre les valeurs maximales de l'NDVI du printemps et l'indice pluviométrique printanière.**

On constate que les valeurs de NDVI de la saison printanière évolue avec la pluviométrie printanière. Une diminution des précipitations correspond à une diminution des valeurs de NDVI.



D'autres corrélations positives ont été également établies durant la saison estivale et confirment toujours le rôle des précipitations dans la production du vert par les communautés végétales (fig. 59).

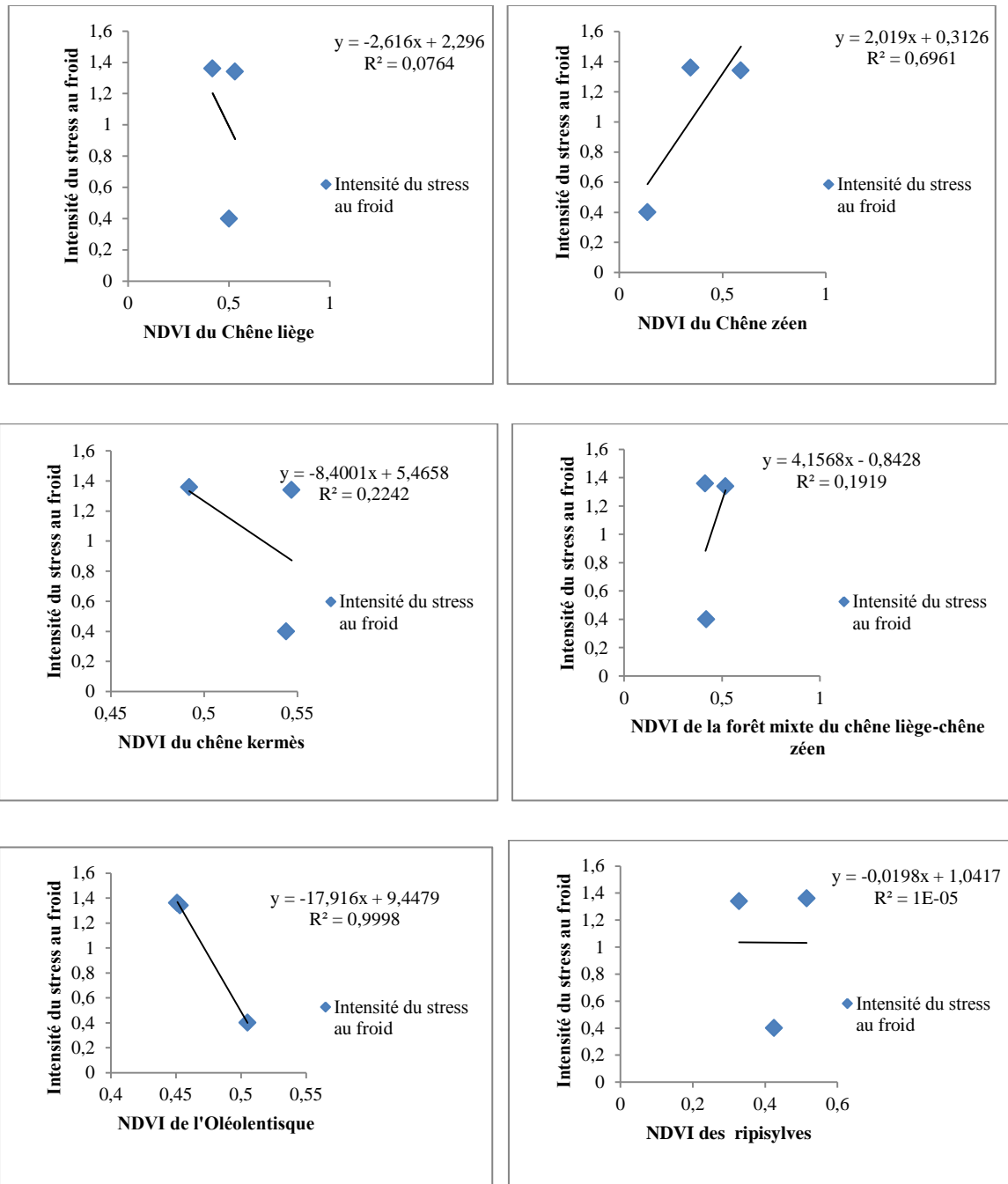


**Figure 59 : Corrélation entre les valeurs maximales de l'NDVI de la saison estivale et l'indice pluviométrique annuel.**

#### 4.6. Comparaison du NDVI et des températures stressantes

L'étude comparative entre les valeurs de NDVI des mêmes parcelles selon les groupements végétaux (forêt de chêne zéen, forêt du chêne liège, forêt mixte, maquis à oléo-lentisque, maquis à chêne kermès et ripisylve) pendant les périodes du stress au froid et stress à la chaleur permet de ressortir plusieurs conclusions ; on prend la date de l'NDVI et l'intensité du stress du même jour :

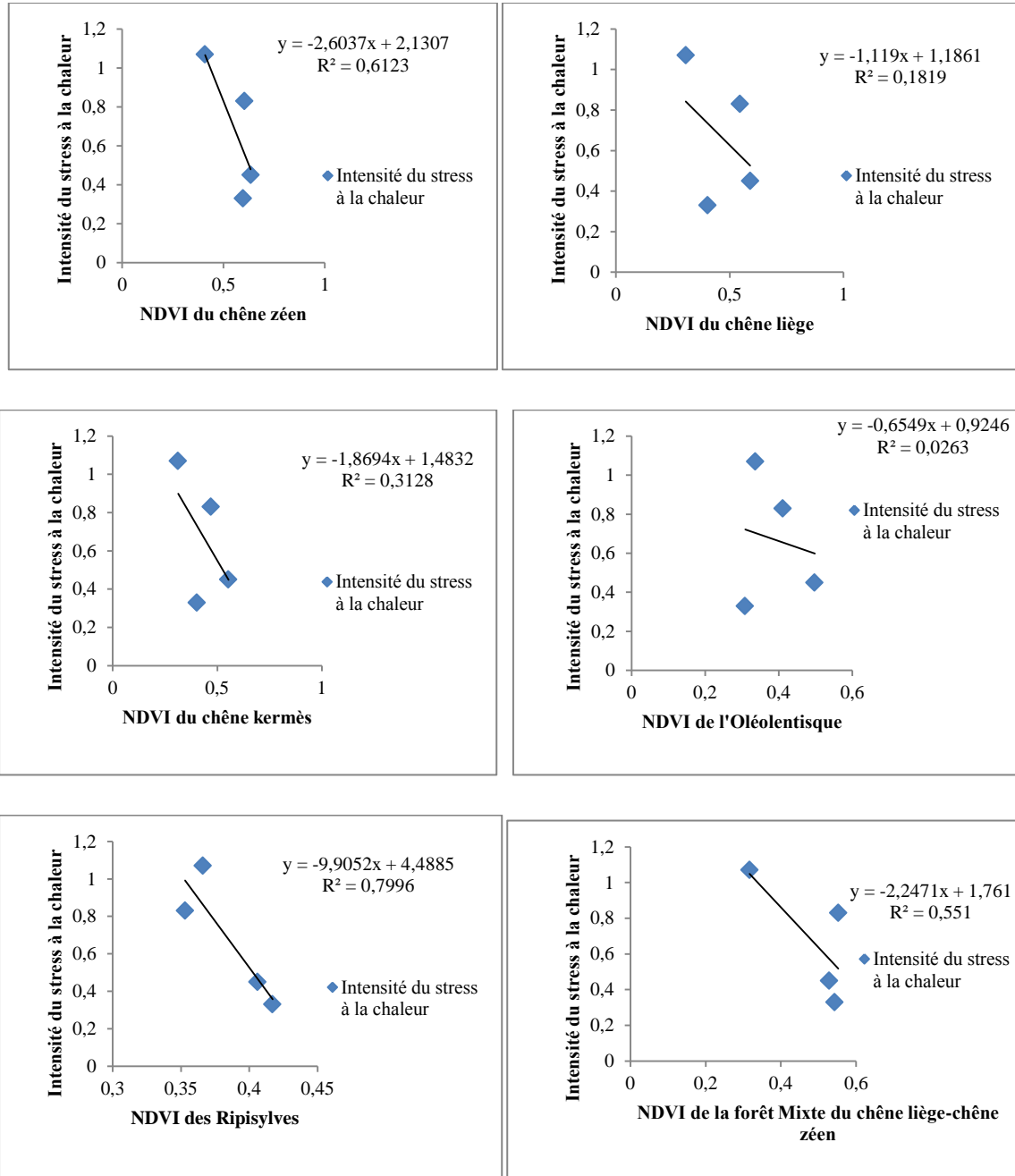
Les valeurs de NDVI des groupements végétaux diminuent légèrement après l'exposition des arbres du chêne liège et chêne kermès à des durées intenses du stress au froid, et une forte réduction pour la formation à oléolentisque, ce qui se justifie par la diminution de la photosynthèse et donc diminution de la chlorophylle. Les autres formations (chêne zéen et forêt mixte) présente des corrélations positive, ce qui s'explique par l'absence des feuilles de ces espèces au cours de l'hiver (fig. 60).



**Figure 60 : Comparaison entre NDVI des groupements végétaux et l'intensité du stress au froid.**

L'exposition des groupements végétaux à des hautes températures permet de réduire fortement les valeurs de NDVI du chêne zéen et les ripisylves et une moyenne réduction des valeurs de la formation mixte.

Pour les autres groupements végétaux, une légère diminution des valeurs de NDVI est remarquable (fig. 61).



**Figure 61 : Comparaison entre NDVI des groupements végétaux et l'intensité du stress à la chaleur.**

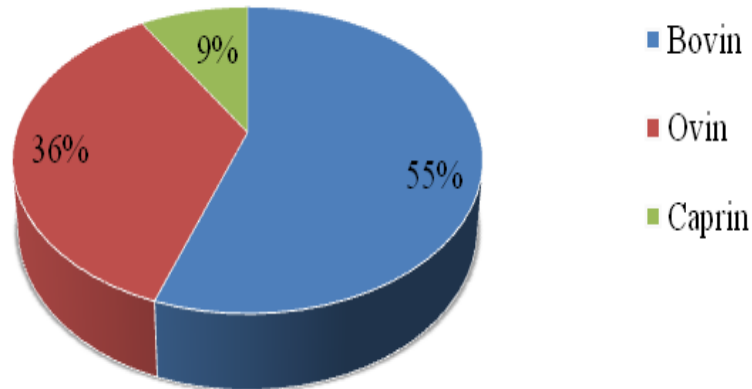
## 5. Les contraintes du milieu

### 5.1. L'impact de l'action anthropique

L'élevage est l'une des principales causes de changements des habitats (déforestation, destruction des forêts riveraines, drainage des zones humides), pour le bétail directement ou pour la production d'aliments pour ce dernier. Les activités d'élevage contribuent également par le surpâturage à la désertification.

Le déplacement des troupeaux, en particulier des bovins et des équins, tasse le sol sous les sabots, en arrachant ou écrasant dans un premier temps les parties aériennes des plantes. L'action est plus accentuée sur les plantes en floraison ou en fructification. Lorsque ce phénomène se répète régulièrement, les plantes disparaissent (*Tuberarietea guttata*, *Oenanthe fistulosa*, *Scirpus palustris*...) ou deviennent rares (*Scorzonera undulata*, *Scorzonera*, *Valeriana tuberosa*, *Linum usititassimum*). Inversement, ce piétinement répété favorise l'apparition d'espèces adaptées aux sols tassés, telles que *Mentha pulegium*, *Plantago major*, *Rumex pulcher*, *Poa annua*, *Juncus effusus*, *Juncus inflexus* (Foucault, 1984).

Dans le massif forestier de la Mahouna, Le cheptel ovin et bovin récéncé par les forestiers territorialement compétant de l'année 2015 atteint respectivement 1494 têtes et 2316 têtes. L'élevage caprin ne représente que 370 têtes (fig. 62).



**Figure 62 : Répartition du cheptel au niveau du massif forestier de la Mahouna.**

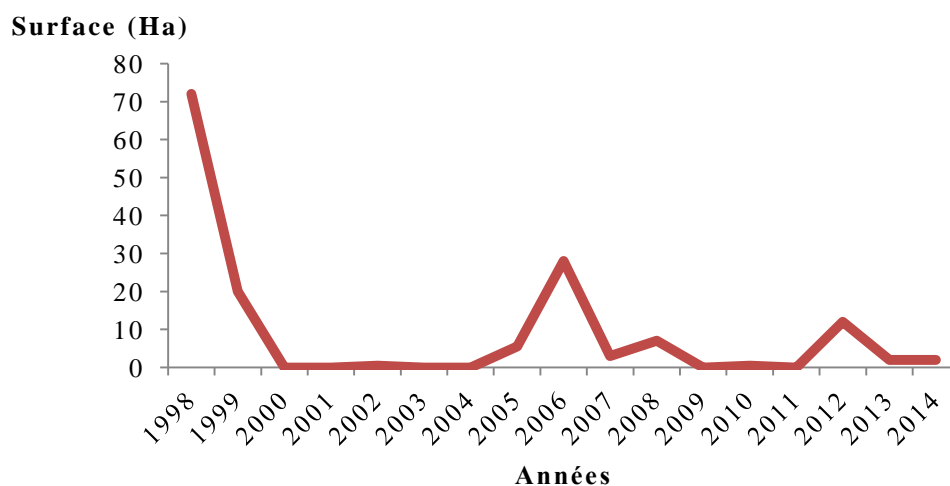
Le passage des troupeaux provoque aussi, localement, la mobilisation de fragments rocheux et de terre. En effet, lorsqu'ils empruntent des sentiers pierreux, les bêtes font glisser des cailloux qui, en contrebas, peuvent endommager les plantes, en les cassant ou en les asphyxiant (par recouvrement), et modifier l'état de surface du sol, en créant un pavage superficiel (Boulaacheb, 2013).

Le pâturage généralisé par le cheptel animal existant limite tout renouvellement naturel voire artificiel des forêts de chêne liège. Actuellement, c'est le facteur le plus redoutable menaçant le maintien et la survie des jeunes plants de *Quercus suber* qui, très appréciés par les animaux (caprins, ovins, bovins) ne peuvent assurer leur pérennité qu'à un âge correspondant à 2m de hauteur. Le pâturage étant prépondérant dans les subéraies considérées, il l'emporte sur les autres facteurs de dégradation. La mise en défens n'étant pas respectée dans la majorité des cas, les troupeaux des populations usagères de la forêt vivent toute l'année sur les parcours en sous-bois, ce qui porte une grave atteinte à la préservation, à l'amélioration et à la régénération des chênaies (Nsibi et al., 2006).

## 5.2. L'impact des incendies

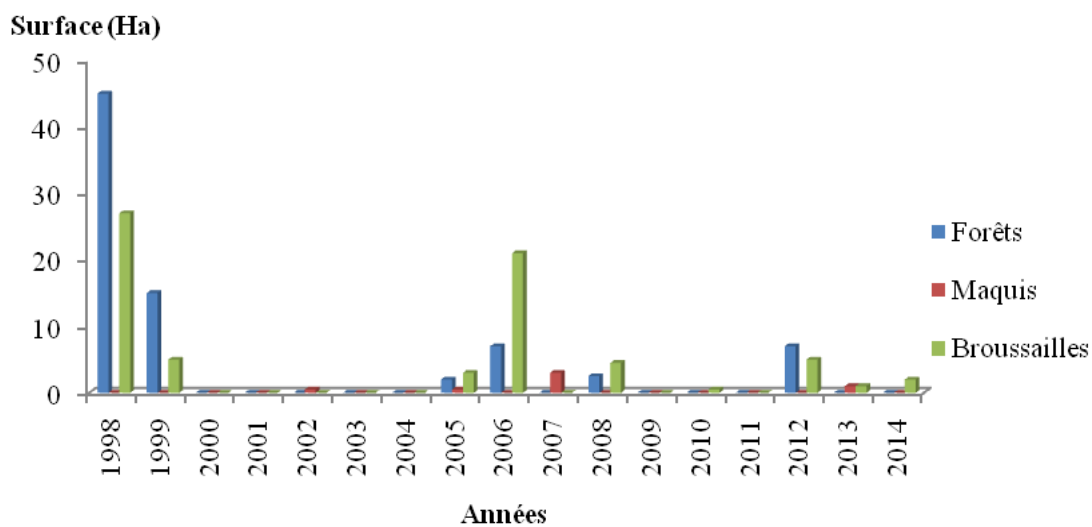
Les incendies de forêt influencent la diversité biologique. A l'échelle mondiale, ils sont une importante source d'émissions de carbone et contribuent au réchauffement de la planète, ce qui pourrait entraîner des changements dans la biodiversité. Ils modifient le volume de la biomasse, altèrent le cycle hydrologique avec des retombées sur les systèmes marins comme les récifs coralliens, et influencent le cycle de vie des végétaux et des animaux. La fumée dégagée par les forêts en flammes peut réduire de façon notable l'activité photosynthétique (Davies et Unam, 1999) et compromet souvent la santé des êtres humains et des animaux.

Durant la période 1998-2014, nous avons enregistré une superficie totale brûlée de 152.5 ha pour la forêt de la mahouna (fig. 63). Cela est confirmé par Boudy (1955) mentionnant que la forêt de la mahouna est rarement incendiée, mais sa régénération est absente car le peuplement est vieux et peu vigoureux.



**Figure 63 : Superficies incendiées durant la période 1998 à 2014 du massif forestier de la Mahouna.**

La comparaison des moyennes entre les formations végétales montre que les forêts et les broussailles sont les plus exposées aux incendies que les maquis (fig. 64). Certaines plantes comme les Cistes ou les Pins peuvent favoriser les incendies.



**Figure 64 : Superficies incendiées des types de formations végétales du massif forestier de la Mahouna.**

## **Conclusion générale et perspectives**

Au niveau du Nord-est algérien, dans la wilaya de Guelma, le massif forestier de la mahouna est représenté par un écosystème montagneux. Il présente une diversité floristique remarquable, présentée par plusieurs formations végétales ; à savoir le chêne liège, le chêne zéen, formation mixte du chêne liège – chêne zéen, le chêne kermès, maquis à oléolentisque, ripisylve, broussaille et pelouse, occupant une superficie de 14400 ha.

Le développement des connaissances sur les interactions qui existent entre végétation et climat répond au besoin important de mieux comprendre les modifications inéluctables des écosystèmes. Cette étude a tenté d'étudier les principales caractéristiques de l'évolution récente du climat de l'écosystème forestier de la mahouna et la réponse de la végétation, avec un intérêt sur la forêt de montagne. L'étude s'est appuyée sur plusieurs bases de données notamment sur des données météorologiques (température et précipitation) pour une période de 30 ans comprise entre 1986 et 2015, la télédétection qui a permis une approche bien adaptée spatialement et temporellement et les données cartographiques.

Le cortège floristique de la mahouna se caractérise par la dominance de la strate herbacée, suivi par une végétation arbustive sous forme de maquis et le sous bois de la forêt, répartis entre 46 familles botaniques. Pour les types biologiques, il semble que les communautés végétales recensées donnent une grande importance aux phanérophytes et aux thérophytes. Les caractéristiques phytogéographiques reposent sur la prépondérance de l'élément méditerranéen. L'endémisme est aussi présent avec 5 espèces, son importance souligne les traits qui rendent compte de la spécificité de cet écosystème tel que *Pistacia atlantica* et *Thymus algeriensis*, espèces endémiques rares et protégées.

Les résultats analytiques des profils pédologiques des formations forestières de la forêt domaniale de mahouna montrent que :



- La texture de la subéraie et du maquis à chêne liège est sablo-limoneuse, alors que pour la zéenaie et la formation mixte chêne liège-chêne zéen ; elle est variable entre sablo-limoneuse voire argileuse à très argileuse selon les endroits.
- Les valeurs moyennes du pH-H<sub>2</sub>O pour l'ensemble des profils pédologiques prospectés varient entre 4.86 et 6.32. Ces valeurs indiquent une acidité très élevée, et montrent qu'il s'agit d'un milieu où seulement des espèces tolérantes à l'instar des arbres forestiers peuvent se développer normalement.
- Les teneurs moyennes de la matière organique varient de 1.2 à 4.24%. En effet les pentes plus abruptes favorisent le mouvement rapide de la matière organique dont une partie importante est emportée par les eaux de ruissellement. Ces teneurs sont légèrement plus élevées dans la zone de bas de pente par rapport aux sommets.
- Les teneurs en azote sont en moyenne plus faibles (se varient entre 0.06 et 0.17%), et celles du carbone organique sont présentes sous forme de trace.
- Les teneurs des bases échangeables calcium et magnésium sont très importantes pour l'ensemble des profils pédologiques, alors que le potassium et sodium sont plus faibles.
- Les valeurs de la conductivité électrique du sol varient entre 138 et 235  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Selon l'échelle de Durand J.H. (1983), la qualité de ces sols est dans la classe non salée.

Le traitement du modèle numérique du terrain permet de décrire le relief du massif forestier de la mahouna, à savoir :

- 31 à 25% de la surface de la zone d'étude est occupée par des classes d'altitudes de (424-614m) et (619-814m).
- Les pentes moyennes représentent 43.91% de la surface du massif forestier.
- Les expositions Nord, Nord-Est, Est et Nord-Ouest représentent 73% de la zone d'étude où s'installe la végétation.

Le traitement et l'analyse statistique des variabilités climatiques donnent les résultats suivants :

- Le régime saisonnier pluviométrique est de type HP AE, et celle du régime thermique est de type EAPH. C'est l'un des caractéristiques du climat méditerranéen.
- La comparaison du cumul pluviométrique saisonnier montre que la différence entre le printemps et l'automne n'est pas significative, alors que les différences entre les autres saisons sont significatives.
- Les changements concernant les précipitations sont hétérogènes et tendent vers des années de plus en plus sèches.
- Une forte corrélation négative est enregistrée entre la quantité de précipitation de l'hiver et le nombre de jours de pluie en été, alors qu'elle est positive entre les précipitations annuelles et celles du printemps et fortement positive entre la quantité des précipitations annuelles et le nombre annuel des jours de pluies.
- Une augmentation des températures, surtout des températures moyennes minimales et maximales journalières de la saison printanière (de  $0.09^{\circ}\text{C}$  pour les minimas et  $0.12^{\circ}\text{C}$  pour les maximas), et une légère augmentation de la température minimale journalière de la saison hivernale ( $0.001^{\circ}\text{C}$ ).
- Le cumul thermique hivernal tend vers une augmentation non significative de l'ordre de  $128.5^{\circ}\text{C}$ .
- Une forte corrélation négative est observée entre le cumul thermique hivernal et celle de l'automne.
- Les données thermiques tri-horaire de la période de 2000 à 2010 fait ressortir 502 jours de stress au froid avec des durées variant de 3 à 21 heures et 373 jours de stress à la chaleur avec des durées variant de 3 à 12 heures.
- La période du stress au froid tend vers une diminution de l'ordre de 0.80 (soit 19heures et 20min), tandis que la période du stress à la chaleur tend vers une augmentation de l'ordre de 0.12 (soit presque 3heures) du nombre de jours chauds.

L'étude de la dynamique de la végétation à l'échelle interannuelle s'est révélée un bon moyen d'investigation du climat et de ses variabilités à l'échelle régionale. Les principaux résultats sont :

- Le taux de recouvrement de la végétation estimé à 20.27% en 1987 diminue progressivement à 18.30% en 2013.
- Une diminution de la densité du couvert végétal surtout dans l'étage de végétation thermoméditerranéen.
- La répartition spatiale des températures de la surface du sol est hétérogène dans la zone d'étude. Les plus fortes valeurs thermiques correspondent au bâti, la ville et les bas de montagnes. Le couvert végétal est représenté par les températures les plus basses.
- Les valeurs de NDVI, c'est-à-dire de la productivité végétale, de la forêt du chêne liège et chêne zéen varient d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre. Une partie de ces variations est expliquée par les variations des précipitations ; on observe une corrélation positive entre le NDVI et les précipitations cumulées pendant le printemps. La deuxième partie est en relation avec l'exposition des groupements végétaux à des durées intenses du stress au froid et à la chaleur, où on a noté une diminution des valeurs de NDVI sous l'effet du stress thermique.

Au niveau des perspectives prolongeant ce travail, il est nécessaire d'approfondir plusieurs aspects, qui pour une raison ou une autre, n'ont pas été abordés. Notamment, il faudrait mesurer les périodes du stress thermique sur un intervalle assez long, car cela nous semble très important afin d'évaluer la réactions des végétaux au changement climatique, en hiver et en été ; il faudrait aussi faire le suivi de la végétation grâce à des images à plus haute résolution spatiale ; en fin, il conviendrait de continuer le suivi des données climatiques à Guelma et d'approfondir l'étude de la forêt de la Mahouna au niveau de tout le massif forestier en complétant la série de relevés commencée de

l'année 2008, de manière à mieux cerner la structure et la dynamique du peuplement, ainsi que les différences, d'un secteur à l'autre sur un même versant, dans la densification et dans la remontée des individus. Un autre point qui reste à approfondir correspond au rôle de l'occupation humaine récente dans la forêt de la mahouna à travers l'emplacement d'une aire de jeu et les conséquences que cela entraîne sur cet écosystème forestier.

## Références bibliographiques

- ACOT P. (2003). Histoire du climat. Paris : Perrin. 309 p.
- ANCER A (1998). La pluviométrie en Algérie du Nord. Evolution et variabilité (1931-1995). Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 260p.
- ANDRADE, B. et PEÑA, H. (1993). Chilean geomorphology and hydrology: response to global change. In "Earth system responses to global change". MOONEY, H. A., E. FUENTES et B. KRONBERG (Eds). Academic Press, San Diego, EEUU, 365 p.
- BAGNOULS F. & GAUSSEN H., 1953- Saison sèche et indice xéothermique. Bull. Soc. Hist. Nat., vol8, pp 193-239.
- BARBERO, M. & QUÉZEL, P. (1995). Desertification, desertisation, aridification in the Mediterranean region and "global change". - Pp. 549-569 in: D. Bellan, G. Bonin & C. Emig (eds.), Functioning and dynamics of natural and perturbed ecosystems.
- BARROS, A. et LETTENMAIER, D. (1994). "Dynamic Modeling of Orographically Induced Precipitation". *Reviews of Geophysics* 32(3):265–284
- BARRY, R. G. (1992). Mountain weather and climate. Routledge, Londres, p. BARRY, R. G. (2008). Mountain weather and climate. Cambridge University Press, Boulder, p.
- BARTHOLOME E. (1994). Télédétection et suivi des productions agricoles en Afrique de l'Ouest. Tiré de Télédétection de l'environnement dans l'espace francophone, Presses Universitaires du Québec, 1994 ISBN 2-7605-0704-1.
- BELDJAZIA A. (2009). Etude écologique et cartographique de la végétation du massif forestier de la Mahouna (Guelma), Mémoire de

magister en Ecologie et environnement, Université Badji Mokhtar Annaba, 96p.

BENISTON, M., DIAZ, H. et BRADLEY, R. (1997). "Climatic change at high elevation sites: and overview". *Climatic Change* 36:233-251.

BENISTON, M. (2003). "Climatic change in mountain regions : a review of possible impacts". *Climatic Change* 59:5-31.

BILLINGS, W. et BLISS, L. (1959). "An alpine snowpack environment and its effects on vegetation, plant development, and productivity". *Ecology* 40(3):388-397.

BONACINA, L. (1945). "Orographic rainfall and its place in the hydrology of the globe". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 71(307-308):41-55.

BONN F. CHARBONNEAU L., BROCHU R. (1989). Analyse de l'utilisation du sol à partir des données SPOT et TM : aspects méthodologiques. *Télédétection en francophonie*. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris p. 83-92.

BONN F. ET ROCHON G. (1992). *Précis de Télédétection : Principes et Méthodes*, Québec, Presses de l'université de Québec AUPELF, vol. 1, 485 pages.

BONN F. ET ROCHON G. (1996). *Précis de Télédétection : volume 1 Principes et Méthodes*, Québec, Presses de l'université de Québec AUPELF, vol. 1, 485 pages.

BOSQUE, J. (1997). *Sistemas de Informacion Geografica*. Rialp, Madrid, p.

BOUCHERF D. (2010). Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides. Biskra. Variabilité et Changement climatique en Algérie. Office National de la Météorologie BP 153 Alger. pp 109-126.

- BOUDY P. (1952). Guide du forestier en Afrique du nord. 505p.
- BOUDY P. (1955). Economie forestière nord-africaine. Tome quatrième. Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie, 472p.
- BOULAACHEB N. (2013). Les paysages végétaux du djebel Mégriss (Tell septentrional, Algérie) : diversité des écosystèmes, richesse floristique, ampleur de l'anthropisation. Paru dans *Physio-Géo*, Volume 7 | 2013
- BOUMA E. (2005). Development of comparable agroclimatic zones for the international exchange of data on the efficacy and crop safety of plant protection products. *Bull. OEPP/EPPO*, 35, 233-238.
- BROHAN, P., KENNEDY, J., HARIS, I., TETT, S. et JONES, P. (2006). "Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850". *Journal of Geophysical Research* 111(D12 106).
- BRUNSDON, C., MCCLATCHEY, J. et UNWIN, D. J. (2001). "Spatial variations in the average rainfall-altitude relationship in Great Britain: an approach using geographically weighted regression". *International Journal of Climatology* 21(4):455-466.
- CALOZ, R. et COLLET, C. (2001). Précis de Télédétection. Traitements numériques d'images de télédétection. Presses de l'Université du Québec, Montréal, 386 p.
- CHARRE J. (1997). Dessine-moi un climat. Que penser du diagramme ombrothermique ? *Mappemonde*. 2.29.31
- CHEDDADI R., LAMB H.F., GUIOT J., ET VAN DER KAARS S. (1998). Holocene climatic change in Morocco : a quantitative reconstruction from pollen data. *Climate dynamics* ; 14, 883-890.
- CHUVIECO, E. (1996). Fundamentos de Teledetección Espacial. Ediciones Rialp S.A. Madrid. 568 pp.

CHUVIECO, E. (1998). El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de Teledetección*, 10: 1–9.

COTE M. (1983). L'espace algérien, les prémices d'un aménagement. OPU éd., Alger. 278p.

DAGET, P. (1977a). Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux, méthodes de classification, *Vegetatio*, 34(1), 1-20.

DAGET, P. (1977b). Le bioclimat méditerranéen : analyse des formes climatiques par le système d'Emberger. *Vegetatio*, 34(2), 87-103.

DAGET, P. (1980). Sur les types biologiques en tant que stratégie adaptative.(cas des thérophytes).In: Recherches d'écologie théorique, les stratégies adaptatives, Paris: 89-114.

DAVIES, S.J. ET UNAM, L. (1999). Smoke-haze from the 1997 Indonesian forest fires: effects on pollution levels, local climate, atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations, and tree photosynthesis. *Forest Ecology and Management* 124: 137-144.

DÉQUÉ, M. (2007). Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, 57, 16-26.

DIBI N'DA H., N'GUESSAN E. K., WADJA M., E. & AFFIAN K. (2008). Apport de la Télédétection au suivi de la déforestation dans le parc national de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Revue Télédétection*, 2008, vol. 8, n° 1, pp. 17-34.

DOUGUEDROIT, A. et DE SAINTIGNON, M. (1984). "Les gradients de températures et de précipitations en montagne". *Revue de Géographie Alpine* 72(2-4):225-240.



DUCG (2007). Direction de l'urbanisme et de la construction de la wilaya Guelma. Rapport d'orientation, révision du plan directeur d'aménagement d'urbanisme (P.D.A.U), pp : 26-48.

DURAND, J.H. (1983) *Les sols irrigables. Agence de coopération culturelle et technique*. Presse Universitaire de France. Paris.

DURAND Y., LATERNSER M., GIRAUD G., ETCHEVERS P., LESAFFRE B. ET MERINDOL L. (2009). Reanalysis of 44 years of climate in the French Alps (1958–2002): methodology, model validation, climatology and trends for air temperature and precipitation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, n° 48, p. 429-449.

DYE, D. (2002). "Variability and trends in the annual snow-cover cycle in Northern Hemisphere land areas, 1972-2000". *Hydrological Processes* 16(15):3065-3077.

EASTERLING, D., KARL, T. et GALLO, K. (2000). "Observed climate variability and change of relevance to the biosphere". *Journal of Geophysical Research* 106(D15):20.101-120.114.

EMBERGER L. (1930). Sur une formule climatique applicable en géographie botanique. *C.R.Acad.Sc* (191) : 389-390.

EMBERGER L. (1936). Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc au 1/500 000. *Veröff. Geobot. Inst. Rübel in Zürich*, 14, 40-157. + carte hors texte.

EMBERGER L. (1955). Une classification biogéographique des climats. *Nature. Monspl. Série bot.*, (7) : 3-42.

ENGMAN, E. et MATTIKALLI, N. (2003). Remote sensing and geographical information systems applications in hydrology. In "Handbook of weather, climate and water: atmospheric chemistry, hydrology and societal impacts.". POTTER, T. et B. COLMAN (Eds), 1000 p.

ENONZAN F. (2010). Utilisation de la télédétection et des SIG dans la gestion durable des aires protégées : Cas des forêts classées du Dogokétou au Bénin. Mémoire DESS. [En ligne]. (Page consultée le 01 Novembre 2011). URL : <http://www.memoireonline.com/06/11/4575/Utilisation-de-la-teledetection-et-des-SIG-dans-la-gestion-durable-des-aires-protegees--cas-des.html>Memoireonline.com.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2004). Impacts of Europe changing climate : an indicator-based assessment. EEA report n° 2/2004, 107 p.

EVANS, J. D. (1996). Straightforward statistics for the behavioral sciences. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing.

FAO (2000). Planification intégrée et gestion des terres. Mise en valeur durable des montagnes. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 15 p.

FAO 2001. *Evaluation des ressources forestières mondiales 2000 - rapport principal*. Etude FAO, Forêts n° 140. Rome.

FAO et Union internationale des instituts de recherches forestières (IUFRO). (2002). Diversité biologique. *Glossaire multilingue-ressources génétiques forestières*. Internet: [iufro.boku.ac.at/silvavoc/fgr-glossary/2en.html](http://iufro.boku.ac.at/silvavoc/fgr-glossary/2en.html).

FOUCAULT B. (de), 1984. Systémique, structuralisme et synsystématique des prairies hygrophiles des plaines atlantiques françaises. Thèse, Rouen, 675 p.

FELICISIMO, A. (1994). Modelos Digitales del Terreno. Introduccion y aplicaciones en las ciencias ambientales. Pentalfa, Oviedo, 220p.

FISHER, A. (1991). Bases physiques de la télédétection. Cahiers pédagogiques du GDTA, p.

FOSTER, J. (1989). "The significance of the date of snow disappearance on the Arctic tundra as a possible indicator of climate change". *Arctic and Alpine Research* 21(1): 60-70.

GALEN, C. et STANTON, M. (1995). "Responses of snowbed plant species to changes in growing-season length". *Ecology* 76(5):1546-1557.

GARCIA-RUIZ, J. M. (1990). *Geoecologia de las areas de montana*. GeoformaEdiciones, Logrono, Espagne, p.

GFDL (2009). Licence de documentation libre GNU.

GIACOBBE A. (1959). Nouvelles recherches écologiques sur l'aridité dans les pays de la Méditerranée occidentale. *Natur. Monsp.*, sér.Bot., 2, 7-27.

GIEC. (2001). *Quatrième rapport du groupe de travail I sur l'évolution du climat ; résumé à l'intention des décideurs*, 18 p.

GIEC (2007). Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri R.K., et Reisinger A.]. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages.

GIRARD, M. C. et GIRARD, C. M. (1973). Interprétation des photographies-ballon. Comparaison avec les petites régions agricoles. *Soc. Franç. Photogramm.* n°52, Octobre, pp 23-36, Saint Mandé.

GIRARD, M. C. (1986). Interprétation pédologique des photographies prises par Spacelab 1. *ITC Journal*, n°1, Enschede, Hollande, p 14-18.

GIRARD, M. C. et GIRARD, C. M. (1989). *La télédétection appliquée aux zones tempérées et intertropicales*. Masson, 260p.

GIRARD, M. C. et GIRARD, C. M. (1999). *Traitement des données de télédétection*. Paris, p.

GOTTFRIED, M., PAULI, H., REITER, K. et GRABHERR, G. (1999). "A fine-scaled predictive model for changes in species distribution patterns of high mountain plants induced by climate warming". *Diversity and Distributions* 5(6):241-251.

GRABHERR, G., GOTTFRIED, M. et PAULI, H. (1994). "Climate effects on mountain plants". *Nature* 369:448.

GRASLAND CLAUDE (1998-2000). Initiation aux méthodes statistiques en sciences sociales. Cours, *Université Paris VII / UFR GHSS*.

GRIME JP (1977). Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *Am Nat* 111: 1169-1194.

GROISMAN, P., KARL, T., KNIGHT, R. et STENCHIKOV, G. (1994). "Changes of snow cover, temperature, and radiative heat balance over the Northern Hemisphere". *Journal of Climate* 7(11):1633-1656.

GUYOT G. (1999). *Climatologie de l'environnement*, cours et exercices corrigés, 2<sup>e</sup> édition, 529 p.

HANSEN, J., RUEDY, J., GLASCOE, J. et SATO, M. (1999). "GISS analysis of surface temperature change". *Journal of Geophysical Research* 104:30997-31022.

HEYMANS J .C. et al. (2002). *Étude de faisabilité technique et socio-économique pour la réalisation d'un parc zoologique et botanique dans la forêt classée de Gonsé*, 67 p.

HUBER, U. M., BUGMANN, H. et REASONER, M. (2005). *Global change and mountain regions: an overview of current knowledge*. Springer, Dordrecht, TheNetherlands, 652 p.

JONES P.D., MOBERG A. (2003). Hemispheric and large- scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate*, 16(2), 206-223.

KAPOS, V., RHIND, J., EDWARDS, M., PRICE, M. et RAVILIOU, M. (2000). Developing a map of the world's mountain forests. In "Forests in Sustainable Mountain Development: A State-of-Knowledge Report for 2000". PRICE, M. et N. BUTT (Eds). CAB International, Wallingford, 4-9 p.

KERGOMARD C. (2000) Pratique des corrections atmosphériques en télédétection : utilisation du logiciel 5S-PC. Cybergeo, Actes des Journées de Télédétection en Sciences humaines, article 181, 17 p.

KERR Y. H., LAGOUARDE J. P., NERRY F. ET OTTLE C. (2005). Land surface temperature retrieval techniques and applications; case of the AVHRR. In Quattrochi and Luvall, editors, *Therma Remote Sensing in Land Surface Processes*, CRC PRESS, 487 pages.

KIRKUP P.A. (2001). Global biodiversity Scenarios for the year 2050 ; Application of species-area relationships to assess the impact of deforestation on the diversity of tree species. Degree of Master of Research in the natural environment, University of Edinburgh, august 2001.

KONE M., AMAN A. ADOU YAO C.Y., COULIBALY L. & N'GUESSAN K. E. (2007). Suivi diachronique par télédétection spatial de la couverture ligneuse en milieu de Savane soudanienne en côte d'ivoire. *Revue Télédétection*, 2007, vol 7, n° 1-2-3-4, pp. 433-446.

KONRAD, C. (1996). "Relationships between precipitation event types and topography in the Southern Blue Ridge mountains of the Southeastern USA". *International Journal of Climatology* 16(1):49-62.

KORNER, C. et SPEHN, E., Eds. (2002). *Mountain Biodiversity. A Global Assessment*. Parthenon Publishing Group, London, 350 p.

LAVOREL, S., CANADELL, .I., RAMBAL, S. & TERRADAS, J. (1998). Mediterranean terrestrial ecosystems: research priorities on global change effects. - *Global Ecol. Biogeogr. Letters* 7: 157-166.

LEGAY M., MORTIER F., LECREULX P., CORDONNIER T., (2007). Changement climatique et gestion forestière. Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques, Office national des forêts, pp.95-102.

LE HOUEROU H. N. (1995). Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertisation. *Options méditerranéennes, Série B, études et recherches*, 10, 396p.

LEITH H. BERKELAMP J., FUEST S. & RIEDIGER S. (1999). CD1- Climate diagram world atlas. *in: Lieth H. ed., "CD series: Climate and Biosphere". Backhuys publ. Leiden.*

LEPAGE, M.P., L. BOURDAGES ET G. BOURGEOIS. (2011). Interprétation des scénarios de changements climatiques afin d'améliorer la gestion des risques pour l'agriculture [en ligne]. 15 p. [http://www.ouranos.ca/media/publication/164\\_PAGR0102.pdf](http://www.ouranos.ca/media/publication/164_PAGR0102.pdf) (consulté en novembre 2011).

LILLESANDT. M., & KIEFERR. W. (1994). Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd ed. xvi + 750 pp. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons. Price £67.00 (hard covers), £19.95 (paperback). ISBN 0 471 30575 8 (pb).

LLIBOUTRY, L. (1956). Nieves y glaciares de Chile: fundamentos de glaciología. Editoriales de la Universidad de Chile, Santiago du Chili, 471 p.

MEDDOUR R., MEDDOUR-SAHAR O., DERRIDJ A. & BENSETTITI F. (2010). Le pin noir du Maghreb (*Pinus nigra Arn. subsp.*

*mauretanica* (Maire & Peyrer). Heywood). Un taxon suendémique très menacé en Algérie. *Documents Phytosociologiques*. 10p., Camerino.

MESSERLI, B. et IVES, J., Eds. (1997). Mountains of the world - global priority. A contribution to Chapter 13 of Agenda 21. Parthenon Publishing Group, Nueva York, 495 p.

MITRAKOS K. (1980). A theory for Mediterranean plant life. *Acta oecologica, Oecol. Plant.*, 1(15). n°3,245-252.

MITRAKOS K. (1982). Winter low temperatures in Mediterranean-type ecosystems. *Ecol. Medit.*, VIII (1/2). 95-102

NICHOLSON, S. E., KIM, J. & HOOPINGARNER, 1. (1988). Atlas of African Rainfall and Its Interannual Variability . Dept Meteorology, Florida State University, Tallahassee, Florida, USA.

NINOT, J., CARRILLO, E., FONT, X., CARRERAS, J., FERRE, A., MASALLES, R., SORIANO, I. et VIGO, J. (2007). "Altitude zonation in the Pyrenees. A geobotanic interpretation". *Phytocoenologia* 37(3-4):371-398.

NISHIDA I., MURATA N (1996) Chilling sensitivity in plants and cyanobacteria. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47, 541-568

OMM (2008). Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial en 2007. Organisation Météorologique Mondiale, Genève, Suisse, p.

NSIBI R., SOUAYAH N., KHOUJA L.M., KHALDI A. & BOUZID S. (2006). Impacts des facteurs biotiques et abiotiques sur la dégradation de la subéraie tunisienne. *Deo-Ac-Trop* 30-1. pp : 25-34.

ONERC, (2008). Changement climatiques dans les Alpes : impacts et risques naturels. Rapport Technique N° 1 de l'ONERC, 100 p.

OZENDA, P. (1975). Sur les étages de végétation dans les montagnes du bassin méditerranéen. – *Doc. Cartogr. Ecol.* 16: 1-32.

OZENDA, P. (1991). Les relations biogéographiques des montagnes sahariennes avec la région méditerranéenne. *Revue de Géographe Alpine*. 1, 43-53.

OZENDA, P. (2002). Perspectives pour une geobiologie de montagnes. Presses polytechniques et universitaires romandes, Laussane, p.

PAEGELOW, M. AND CAMACHO OLMEDO, M.T. (eds) (2008) *Modelling Environmental Dynamics: Advances in Geomatic Solutions*, Springer-Verlag, Berlin.

PATRICK C. (2010). Centre Régional de la Propriété Forestière (CPRF).

PONY O. DESCOMBES X. & ZERUBIA J. (2000). Classification d'images satellitaires hyperspectrales en zone rurale et périurbaine. Rapport de recherche. Hyper articles en ligne. Consulté le 02 novembre 2011.

QUEZEL P. (1978). Analysis of flora of Mediterranean and Saharan Africa. *Ann. Missouri. Bot. Gard.*, 65 (2) : 479-534.

QUEZEL, P. et BARBERO, M. (1989). "Zonation altitudinale des structures forestières de végétation en Californie méditerranéenne. Leur interprétation en fonction des méthodes utilisées sur le pourtour méditerranéen". *Annals of Forest Science* 46(3):233-250.

QUEZEL P., BARBERO M., BONIN G. & LOISEL R. (1990). Recent plant invasions in the centro-mediterranean region. In Discrì & al., "Biological Invasions". Kluwer publ.: 51-60.

QUEZEL, P. (2000). Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Paris.

QUEZEL, P. & MEDAIL, F. (2003). *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. -Elsevier, Paris.



QUEZEL P. & SANTA S. (1962-1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome I et II. Edition du centre national de la recherche scientifique 15, quai Anatole- France- Paris 7<sup>e</sup> . 1165p.

RAMADE F. (1984). Eléments d'Ecologie: Ecologie fondamentale. Me Graw-Hill, 397p.

REES, G. (2006). Remote Sensing of Snow and Ice. Taylor & Francis, Boca Raton, USA, p.

RICHARD P.J.H. (1997). Les climats annuels, la variabilité climatique et le bioclimat. Adresse sur le web : [www.geogr.umontreal.ca/donnees/geo3152](http://www.geogr.umontreal.ca/donnees/geo3152).

RIVAS-MARTINEZ, S. (1981). Les etages bioclimatiques de la végétation de la péninsuleIbérique. Actas III Congre.Optima, MADRID, A. J. B. (Eds), Madrid 251-268 p.

ROBINSON, D., DEWEY, K. et HEIM, R. (1993). "Global snow covermonitoring: an update". Bull. Amer. Meteor. Soc 74(9):1689-1696.

ROSENZWEIG, C., CASASSA, G., KAROLY, D. J., IMESON, A., LIU, C., MENZEL, A., RAWLINS, S., ROOT, T. L., SEGUIN, B. et TRYJANOWSKI,P. (2007). Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In "Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". PARRY, M. L., O. F. CANZIANI, J. P. PALUTIKOF, P. J. VAN DER LINDEN et C. E. HANSON (Eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 79-131 p.

ROUGIER, H., WACKERMANN, G. et MOTTET, G. (2001). Géographie des montagnes. Ellipses, Paris, p.

SALA, O. E., CHAPIN, III FS., ARMESTO ,J. J., BERLOW, E., BLOOMFIELD, J., DIRZO, R., HUBER-SANWALD, E., HUENNEKE, L. F , JACKSON, R. B., KINZIG, A., LEEMANS, R., LODGE, D. M., MOONEY, H. A., OESTERHELD, M., LEROY POFF, N., SYKES, M. T , WALKER, B. H., WALKER, M., & WALL D. H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. - Science 287: 1770-1774.

SEGUIN B. (2007). Le réchauffement climatique et ses conséquences pour la viticulture. Communication au colloque *Réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles ?* organisé par la chaire Unesco Vin et culture de l'Université de Bourgogne, Dijon, 28-30 mars 2007.

SEVRUK, B. (1997). "Regional dependency of precipitation-altitude relationship in the Swiss Alps". Climatic Change 36(3-4):355-369.

SINGH, D (1986). Change detection in the tropical forest environment of northeastern India using Landsat. In: M.J. Eden et J.T. Parry, eds. *Remote sensing and tropical land management*, pp. 237-254. Chichester, John Wiley.

SINGH, D., HERLIN, I., BERROIR, J.P., SILVA, E.F. AND MEIRELLES, M.S., 2004. An approach to correlate NDVI with soil colour for erosion process using NOAA/AVHRR data. *Advances in Space Research*, 33(3), 328-332.

SMITH, R. (1979). "The influence of mountains on the atmosphere". *Advances in Geophysics* 21:87-230.

SMITH, T. M. et REYNOLDS, R. W. (2005). "A global merged land air and sea surface temperature reconstruction based on historical observations (1880-1997)". *Journal of Climate* 18:2021-2036.

SMITH, R. (2006). Progress on the theory of orographic precipitation. In "Tectonics, Climate, And Landscape Evolution". WILLETT, S., N.

HOVIUS, M. BRANDON et D. FISHER (Eds). Geological Society of America, Boulder, Colorado, 1-16 p.

SOKOL, Z. et BLIZNAK, V. (2009). "Areal distribution and precipitation-altitude relationship of heavy short-term precipitation in the Czech Republic in the warm part of the year". Atmospheric Research In Press, Corrected Proof:doi:10.1016/j.atmosres.2009.1003.1001.

SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K. B., TIGNOR, M. et MILLER, H. L., Eds. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge et New York, 996 p.

SRIVASTAVA P. K., MAJUMDAR T. J. ET BHATTACHARYA A. K. (2009). Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data, *Advances in Space Research*, vol. 43, n° 10. pp. 1563-1574.

THOURET, J. (1984). "Pour une perspective géographique de l'étagement dans les grands systèmes montagneux". *Revue de Géographie Alpine* 72(2):189-212.

TRENBERTH K. E., JONES P. D., AMBENJE P. G., BOJARIU R., EASTERLING D. R., KLEIN TANK A. M. G., PARKER D. E., RENWICK J. A., RAHIMZADEH F., RUSTICUCCI M. M., SODEN B. J. ET ZHAI P.-M., 2007. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In *Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of WG 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. C. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds)], Cambridge University Press, Cambridge (U. K.), p. 235-336.

TUCKER, C. (1979). "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation". *Remote Sensing of Environment* 8(2):127-150.

WALKER, D. A., HALFPENNY, J., WALKER, M. et WESSMAN, C. (1993). "Long-term studies of snow-vegetation interactions". *Bioscience* 43(5):1993.

WENG Q. H., LIU H., LIANG B. Q. et LU D. S. (2008b). The Spatial Variations of Urban Land Surface Temperatures: Pertinent Factors, Zoning Effect, and Seasonal Variability, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 1, n°2, pp. 154-166.

WIESER, G. (2007). Climate at the Upper Timberline. In "Trees at their upper limit: Tree life limitations at the alpine tree line".

WIESER, G. et M. TUASZ (Eds). Springer, Dordrecht, 19-36 p.

YACOUBI M. & HANCHANE M. (2006). Importance de la pluviométrie en milieu aride et semi-aride Marocain, p03.

YANG, M., YAO, T., GOU, X., WANG, H. et TANG, H. (2007). "The spatially heterogeneous distribution of precipitation of the Anduoarea, Tibetan Plateau, in summer 1998". *Hydrological Sciences Journal* 52(4):645-653.

#### Sites web

WEB 1 (2015) - © Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, DGESco - Certains droits réservés



## Annexe 1 : Liste des espèces végétales du massif forestier de la Mahouna (Beldjazia,2009)

Espèce	Strate	Famille	Type biologique	Type chorologique	Espèce rare	Espèce endémique
1. <i>Alnus glutinosa</i>	Arbre	Betulaceae	Phanérophyte	Paléo-temp	AR	
2. <i>Ampelodesma mauritanicum</i>	Sous arbruisseaux	Poaceae	Hémicryptophyte	W.Méd		
3. <i>Anagallis arvensis</i>	Herbe	Primulaceae	Thérophyte	Sub cosmo		
4. <i>Arum maculatum</i>	Herbe	Araceae	Géophyte	Méd		
5. <i>Asparagus acutifolius</i>	Linoide	Aspargaceae	Phanérophyte	Méd		
6. <i>Asphodelus microcarpus</i>	Herbe	Xanthorihoeaceae	Géophytes	Canar.Méd		
7. <i>Borago officinalis</i>	herbe	Boraginaceae	Thérophytes	W.Méd		
8. <i>Briza maxima</i>	Herbe	Poaceae	Thérophytes	Paléo.Subtrop		
9. <i>Calendula officinalis</i>	Herbe	Asteraceae	Thérophytes	Cosmopolite		
10. <i>Calycotome villosa</i>	sous- arbrisseaux	Fabaceae	Phanérophyte	Méd		
11. <i>Cedrus atlantica</i>	Arbre	Pinaceae	Phanérophyte	Oro-Méd		End. Alg.Mar
12. <i>Celtis australis</i>	Arbre	Ulmaceae	Phanérophyte	Eur.Méd		
13. <i>Centaureum umbellatum</i>	Herbe	Gentianaceae	Hémicryptophyte	Eur.Méd		
14. <i>Ceratonia siliqua</i>	Arbre	Fabaceae	Phanérophyte	Méd		
15. <i>Cistus creticus</i>	sous arbrisseaux	Cistaceae	Phanérophyte	Méd		
16. <i>Cistus monspeliensis</i>	sous arbrisseaux	Cistaceae	phanérophyte	Méd		
17. <i>Cistus salvifolius</i>	sous arbrisseaux	Cistaceae	phanérophyte	Euras.Méd		
18. <i>Convolvulus arvensis</i>	Herbe	Convolvulaceae	Géophyte	Euras		
19. <i>Crataegus monogyna</i>	sous arbrisseaux	Rosaceae	Phanérophyte	Euro.Méd		
20. <i>Cupressus sempervirens</i>	Arbre	Cupressaceae	Phanérophyte	Méd. Oriental		
21. <i>Cyclamen africanum</i>	Herbe	Primulaceae	Géophyte	Algéro-costantinois		E.N.A
22. <i>Cynara cardunculus</i>	Sous arbrisseaux	Asteraceae	Hémicryp	Méd. occidentale		
23. <i>Cytisus triflorus</i>	Arbuste	Fabaceae	Chaméphyte	Méditerranéen eury	Oranm's	
24. <i>Daphne gnidium</i>	Arbuste	Thymelaeaceae	Phanérophyte	Méd		
25. <i>Daucus carota</i>	Herbe	Apiaceae	Hémicrypto	Méd		
26. <i>Erica arborea</i>	Arbre	Ericaceae	phanérophyte	Méd		
27. <i>Erica multiflora</i>	Arbuste	Ericaceae	phanérophyte	Méd		
28. <i>Eucalyptus globulus</i>	Arbre	Myrtaceae	Phanérophyte	Australie		
29. <i>Genista tricuspidata</i>	Arbuste	Fabaceae	phanérophyte			End N.A
30. <i>Geranium robertianum.</i>	Herbe	Geraniaceae	Thérophyte	cosm		
31. <i>Hedera helix</i>	Herbe	Araliaceae	phanérophyte	Eur.Méd		
32. <i>Hypericum perforatum</i>	Arbuste	Hypéricaceae	Chaméphytes	Méd		
33. <i>Juncus acutus</i>	Herbe	Juncaceae	Hémicryptophyte	Sub cosmo		
34. <i>Jeniperus oxycedrus</i>	Arbuste	Cupressaceae	Phanérophyte	Méd		
35. <i>Lagurus ovatus</i>	Herbe	Poaceae	Thérophyte	Macar-Méd		
36. <i>Lavandula stoechas</i>	sous arbrisseaux	Lamiaceae	Chaméphyte	Méd		
37. <i>Lonicera implexa</i>	Arbuste	Caprifoliaceae	Phanérophyte	Méd		
38. <i>Lotus edulis</i>	Herbe	Fabaceae	Thérophyte	Méd		

39.	<i>Malva sylvestris</i>	Herbe	Malvaceae	Hémicryptophyte	Euras		
40.	<i>Marrubium vulgare</i>	Herbe	Lamiaceae	Hémicryptophyte	Med.		
41.	<i>Matricaria recutita</i>	Herbe	Asteraceae	Thérophyte	Cosmopolite		
42.	<i>Mentha aquatica</i>	Herbe	Lamiaceae	Géophyte	Europ	AR .le tell	
43.	<i>Mentha pulegium</i>	Herbe	Lamiaceae	Hémicryptophyte	Euras		
44.	<i>Narcissus serotinus</i>	Herbe	Amaryllidaceae	Géophyte	Méd		
45.	<i>Nerium oleander</i>	Arbuste	Apocynaceae	Phanérophyte	Méd		
46.	<i>Nigella arvensis</i>	Herbe	Renonculaceae	Thérophyte	Méd		
47.	<i>Olea oleaster</i>	Arbre	Oleaceae	Phanérophyte	Méd		
48.	<i>Olea europea</i>	Arbre	Oleaceae	Phanérophyte	Méd		
49.	<i>Ophrys lutea</i>	Herbe	Orchidaceae	Géophyte	Méd.atlantique		
50.	<i>Ophrys fusca link</i>	Herbe	Orchidaceae	Géophyte	Méd		
51.	<i>Origanum glandulosum</i>	Herbe	Lamiaceae	Thérophyte	Alg-Tun		
52.	<i>Papaver rhoeas</i>	Herbe	Papaveraceae	Thérophyte	Paléo-temp		
53.	<i>Phillyrea angustifolia</i>	Arbuste	Oléaceae	Phanérophyte	Méd		
54.	<i>Phragmites communis</i>	Herbe	Poaceae	Hémicryptophyte	Cosm		
55.	<i>Pinus halepensis</i>	Arbre	Pinaceae	Phanérophyte	Méd. occidentale		
56.	<i>Pistacia atlantica</i>	Arbre	Anacardiaceae	Phanérophyte	Cosm		End.N.A
57.	<i>Pistacia lentiscus</i>	Arbre	Anacardiaceae	Phanérophyte	Méd		
58.	<i>Pistacia terebinthus</i>	arbre	Anacardiaceae	Phanérophyte	Méd		
59.	<i>Polypodium vulgare</i>	Herbe	Pteridaceae	Hémicryptophyte	Subcosmo		
60.	<i>Pteris longifolia</i>	Herbe	Pteridaceae	Hémicryptophyte	Paléo-subtrop		
61.	<i>Quercus canariensis</i>	Arbre	Fagaceae	Phanérophyte	Méd		
62.	<i>Quercus coccifera</i>	Arbre	Fagaceae	Phanérophyte	W-Méd		
63.	<i>Quercus suber</i>	Arbre	Fagaceae	Phanérophyte	W-Méd		
64.	<i>Ranunculus sardous</i>	Herbe	Ranunculaceae	Hémicryptophyte	Méd		
65.	<i>Rhamnus alaternus</i>	Arbuste	Rhamnaceae	Phanérophyte	Méd		
66.	<i>Rosa sempervirens</i>	Arbuste	Rosaceae	Phanérophyte	Méd		
67.	<i>Ruscus hypophyllum</i>	Herbe	Ruscaceae	Géophyte	Madère Eur-Méd		
68.	<i>Rubus ulmifolius</i>	Arbuste	Rosaceae	Chaméphyte	Eur-Méd		
69.	<i>Ruta graveolens</i>	Herbe	Rutaceae	Chaméphyte	Méd		
70.	<i>Salvia verbenaca</i>	Arbuste	Lamiaceae	Hémicryptophyte	Méd-Atl		
71.	<i>Sedum caeruleum</i>	Herbe	Crassulaceae	Thérophyte	Cent-Méd		
72.	<i>Senecio vulgaris</i>	Herbe	Asteraceae	Thérophyte	Subcosm		
73.	<i>Silybum marianum</i>	Herbe	Asteraceae	Hémicryptophyte	Méditer (eury)		
74.	<i>Smilax aspera</i>	Herbe	Smilacaceae	Phanérophyte	Macar.Méd.,Ethiopi e,Inde		
75.	<i>Smyrnium olusatrum</i>	Herbe	Apiaceae	Hémicryptophyte	Méd		
76.	<i>Spinacia oleracea</i>	Herbe	Amaranthaceae	Thérophyte	Méd		
77.	<i>Tamarix galica</i>	Arbre	Tamaricaceae	Phanérophyte	N.Trop		
78.	<i>Taraxacum obovatum</i>	Herbe	Asteraceae	Thérophyte	W.Méd		
79.	<i>Thapsia garganica</i>	Herbe	Apiaceae	Hémicryptophyte	Méd		

80. <i>Thymus algeriensis</i>	Herbe	Lamiaceae	Chaméphyte			End.N.A
81. <i>Ulmus campestris</i>	Arbre	Ulmaceae	Phanérophyte	Euras		
82. <i>Urginea maritima</i>	Herbe	Aspargaceae	Géophyte	Can .Méd		
83. <i>Urtica dioica</i>	Herbe	Urticaceae	Hémicryptophyte	Cosm		
84. <i>Valeriana montana</i>	Herbe	Valerianaceae	Thérophyte	Méd		
85. <i>Viburnum tinus</i>	Arbuste	Adoxaceae	Phanérophyte	Méd		
86. <i>Ziziphus lotus</i>	Arbuste	Rhamnaceae	Phanérophyte	Méd		



## Annexe 2 : Stress thermique au froid

Mois	Jours	Durée	Poids	Intensité
dec-00	05/12/2000	6	1,5	0,25
dec-00	12/12/2000	6	1,8	0,3
dec-00	13/12/2000	6	2,3	0,38
dec-00	14/12/2000	6	0,9	0,11
dec-00	15/12/2000	3	0,5	0,16
dec-00	18/12/2000	6	4,2	0,7
dec-00	19/12/2000	12	8,4	0,7
dec-00	20/12/2000	9	12,1	1,34
dec-00	24/12/2000	3	0,5	0,16
janv-00	02/01/2000	3	3,8	1,26666667
janv-00	04/01/2000	12	1,3	0,10833333
janv-00	05/01/2000	6	9,4	1,56666667
janv-00	06/01/2000	12	11,6	0,96666667
janv-00	07/01/2000	15	8,9	0,59333333
janv-00	08/01/2000	9	6,8	0,75555556
janv-00	09/01/2000	9	11,1	1,23333333
janv-00	10/01/2000	9	8,9	0,98888889
janv-00	11/01/2000	9	6,9	0,76666667
janv-00	12/01/2000	9	5,4	0,6
janv-00	14/01/2000	6	7,2	1,2
janv-00	15/01/2000	12	12,1	1,00833333
janv-00	16/01/2000	9	8,1	0,9
janv-00	17/01/2000	12	9,6	0,8
janv-00	19/01/2000	9	0,6	0,06666667
janv-00	20/01/2000	3	1,6	0,53333333
janv-00	21/01/2000	9	14,3	1,58888889
janv-00	22/01/2000	9	5,9	0,65555556
janv-00	23/01/2000	9	9,2	1,02222222
janv-00	25/01/2000	9	7,3	0,81111111
janv-00	26/01/2000	9	2,7	0,3
janv-00	27/01/2000	6	5,1	0,85
janv-00	28/01/2000	3	0,1	0,03333333
janv-00	29/01/2000	3	1,2	0,4
janv-00	31/01/2000	6	4,4	0,73333333
fev-00	01/02/2000	6	1,3	0,21666667
fev-00	02/02/2000	6	1,4	0,23333333
fev-00	06/02/2000	9	7,1	0,78888889
fev-00	07/02/2000	9	9,8	1,08888889
fev-00	08/02/2000	3	0,6	0,2
fev-00	12/02/2000	9	3,8	0,42222222
fev-00	15/02/2000	3	0,7	0,23333333
fev-00	19/02/2000	3	0,2	0,06666667

fev-00	20/02/2000	3	0,8	0,26666667
fev-00	21/02/2000	3	0,2	0,06666667
fev-00	22/02/2000	9	13,5	1,5
fev-00	23/02/2000	9	1,7	0,18888889
fev-00	26/02/2000	9	6,3	0,7
fev-00	27/02/2000	9	2,6	0,28888889
fev-00	28/02/2000	3	1,9	0,63333333
fev-00	29/02/2000	3	1,1	0,36666667
mars-00	01/03/2000	3	0,2	0,06666667
mars-00	03/03/2000	3	1,6	0,53333333
mars-00	04/03/2000	9	4,2	0,46666667
mars-00	05/03/2000	9	6,2	0,68888889
mars-00	06/03/2000	6	5,2	0,86666667
mars-00	07/03/2000	6	2,1	0,35
mars-00	10/03/2000	9	5,8	0,64444444
mars-00	11/03/2000	6	1,4	0,23333333
mars-00	19/03/2000	6	0,3	0,05
mars-00	27/03/2000	3	1,3	0,43333333
avr-00	06/04/2000	6	2,6	0,43333333
dec-01	10/12/2001	6	0,8	0,13333333
dec-01	11/12/2001	9	11,2	1,24444444
dec-01	12/12/2001	12	5,8	0,48333333
dec-01	13/12/2001	12	15,5	1,29166667
dec-01	14/12/2001	9	4	0,44444444
dec-01	17/12/2001	6	3,3	0,55
dec-01	18/12/2001	15	19	1,26666667
dec-01	19/12/2001	9	6,9	0,76666667
dec-01	22/12/2001	9	7,7	0,85555556
dec-01	28/12/2001	3	0,8	0,26666667
dec-01	29/12/2001	9	5	0,55555556
dec-01	30/12/2001	6	2,4	0,4
janv-01	01/01/2001	3	2,2	0,73333333
janv-01	02/01/2001	3	0,3	0,1
janv-01	03/01/2001	6	1,9	0,31666667
janv-01	04/01/2001	6	1	0,16666667
janv-01	09/01/2001	3	0,3	0,1
janv-01	10/01/2001	6	1,3	0,21666667
janv-01	11/01/2001	6	1,6	0,26666667
janv-01	15/01/2001	3	0,7	0,23333333
janv-01	16/01/2001	3	0,1	0,03333333
janv-01	22/01/2001	9	3,6	0,4
janv-01	27/01/2001	3	0,7	0,23333333
fev-01	02/02/2001	3	0,7	0,23333333
fev-01	03/02/2001	6	4,6	0,76666667

fev-01	04/02/2001	6	4,4	0,73333333
fev-01	05/02/2001	3	0,7	0,23333333
fev-01	06/02/2001	6	2,4	0,4
fev-01	13/02/2001	6	1,5	0,25
fev-01	14/02/2001	9	11	1,22222222
fev-01	19/02/2001	3	0,3	0,1
fev-01	20/02/2001	9	6,1	0,67777778
fev-01	21/02/2001	6	3,9	0,65
fev-01	23/02/2001	6	4,4	0,73333333
fev-01	24/02/2001	9	5,8	0,64444444
fev-01	26/02/2001	3	2,3	0,76666667
fev-01	27/02/2001	9	13,9	1,54444444
mars-01	14/03/2001	6	3,4	0,56666667
mars-01	15/03/2001	9	4,2	0,46666667
avr-01	03/04/2001	3	0,7	0,23333333
avr-01	10/04/2001	6	0,6	0,1
avr-01	14/04/2001	3	0,5	0,16666667
avr-01	16/04/2001	6	1,3	0,21666667
avr-01	22/04/2001	3	1,4	0,46666667
dec-02	09/12/2002	6	1,2	0,2
dec-02	10/12/2002	6	2,8	0,46666667
dec-02	16/12/2002	6	0,4	0,06666667
dec-02	30/12/2002	6	1,9	0,31666667
janv-02	05/01/2002	3	0,7	0,23333333
janv-02	06/01/2002	15	23	1,53333333
janv-02	07/01/2002	12	23,4	1,95
janv-02	08/01/2002	15	20,5	1,36666667
janv-02	09/01/2002	12	18,2	1,51666667
janv-02	10/01/2002	9	10	1,11111111
janv-02	11/01/2002	9	7,1	0,78888889
janv-02	12/01/2002	3	1,7	0,56666667
janv-02	13/01/2002	12	3,9	0,325
janv-02	14/01/2002	9	6,1	0,67777778
janv-02	18/01/2002	6	4,4	0,73333333
janv-02	19/01/2002	9	12,2	1,35555556
janv-02	20/01/2002	6	2,4	0,4
janv-02	21/01/2002	6	3,8	0,63333333
janv-02	22/01/2002	9	7,4	0,82222222
janv-02	26/01/2002	6	3,3	0,55
janv-02	27/01/2002	6	2,6	0,43333333
janv-02	28/01/2002	9	4,9	0,54444444
janv-02	29/01/2002	6	1,7	0,28333333
janv-02	30/01/2002	6	4,3	0,71666667
janv-02	31/01/2002	3	1,1	0,36666667

fev-02	02/02/2002	6	3,1	0,51666667
fev-02	03/02/2002	9	6,4	0,71111111
fev-02	04/02/2002	6	3,2	0,53333333
fev-02	10/02/2002	6	2,8	0,46666667
fev-02	11/02/2002	6	4,3	0,71666667
fev-02	13/02/2002	6	0,8	0,13333333
fev-02	14/02/2002	3	0,1	0,03333333
fev-02	21/02/2002	9	7,8	0,86666667
fev-02	22/02/2002	3	0,1	0,03333333
fev-02	24/02/2002	6	2	0,33333333
fev-02	25/02/2002	3	0,2	0,06666667
fev-02	26/02/2002	3	0,5	0,16666667
fev-02	28/02/2002	3	0,7	0,23333333
mars-02	09/03/2002	3	0,7	0,23333333
mars-02	26/03/2002	9	3,6	0,4
mars-02	27/03/2002	9	14,1	1,56666667
mars-02	28/03/2002	6	1,8	0,3
avr-02	06/04/2002	6	1,7	0,28333333
avr-02	18/04/2002	6	0,8	0,13333333
avr-02	21/04/2002	3	0,9	0,3
dec-03	04/12/2003	6	3,9	0,65
dec-03	05/12/2003	9	5,8	0,64444444
dec-03	06/12/2003	9	4,6	0,51111111
dec-03	07/12/2003	9	5,7	0,63333333
dec-03	17/12/2003	3	1,7	0,56666667
dec-03	18/12/2003	3	0,2	0,06666667
dec-03	24/12/2003	9	5,1	0,56666667
dec-03	25/12/2003	3	0,2	0,06666667
dec-03	26/12/2003	6	2,9	0,48333333
dec-03	27/12/2003	12	17,5	1,45833333
dec-03	28/12/2003	9	10,9	1,21111111
janv-03	04/01/2003	6	1,2	0,2
janv-03	10/01/2003	9	3,9	0,43333333
janv-03	13/01/2003	3	0,2	0,06666667
janv-03	15/01/2003	3	1,1	0,36666667
janv-03	19/01/2003	3	1,9	0,63333333
janv-03	21/01/2003	6	2,2	0,36666667
janv-03	31/01/2003	6	1,8	0,3
fev-03	01/02/2003	6	2,1	0,35
fev-03	02/02/2003	6	1,6	0,26666667
fev-03	05/02/2003	3	0,5	0,16666667
fev-03	07/02/2003	12	9,2	0,76666667
fev-03	08/02/2003	12	18,4	1,53333333
fev-03	15/02/2003	6	1,8	0,3

fev-03	16/02/2003	9	7	0,77777778
fev-03	17/02/2003	6	1,3	0,21666667
fev-03	22/02/2003	6	1,4	0,23333333
mars-03	08/03/2003	6	2,7	0,45
mars-03	12/03/2003	3	0,9	0,3
mars-03	18/03/2003	12	10,6	0,88333333
mars-03	21/03/2003	6	4,9	0,81666667
mars-03	22/03/2003	3	0,7	0,23333333
mars-03	24/03/2003	3	1,5	0,5
mars-03	25/03/2003	6	5,4	0,9
mars-03	26/03/2003	6	2,4	0,4
mars-03	27/03/2003	3	0,5	0,16666667
dec-04	13/12/2004	3	0,3	0,1
dec-04	14/12/2004	6	1,7	0,28333333
dec-04	24/12/2004	3	0,2	0,06666667
dec-04	25/12/2004	9	2,5	0,27777778
dec-04	28/12/2004	6	1,4	0,23333333
janv-04	06/01/2004	9	6,1	0,67777778
janv-04	07/01/2004	12	11,9	0,99166667
janv-04	08/01/2004	9	10,1	1,12222222
janv-04	09/01/2004	6	0,6	0,1
janv-04	16/01/2004	3	2,7	0,9
janv-04	20/01/2004	6	2,6	0,43333333
janv-04	29/01/2004	9	4,4	0,48888889
janv-04	30/01/2004	3	1,3	0,43333333
janv-04	31/01/2004	9	4,2	0,46666667
fev-04	01/02/2004	6	2,9	0,48333333
fev-04	02/02/2004	9	3	0,33333333
fev-04	06/02/2004	3	0,2	0,06666667
fev-04	07/02/2004	9	3,4	0,37777778
fev-04	11/02/2004	9	6,3	0,7
fev-04	12/02/2004	6	1,9	0,31666667
fev-04	13/02/2004	3	1,4	0,46666667
fev-04	14/02/2004	9	6,5	0,72222222
fev-04	15/02/2004	9	6,9	0,76666667
fev-04	17/02/2004	6	0,9	0,15
fev-04	23/02/2004	6	1,9	0,31666667
fev-04	24/02/2004	6	2,1	0,35
fev-04	29/02/2004	3	0,5	0,16666667
mars-04	02/03/2004	12	4,4	0,36666667
mars-04	03/03/2004	9	2,5	0,27777778
mars-04	05/03/2004	6	5,2	0,86666667
mars-04	08/03/2004	9	5,9	0,65555556
mars-04	10/03/2004	9	5,4	0,6

mars-04	12/03/2004	6	0,5	0,08333333
avr-04	05/04/2004	6	1,9	0,31666667
avr-04	13/04/2004	9	5,1	0,56666667
avr-04	14/04/2004	6	2,1	0,35
dec-05	02/12/2005	9	5,6	0,62222222
dec-05	08/12/2005	9	5,1	0,56666667
dec-05	10/12/2005	3	1,2	0,4
dec-05	12/12/2005	6	3,5	0,58333333
dec-05	17/12/2005	9	7,2	0,8
dec-05	22/12/2005	6	0,9	0,15
dec-05	23/12/2005	12	9,5	0,79166667
dec-05	24/12/2005	12	12,2	1,01666667
dec-05	25/12/2005	9	9,1	1,01111111
dec-05	30/12/2005	6	2,4	0,4
janv-05	05/01/2005	12	9,2	0,76666667
janv-05	06/01/2005	9	9,6	1,06666667
janv-05	07/01/2005	3	1,1	0,36666667
janv-05	08/01/2005	6	3,2	0,53333333
janv-05	09/01/2005	12	7,9	0,65833333
janv-05	10/01/2005	9	9	1
janv-05	11/01/2005	9	4,3	0,47777778
janv-05	15/01/2005	9	5,4	0,6
janv-05	16/01/2005	12	11,4	0,95
janv-05	17/01/2005	3	1,3	0,43333333
janv-05	18/01/2005	9	11,9	1,32222222
janv-05	23/01/2005	9	3,6	0,4
janv-05	24/01/2005	6	2,9	0,48333333
janv-05	25/01/2005	6	3,1	0,51666667
janv-05	26/01/2005	18	14,7	0,81666667
janv-05	27/01/2005	21	14,3	0,68095238
janv-05	28/01/2005	18	11,4	0,63333333
janv-05	29/01/2005	12	2,7	0,225
janv-05	30/01/2005	12	6,2	0,51666667
janv-05	31/01/2005	9	2,9	0,32222222
fev-05	01/02/2005	12	5,6	0,46666667
fev-05	02/02/2005	3	1,4	0,46666667
fev-05	03/02/2005	3	1	0,33333333
fev-05	05/02/2005	6	0,4	0,06666667
fev-05	07/02/2005	9	2,6	0,28888889
fev-05	11/02/2005	3	0,2	0,06666667
fev-05	12/02/2005	9	8	0,88888889
fev-05	13/02/2005	6	1,9	0,31666667
fev-05	15/02/2005	9	2	0,22222222
fev-05	16/02/2005	9	8,1	0,9

fev-05	17/02/2005	15	9,1	0,60666667
fev-05	18/02/2005	12	3,2	0,26666667
fev-05	19/02/2005	12	6,2	0,51666667
fev-05	20/02/2005	3	1,8	0,6
fev-05	23/02/2005	3	1,7	0,56666667
fev-05	24/02/2005	9	8,7	0,96666667
fev-05	27/02/2005	9	9,3	1,03333333
mars-05	03/03/2005	6	1,4	0,23333333
mars-05	05/03/2005	3	0,3	0,1
mars-05	07/03/2005	3	0,1	0,03333333
mars-05	08/03/2005	18	5,8	0,32222222
mars-05	09/03/2005	12	4,4	0,36666667
mars-05	10/03/2005	9	15,2	1,68888889
mars-05	11/03/2005	9	11,5	1,27777778
mars-05	12/03/2005	3	0,3	0,1
mars-05	12/03/2005	3	0,3	0,1
nov-05	28/11/2005	3	1,9	0,63333333
nov-05	29/11/2005	3	0,1	0,03333333
dec-06	02/12/2006	6	0,9	0,15
dec-06	24/12/2006	9	3,7	0,41111111
dec-06	27/12/2006	3	0,3	0,1
dec-06	28/12/2006	6	1,6	0,26666667
dec-06	29/12/2006	9	3,8	0,42222222
dec-06	30/12/2006	6	2,8	0,46666667
dec-06	31/12/2006	6	4,1	0,68333333
janv-06	06/01/2006	12	10,2	0,85
janv-06	07/01/2006	9	10,7	1,18888889
janv-06	08/01/2006	6	1,7	0,28333333
janv-06	11/01/2006	9	4,6	0,51111111
janv-06	13/01/2006	12	7,3	0,60833333
janv-06	14/01/2006	3	1,2	0,4
janv-06	15/01/2006	6	3,7	0,61666667
janv-06	16/01/2006	3	0,3	0,1
janv-06	17/01/2006	12	4,7	0,39166667
janv-06	18/01/2006	9	9,8	1,08888889
janv-06	19/01/2006	9	8,1	0,9
janv-06	25/01/2006	3	2,3	0,76666667
janv-06	26/01/2006	9	14,9	1,65555556
janv-06	27/01/2006	6	0,8	0,13333333
fev-06	08/02/2006	3	2,3	0,76666667
fev-06	09/02/2006	9	5	0,55555556
fev-06	10/02/2006	9	5,8	0,64444444
fev-06	15/02/2006	9	8	0,88888889
fev-06	16/02/2006	6	1,2	0,2

fev-06	17/02/2006	6	0,2	0,03333333
fev-06	22/02/2006	6	1,6	0,26666667
fev-06	25/02/2006	3	0,1	0,03333333
fev-06	26/02/2006	9	9,7	1,07777778
mars-06	03/03/2006	9	7,6	0,84444444
mars-06	04/03/2006	3	1,1	0,36666667
mars-06	09/03/2006	6	0,3	0,05
mars-06	15/03/2006	9	11,5	1,27777778
mars-06	16/03/2006	3	0,2	0,06666667
mars-06	30/03/2006	6	0,7	0,11666667
avr-06	13/04/2006	3	0,9	0,3
avr-06	14/04/2006	3	0,8	0,26666667
dec-07	01/12/2007	6	2,2	0,36666667
dec-07	02/12/2007	6	2,7	0,45
dec-07	03/12/2007	3	1,9	0,63333333
dec-07	13/12/2007	6	1,2	0,2
dec-07	15/12/2007	9	2,7	0,3
dec-07	16/12/2007	9	1,7	0,18888889
dec-07	17/12/2007	9	8	0,88888889
dec-07	18/12/2007	12	16,6	1,38333333
dec-07	19/12/2007	12	20,7	1,725
dec-07	20/12/2007	12	10	0,83333333
dec-07	21/12/2007	9	8,9	0,98888889
dec-07	23/12/2007	3	1	0,33333333
dec-07	24/12/2007	6	3	0,5
dec-07	27/12/2007	3	0,6	0,2
janv-07	01/01/2007	9	4,7	0,52222222
janv-07	02/01/2007	6	0,7	0,11666667
janv-07	04/01/2007	3	0,7	0,23333333
janv-07	05/01/2007	9	8,7	0,96666667
janv-07	07/01/2007	3	1,3	0,43333333
janv-07	08/01/2007	6	2,6	0,43333333
janv-07	10/01/2007	6	1,5	0,25
janv-07	13/01/2007	3	1,1	0,36666667
janv-07	14/01/2007	6	3,7	0,61666667
janv-07	15/01/2007	6	3,8	0,63333333
janv-07	16/01/2007	6	1,2	0,2
janv-07	18/01/2007	3	0,4	0,13333333
janv-07	19/01/2007	9	3,5	0,38888889
janv-07	20/01/2007	6	3,2	0,53333333
janv-07	21/01/2007	3	0,7	0,23333333
janv-07	22/01/2007	6	1,6	0,26666667
janv-07	26/01/2007	9	4,8	0,53333333
janv-07	27/01/2007	9	9,4	1,04444444



fev-07	03/02/2007	12	7,9	0,65833333
fev-07	05/02/2007	6	3	0,5
fev-07	06/02/2007	3	0,1	0,03333333
fev-07	08/02/2007	3	1,2	0,4
fev-07	11/02/2007	3	0,2	0,06666667
fev-07	16/02/2007	6	4,3	0,71666667
fev-07	17/02/2007	6	0,5	0,08333333
fev-07	25/02/2007	3	0,8	0,26666667
fev-07	28/02/2007	9	4,5	0,5
mars-07	01/03/2007	3	0,1	0,03333333
mars-07	14/03/2007	3	0,2	0,06666667
mars-07	15/03/2007	3	0,6	0,2
mars-07	19/03/2007	6	0,3	0,05
mars-07	21/03/2007	3	0,7	0,23333333
mars-07	22/03/2007	6	0,6	0,1
mars-07	23/03/2007	6	1,6	0,26666667
mars-07	24/03/2007	6	0,8	0,13333333
mars-07	26/03/2007	3	0,7	0,23333333
mars-07	31/03/2007	9	4	0,44444444
nov-07	11/11/2007	3	0,5	0,16666667
nov-07	12/11/2007	6	1,6	0,26666667
nov-07	18/11/2007	3	2,1	0,7
nov-07	19/11/2007	9	9,7	1,07777778
nov-07	26/11/2007	3	1,6	0,53333333
nov-07	29/11/2007	3	0,3	0,1
dec-08	05/12/2008	6	1,5	0,25
dec-08	23/12/2008	9	5	0,55555556
dec-08	24/12/2008	9	6,2	0,68888889
dec-08	25/12/2008	9	6,3	0,7
dec-08	26/12/2008	9	7,6	0,84444444
dec-08	27/12/2008	6	3,7	0,61666667
dec-08	28/12/2008	9	4,8	0,53333333
dec-08	31/12/2008	6	3,8	0,63333333
janv-08	01/01/2008	6	2,4	0,4
janv-08	02/01/2008	6	2,9	0,48333333
janv-08	06/01/2008	6	2,3	0,38333333
janv-08	07/01/2008	9	5	0,55555556
janv-08	08/01/2008	3	0,3	0,1
janv-08	14/01/2008	6	2,4	0,4
janv-08	15/01/2008	3	1,2	0,4
janv-08	16/01/2008	6	1,2	0,2
janv-08	21/01/2008	6	2,8	0,46666667
janv-08	22/01/2008	6	3,4	0,56666667
janv-08	24/01/2008	3	2,9	0,96666667

janv-08	25/01/2008	9	10,9	1,211111111
janv-08	26/01/2008	9	11,6	1,288888889
janv-08	27/01/2008	9	7,5	0,833333333
janv-08	28/01/2008	12	13,9	1,158333333
janv-08	29/01/2008	12	15,7	1,308333333
janv-08	30/01/2008	9	8,8	0,977777778
janv-08	31/01/2008	9	10,9	1,211111111
fev-08	01/02/2008	9	4,8	0,533333333
fev-08	02/02/2008	9	7,8	0,866666667
fev-08	03/02/2008	6	0,4	0,066666667
fev-08	06/02/2008	9	11,5	1,277777778
fev-08	07/02/2008	9	12,6	1,4
fev-08	09/02/2008	6	1,1	0,183333333
fev-08	10/02/2008	12	14,7	1,225
fev-08	11/02/2008	9	15,4	1,711111111
fev-08	12/02/2008	9	11,2	1,244444444
fev-08	13/02/2008	6	4,6	0,766666667
fev-08	14/02/2008	3	1,1	0,366666667
fev-08	18/02/2008	9	12,9	1,433333333
fev-08	19/02/2008	6	0,7	0,116666667
fev-08	22/02/2008	3	1,2	0,4
fev-08	24/02/2008	9	4,2	0,466666667
fev-08	26/02/2008	3	0,4	0,133333333
fev-08	28/02/2008	6	2,2	0,366666667
mars-08	02/03/2008	3	0,3	0,1
mars-08	03/03/2008	3	0,9	0,3
mars-08	04/03/2008	3	1,1	0,366666667
mars-08	05/03/2008	3	0,7	0,233333333
mars-08	10/03/2008	9	8,3	0,922222222
mars-08	22/03/2008	9	11,6	1,288888889
mars-08	25/03/2008	3	1	0,333333333
mars-08	26/03/2008	6	4	0,666666667
mars-08	29/03/2008	3	1,5	0,5
mars-08	30/03/2008	3	0,7	0,233333333
avr-08	06/04/2008	9	6,8	0,755555556
avr-08	14/04/2008	9	2,7	0,3
avr-08	16/04/2008	3	0,7	0,233333333
avr-08	27/04/2008	3	0,4	0,133333333
nov-08	26/11/2008	3	0,4	0,133333333
dec-09	07/12/2009	3	1,1	0,366666667
dec-09	08/12/2009	9	4	0,444444444
dec-09	13/12/2009	6	1,4	0,233333333
dec-09	21/12/2009	9	13,3	1,477777778
dec-09	28/12/2009	3	0,9	0,3

janv-09	05/01/2009	3	0,7	0,23333333
janv-09	06/01/2009	12	12,2	1,01666667
janv-09	09/01/2009	3	0,9	0,3
janv-09	10/01/2009	9	4,5	0,5
janv-09	11/01/2009	9	5,4	0,6
janv-09	16/01/2009	9	5,4	0,6
janv-09	17/01/2009	9	10,6	1,17777778
janv-09	18/01/2009	9	3,5	0,38888889
fev-09	16/02/2009	12	13,2	1,1
fev-09	17/02/2009	6	3,7	0,61666667
fev-09	21/02/2009	9	7,5	0,83333333
fev-09	26/02/2009	9	9,8	1,08888889
fev-09	28/02/2009	9	10,8	1,2
fev-09	29/02/2009	9	6,1	0,67777778
mars-09	09/03/2009	9	6,3	0,7
mars-09	10/03/2009	6	3,1	0,51666667
mars-09	11/03/2009	6	1,5	0,25
mars-09	12/03/2009	3	0,6	0,2
mars-09	13/03/2009	6	3,9	0,65
mars-09	14/03/2009	3	0,3	0,1
mars-09	16/03/2009	3	0,7	0,23333333
mars-09	19/03/2009	6	2,1	0,35
mars-09	22/03/2009	9	5,4	0,6
mars-09	23/03/2009	9	9,8	1,08888889
mars-09	24/03/2009	9	9,4	1,04444444
mars-09	26/03/2009	9	5,3	0,58888889
mars-09	27/03/2009	6	0,4	0,06666667
nov-09	21/11/2009	3	0,3	0,1
nov-09	24/11/2009	3	0,6	0,2
nov-09	25/11/2009	3	0,6	0,2
nov-09	26/11/2009	9	5,8	0,64444444
dec-10	05/12/2010	9	10,7	1,18888889
dec-10	12/12/2010	9	8,8	0,97777778
dec-10	13/12/2010	3	1,3	0,43333333
dec-10	16/12/2010	9	3	0,33333333
dec-10	21/12/2010	3	0,5	0,16666667
dec-10	28/12/2010	6	2,1	0,35
dec-10	29/12/2010	9	6,9	0,76666667
dec-10	30/12/2010	9	6	0,66666667
dec-10	31/12/2010	6	4,1	0,68333333
janv-10	03/01/2010	6	2,8	0,46666667
janv-10	14/01/2010	6	1,8	0,3
janv-10	16/01/2010	3	1	0,33333333
janv-10	17/01/2010	9	4,6	0,51111111

janv-10	22/01/2010	3	0,2	0,06666667
janv-10	23/01/2010	9	9,2	1,02222222
janv-10	26/01/2010	3	0,1	0,03333333
janv-10	29/01/2010	9	8,1	0,9
fev-10	01/02/2010	3	1,4	0,46666667
fev-10	02/02/2010	12	8,1	0,675
fev-10	03/02/2010	12	15,4	1,28333333
fev-10	04/02/2010	9	5,1	0,56666667
fev-10	11/02/2010	3	1,6	0,53333333
fev-10	12/02/2010	9	5,6	0,62222222
fev-10	13/02/2010	9	10,6	1,17777778
fev-10	15/02/2010	9	9,7	1,07777778
fev-10	21/02/2010	9	8,3	0,92222222
mars-10	02/03/2010	6	1,5	0,25
mars-10	11/03/2010	6	5,6	0,93333333
mars-10	16/03/2010	9	11,7	1,3
mars-10	17/03/2010	9	14	1,55555556
mars-10	18/03/2010	9	6,2	0,68888889
mars-10	19/03/2010	3	0,5	0,16666667
mars-10	28/03/2010	6	3,2	0,53333333

## Annexe 3 : Stress thermiques à la chaleur

Mois	Jours	Durée	Poids	Intensité
juin-00	27/06/2000	3	0,16	0,05333333
juin-00	28/06/2000	6	2,12	0,35333333
juil-00	01/07/2000	6	5,12	0,85333333
juil-00	02/07/2000	9	16,08	1,78666667
juil-00	03/07/2000	12	11,94	0,995
juil-00	05/07/2000	6	1,72	0,28666667
juil-00	06/07/2000	9	14,18	1,57555556
juil-00	07/07/2000	9	11,08	1,23111111
juil-00	10/07/2000	6	2,72	0,45333333
juil-00	22/07/2000	3	0,76	0,25333333
juil-00	23/07/2000	9	12,98	1,44222222
juil-00	25/07/2000	3	1,36	0,45333333
juil-00	26/07/2000	3	0,96	0,32
juil-00	27/07/2000	6	3,12	0,52
juil-00	28/07/2000	6	0,82	0,13666667
Aou-00	02/08/2000	3	0,56	0,18666667
Aou-00	03/08/2000	6	5,12	0,85333333
Aou-00	18/08/2000	6	9,82	1,63666667
Aou-00	19/08/2000	9	11,92	1,32444444
Aou-00	20/08/2000	9	11,28	1,25333333
Aou-00	21/08/2000	9	14,68	1,63111111
Aou-00	22/08/2000	9	3,62	0,40222222
Aou-00	23/08/2000	6	9,82	1,63666667
Aou-00	24/08/2000	9	15,08	1,67555556
Aou-00	25/08/2000	6	10,72	1,78666667
Aou-00	26/08/2000	6	11,92	1,98666667
Aou-00	27/08/2000	6	1,02	0,17
Aou-00	30/08/2000	6	11,5	1,91666667
Aou-00	31/08/2000	9	9,68	1,07555556
sept-00	17/09/2000	3	2,06	0,68666667
sept-00	19/09/2000	6	6,82	1,13666667
juin-01	06/06/2001	3	0,86	0,28666667
juin-01	08/06/2001	3	0,76	0,25333333
juin-01	09/06/2001	6	5,42	0,90333333
juin-01	10/06/2001	3	0,86	0,28666667
juin-01	15/06/2001	6	2,62	0,43666667
juin-01	23/06/2001	6	3,12	0,52
juin-01	24/06/2001	6	4,52	0,75333333
juin-01	25/06/2001	6	8,82	1,47
juin-01	26/06/2001	6	4,62	0,77
juin-01	27/06/2001	6	2,02	0,33666667
juil-01	04/07/2001	6	1,42	0,23666667

juil-01	05/07/2001	3	7,16	2,38666667
juil-01	06/07/2001	6	10,22	1,70333333
juil-01	09/07/2001	6	9,62	1,60333333
juil-01	13/07/2001	6	8,52	1,42
juil-01	14/07/2001	6	2,52	0,42
juil-01	15/07/2001	3	2,56	0,85333333
juil-01	18/07/2001	6	3,62	0,60333333
juil-01	23/07/2001	6	5,42	0,90333333
juil-01	24/07/2001	6	5,82	0,97
juil-01	27/07/2001	6	2,42	0,40333333
juil-01	28/07/2001	6	5,42	0,90333333
juil-01	29/07/2001	6	3,92	0,65333333
juil-01	30/07/2001	6	4,52	0,75333333
juil-01	31/07/2001	6	1,62	0,27
Aou-01	01/08/2001	9	1,38	0,15333333
Aou-01	02/08/2001	6	5,12	0,85333333
Aou-01	03/08/2001	6	5,12	0,85333333
Aou-01	04/08/2001	6	4,52	0,75333333
Aou-01	08/08/2001	6	2,92	0,48666667
Aou-01	09/08/2001	6	10,92	1,82
Aou-01	16/08/2001	3	0,76	0,25333333
Aou-01	18/08/2001	3	1,76	0,58666667
Aou-01	19/08/2001	6	3,12	0,52
Aou-01	27/08/2001	6	2,12	0,35333333
Aou-01	29/08/2001	6	3,02	0,50333333
juin-02	04/06/2002	3	5,26	1,75333333
juin-02	17/06/2002	3	1,26	0,42
juin-02	18/06/2002	6	3,82	0,63666667
juin-02	19/06/2002	3	1,56	0,52
juin-02	20/06/2002	6	4,12	0,68666667
juin-02	21/06/2002	6	1,02	0,17
juin-02	22/06/2002	6	0,39	0,065
juin-02	23/06/2002	6	2,12	0,35333333
juin-02	24/06/2002	3	1,56	0,52
juin-02	26/06/2002	3	0,16	0,05333333
juin-02	27/06/2002	6	7,42	1,23666667
juin-02	28/06/2002	9	13,48	1,49777778
juil-02	01/07/2002	9	16,18	1,79777778
juil-02	06/07/2002	6	2,82	0,47
juil-02	08/07/2002	6	7,52	1,25333333
juil-02	20/07/2002	3	0,96	0,32
juil-02	21/07/2002	9	18,28	2,03111111
juil-02	22/07/2002	12	6,38	0,53166667

juil-02	23/07/2002	3	2,56	0,85333333
Aou-02	01/08/2002	6	5,12	0,85333333
Aou-02	02/08/2002	9	10,68	1,18666667
Aou-02	03/08/2002	9	16,28	1,80888889
Aou-02	04/08/2002	6	6,92	1,15333333
Aou-02	05/08/2002	6	4,82	0,80333333
Aou-02	06/08/2002	3	1,56	0,52
sept-02	20/09/2002	6	1,42	0,23666667
juin-03	22/06/2003	6	3,42	0,57
juin-03	23/06/2003	6	6,12	1,02
juin-03	24/06/2003	6	4,72	0,78666667
juin-03	25/06/2003	6	4,22	0,70333333
juin-03	26/06/2003	6	8,42	1,40333333
juin-03	27/06/2003	3	2,56	0,85333333
juin-03	28/06/2003	3	3,36	1,12
juin-03	29/06/2003	9	17,38	1,93111111
juin-03	30/06/2003	9	9,08	1,00888889
juil-03	01/07/2003	3	0,36	0,12
juil-03	13/07/2003	6	2,82	0,47
juil-03	14/07/2003	6	6,42	1,07
juil-03	15/07/2003	12	13,84	1,15333333
juil-03	16/07/2003	9	7,38	0,82
juil-03	17/07/2003	6	7,52	1,25333333
juil-03	18/07/2003	6	5,62	0,93666667
juil-03	19/07/2003	6	4,22	0,70333333
juil-03	20/07/2003	6	8,72	1,45333333
juil-03	21/07/2003	9	13,58	1,50888889
juil-03	22/07/2003	12	18,54	1,545
juil-03	23/07/2003	9	11,68	1,29777778
juil-03	24/07/2003	6	8,32	1,38666667
juil-03	25/07/2003	6	4,12	0,68666667
juil-03	26/07/2003	6	11,12	1,85333333
juil-03	27/07/2003	9	7,28	0,80888889
juil-03	28/07/2003	3	0,16	0,05333333
Aou-03	08/08/2003	6	3,52	0,58666667
Aou-03	09/08/2003	3	1,56	0,52
Aou-03	10/08/2003	3	0,76	0,25333333
Aou-03	11/08/2003	6	1,42	0,23666667
Aou-03	12/08/2003	6	1,82	0,30333333
Aou-03	13/08/2003	6	4,52	0,75333333
Aou-03	14/08/2003	6	3,72	0,62
Aou-03	15/08/2003	6	6,92	1,15333333
Aou-03	16/08/2003	6	7,12	1,18666667
Aou-03	17/08/2003	6	7,32	1,22

Aou-03	18/08/2003	6	9,52	1,58666667
Aou-03	19/08/2003	6	3,62	0,60333333
Aou-03	20/08/2003	6	2,52	0,42
Aou-03	21/08/2003	6	2,92	0,48666667
Aou-03	22/08/2003	6	3,62	0,60333333
Aou-03	23/08/2003	6	7,72	1,28666667
Aou-03	24/08/2003	12	13,14	1,095
Aou-03	27/08/2003	6	1,82	0,30333333
Aou-03	28/08/2003	9	12,48	1,38666667
Aou-03	29/08/2003	6	11,62	1,93666667
Aou-03	30/08/2003	3	0,16	0,05333333
Aou-03	31/08/2003	3	1,56	0,52
sept-03	01/09/2003	6	3,12	0,52
sept-03	05/09/2003	3	2,96	0,98666667
oct-03	02/10/2003	6	7,22	1,20333333
juin-04	26/06/2004	6	1,02	0,17
juil-04	01/07/2004	6	2,02	0,33666667
juil-04	02/07/2004	3	1,56	0,52
juil-04	05/07/2004	3	0,16	0,05333333
juil-04	06/07/2004	6	4,52	0,75333333
juil-04	07/07/2004	6	3,62	0,60333333
juil-04	08/07/2004	3	1,56	0,52
juil-04	18/07/2004	6	6,72	1,12
juil-04	19/07/2004	3	0,76	0,25333333
juil-04	20/07/2004	3	0,56	0,18666667
juil-04	21/07/2004	6	2,52	0,42
juil-04	22/07/2004	6	5,52	0,92
juil-04	23/07/2004	6	4,52	0,75333333
juil-04	24/07/2004	6	3,81	0,635
Aou-04	02/08/2004	6	1,92	0,32
Aou-04	03/08/2004	6	0,16	0,02666667
Aou-04	08/08/2004	6	4,12	0,68666667
Aou-04	09/08/2004	6	4,06	0,67666667
Aou-04	12/08/2004	6	1,42	0,23666667
Aou-04	17/08/2004	6	6,62	1,10333333
Aou-04	18/08/2004	6	6,22	1,03666667
Aou-04	19/08/2004	9	11,88	1,32
Aou-04	23/08/2004	6	4,72	0,78666667
Aou-04	24/08/2004	6	10,82	1,80333333
Aou-04	25/08/2004	9	11,68	1,29777778
sept-04	03/09/2004	6	3,62	0,60333333
sept-04	04/09/2004	6	4,22	0,70333333
sept-04	05/09/2004	3	0,86	0,28666667
sept-04	12/09/2004	6	1,92	0,32



sept-04	15/09/2004	3	0,86	0,28666667
juin-05	25/06/2005	6	2,62	0,43666667
juin-05	26/06/2005	6	2,92	0,48666667
juin-05	27/06/2005	6	2,92	0,48666667
juin-05	28/06/2005	6	6,02	1,00333333
juin-05	29/06/2005	3	3,36	1,12
juin-05	30/06/2005	3	0,36	0,12
juil-05	16/07/2005	9	12,18	1,35333333
juil-05	17/07/2005	9	13,28	1,47555556
juil-05	18/07/2005	6	10,32	1,72
juil-05	22/07/2005	3	0,26	0,08666667
juil-05	24/07/2005	6	6,92	1,15333333
juil-05	25/07/2005	6	2,12	0,35333333
juil-05	27/07/2005	3	1,56	0,52
juil-05	28/07/2005	3	2,76	0,92
juil-05	31/07/2005	3	3,06	1,02
Aou-05	09/08/2005	9	11,08	1,23111111
Aou-05	10/08/2005	6	10,52	1,75333333
Aou-05	11/08/2005	3	0,16	0,05333333
Aou-05	18/08/2005	6	4,72	0,78666667
Aou-05	26/08/2005	3	0,16	0,05333333
Aou-05	27/08/2005	6	3,32	0,55333333
sept-05	06/09/2005	3	2,26	0,75333333
sept-05	07/09/2005	3	0,46	0,15333333
mai-06	18/05/2006	6	3,42	0,57
mai-06	22/05/2006	6	6,82	1,13666667
juin-06	15/06/2006	6	1,52	0,25333333
juin-06	16/06/2006	6	3,72	0,62
juin-06	17/06/2006	6	2,12	0,35333333
juin-06	18/06/2006	6	2,72	0,45333333
juin-06	19/06/2006	9	10,28	1,14222222
juin-06	20/06/2006	6	8,12	1,35333333
juin-06	21/06/2006	6	6,32	1,05333333
juin-06	22/06/2006	9	9,48	1,05333333
juin-06	23/06/2006	6	6,42	1,07
juin-06	24/06/2006	9	8,88	0,98666667
juin-06	25/06/2006	6	6,22	1,03666667
juin-06	26/06/2006	3	1,56	0,52
juin-06	27/06/2006	12	18,34	1,52833333
juin-06	28/06/2006	3	0,56	0,18666667
juil-06	03/07/2006	3	3,06	1,02
juil-06	04/07/2006	6	3,72	0,62
juil-06	05/07/2006	3	3,06	1,02
juil-06	06/07/2006	6	4,12	0,68666667

juil-06	14/07/2006	3	0,46	0,15333333
juil-06	15/07/2006	3	0,16	0,05333333
juil-06	21/07/2006	6	0,42	0,07
juil-06	22/07/2006	6	2,12	0,35333333
juil-06	23/07/2006	6	1,62	0,27
juil-06	24/07/2006	6	2,12	0,35333333
juil-06	25/07/2006	6	1,62	0,27
juil-06	26/07/2006	6	2,22	0,37
juil-06	27/07/2006	6	2,52	0,42
juil-06	28/07/2006	6	9,72	1,62
juil-06	31/07/2006	3	1,06	0,35333333
Aou-06	03/08/2006	6	3,42	0,57
Aou-06	15/08/2006	3	0,66	0,22
Aou-06	18/08/2006	3	3,06	1,02
Aou-06	23/08/2006	6	2,12	0,35333333
Aou-06	24/08/2006	6	2,72	0,45333333
oct-06	03/10/2006	6	6,32	1,05333333
mai-07	25/05/2007	3	1,66	0,55333333
juin-07	17/06/2007	6	3,32	0,55333333
juin-07	18/06/2007	9	9,28	1,03111111
juin-07	24/06/2007	12	20,24	1,68666667
juin-07	25/06/2007	9	13,78	1,53111111
juil-07	01/07/2007	6	5,12	0,85333333
juil-07	04/07/2007	6	0,52	0,08666667
juil-07	08/07/2007	6	5,22	0,87
juil-07	15/07/2007	6	6,62	1,10333333
juil-07	16/07/2007	6	7,62	1,27
juil-07	17/07/2007	6	5,42	0,90333333
juil-07	18/07/2007	3	1,86	0,62
juil-07	19/07/2007	6	4,42	0,73666667
juil-07	20/07/2007	6	3,92	0,65333333
juil-07	21/07/2007	6	10,32	1,72
juil-07	22/07/2007	6	3,72	0,62
juil-07	23/07/2007	9	18,98	2,10888889
juil-07	24/07/2007	6	5,72	0,95333333
Aou-07	01/08/2007	6	1,32	0,22
Aou-07	02/08/2007	6	3,32	0,55333333
Aou-07	03/08/2007	6	8,72	1,45333333
Aou-07	07/08/2007	6	1,32	0,22
Aou-07	13/08/2007	3	0,26	0,08666667
Aou-07	15/08/2007	3	0,56	0,18666667
Aou-07	25/08/2007	6	5,62	0,93666667
Aou-07	26/08/2007	6	6,01	1,00166667
Aou-07	27/08/2007	6	7,62	1,27

Aou-07	28/08/2007	9	11,48	1,275555556
Aou-07	29/08/2007	6	11,72	1,953333333
Aou-07	30/08/2007	9	11,18	1,242222222
sept-07	13/09/2007	3	1,86	0,62
sept-07	17/09/2007	6	2,92	0,486666667
mai-08	25/05/2008	6	1,82	0,303333333
juin-08	16/06/2008	6	2,52	0,42
juin-08	17/06/2008	3	0,26	0,086666667
juin-08	22/06/2008	6	1,62	0,27
juin-08	23/06/2008	6	6,12	1,02
juin-08	24/08/2008	3	0,16	0,053333333
juil-08	03/07/2008	6	7,92	1,32
juil-08	05/07/2008	3	2,06	0,686666667
juil-08	06/07/2008	6	5,62	0,936666667
juil-08	07/07/2008	6	3,82	0,636666667
juil-08	10/07/2008	3	2,06	0,686666667
juil-08	11/07/2008	3	5,66	1,886666667
juil-08	12/07/2008	6	3,72	0,62
juil-08	17/07/2008	3	0,46	0,153333333
juil-08	20/07/2008	6	3,72	0,62
juil-08	21/07/2008	3	1,46	0,486666667
juil-08	25/07/2008	6	3,22	0,536666667
juil-08	28/207/2008	6	1,32	0,22
juil-08	29/07/2008	3	1,56	0,52
juil-08	30/07/2008	6	2,22	0,37
juil-08	31/07/2008	6	3,32	0,553333333
Aou-08	04/08/2008	6	1,12	0,186666667
Aou-08	06/08/2008	6	6,52	1,086666667
Aou-08	07/08/2008	9	12,28	1,364444444
Aou-08	11/08/2008	3	0,56	0,186666667
Aou-08	12/08/2008	6	7,12	1,186666667
Aou-08	13/08/2008	6	9,82	1,636666667
Aou-08	14/08/2008	9	15,88	1,764444444
Aou-08	18/08/2008	3	0,56	0,186666667
Aou-08	19/08/2008	6	9,12	1,52
Aou-08	22/08/2008	6	3,12	0,52
Aou-08	23/08/2008	3	0,96	0,32
sept-08	04/09/2008	6	3,92	0,653333333
sept-08	05/09/2008	9	6,28	0,697777778
sept-08	06/09/2008	3	0,96	0,32
sept-08	09/09/2008	9	9,08	1,008888889
sept-08	10/09/2008	6	8,52	1,42
sept-08	11/09/2008	6	7,02	1,17
juin-09	05/06/2009	3	0,36	0,12

juin-09	14/06/2009	3	0,16	0,05333333
juin-09	15/06/2009	6	1,06	0,17666667
juin-09	16/06/2009	3	0,26	0,08666667
juil-09	02/07/2009	6	0,92	0,15333333
juil-09	03/07/2009	6	2,12	0,35333333
juil-09	05/07/2009	6	1,32	0,22
juil-09	06/07/2009	3	0,86	0,28666667
juil-09	07/07/2009	6	1,12	0,18666667
juil-09	12/07/2009	6	0,42	0,07
juil-09	13/07/2009	9	11,88	1,32
juil-09	14/07/2009	6	6,52	1,08666667
juil-09	15/07/2009	6	6,22	1,03666667
juil-09	16/07/2009	9	12,68	1,40888889
juil-09	17/07/2009	6	1,62	0,27
juil-09	21/07/2009	6	3,72	0,62
juil-09	22/07/2009	9	12,48	1,38666667
juil-09	23/07/2009	9	17,28	1,92
juil-09	24/07/2009	12	19,24	1,60333333
juil-09	25/07/2009	3	1,26	0,42
juil-09	27/07/2009	6	11,42	1,90333333
juil-09	28/07/2009	9	10,08	1,12
juil-09	29/07/2009	6	4,32	0,72
Aou-09	01/08/2009	6	2,92	0,48666667
Aou-09	03/08/2009	3	0,16	0,05333333
Aou-09	09/08/2009	6	1,92	0,32
Aou-09	10/08/2009	3	1,36	0,45333333
Aou-09	12/08/2009	3	1,16	0,38666667
Aou-09	13/08/2009	3	0,76	0,25333333
Aou-09	15/08/2009	3	3,06	1,02
Aou-09	19/08/2009	6	1,32	0,22
Aou-09	20/08/2009	6	0,16	0,02666667
Aou-09	24/08/2009	6	4,12	0,68666667
Aou-09	25/08/2009	3	2,06	0,68666667
Aou-09	26/08/2009	3	0,16	0,05333333
sept-09	01/09/2009	6	1,32	0,22
sept-09	02/09/2009	6	1,72	0,28666667
juin-10	09/06/2010	3	0,56	0,18666667
juil-10	03/07/2010	3	0,26	0,08666667
juil-10	09/07/2010	3	0,56	0,18666667
juil-10	10/07/2010	3	0,26	0,08666667
juil-10	11/07/2010	6	3,32	0,55333333
juil-10	12/07/2010	3	1,56	0,52
juil-10	13/07/2010	3	0,16	0,05333333
juil-10	14/07/2010	6	8,22	1,37

juil-10	15/07/2010	6	2,02	0,33666667
juil-10	16/07/2010	6	6,72	1,12
juil-10	17/07/2010	6	5,02	0,83666667
juil-10	21/07/2010	6	7,92	1,32
juil-10	22/07/2010	12	15,24	1,27
juil-10	23/07/2010	9	12,88	1,43111111
Aou-10	01/08/2010	3	0,66	0,22
Aou-10	02/08/2010	6	6,62	1,10333333
Aou-10	10/08/2010	3	1,06	0,35333333
Aou-10	11/08/2010	3	0,56	0,18666667
Aou-10	12/08/2010	6	4,92	0,82
Aou-10	13/08/2010	3	1,66	0,55333333
Aou-10	19/08/2010	6	2,32	0,38666667
Aou-10	20/08/2010	9	9,98	1,10888889
Aou-10	21/08/2010	3	0,36	0,12
Aou-10	23/08/2010	6	2,62	0,43666667
Aou-10	24/08/2010	6	4,52	0,75333333
Aou-10	27/08/2010	6	3,82	0,63666667
Aou-10	28/08/2010	3	3,96	1,32
sept-10	07/09/2010	3	0,76	0,25333333
sept-10	17/09/2010	3	0,76	0,25333333
sept-10	18/09/2010	3	0,96	0,32
oct-10	06/10/2010	3	1,06	0,35333333
oct-10	07/10/2010	3	0,16	0,05333333

Annexe 4 : Superficies incendiées du massif forestier de la Mahouna  
(1998- 2014)

Années	Forêts	Maquis	Broussailles	Total
1998	45	0	27	72
1999	15	0	5	20
2000	0	0	0	0
2001	0	0	0	0
2002	0	0,5	0	0,5
2003	0	0	0	0
2004	0	0	0	0
2005	2	0,5	3	5,5
2006	7	0	21	28
2007	0	3	0	3
2008	2,5	0	4,5	7
2009	0	0	0	0
2010	0	0	0,5	0,5
2011	0	0	0	0
2012	7	0	5	12
2013	0	1	1	2
2014	0	0	2	2
Total	78,5	5	69	152,5
moy	4,61764706	0,29411765	4,05882353	

## **Résumé**

Les écosystèmes méditerranéens sont considérés particulièrement sensibles aux changements climatiques. Toute modification des facteurs climatiques affecte la structure et le fonctionnement de ces écosystèmes et a une influence sur la productivité végétale. L'objectif principal de ce travail est de caractériser l'un des écosystèmes méditerranéens ; le massif forestier de la Mahouna (situé au Nord-Est de l'Algérie) d'un point de vue végétation, édaphique et leur lien avec le climat en utilisant les données météorologiques (précipitations et températures pour une période de 30 ans) et les images satellites pour la période de 1987 à 2015. L'analyse de la végétation permet de déterminer 46 familles botaniques avec la dominance des phanérophytes et thérophytes, qui se développent sur des sols riches en matière organique, avec un pH acide, une texture variable entre sablo-limoneuse, limono-sableuse, voire argileuse à très argileuse selon les endroits. L'étude diachronique de ce massif montre une réduction de la surface du couvert végétal de l'ordre de 1.97%. L'analyse climatique indique une augmentation des températures maximales moyennes mensuelles, avec un réchauffement hautement significatif de 0.12°C pour la saison printanière et les précipitations sont variables d'une année à l'autre et tendent vers des années de plus en plus sèches. Les données thermiques tri-horaires de la période de 2000 à 2010 fait ressortir 502 jours de stress au froid et 373 jours de stress à la chaleur, affectant la productivité végétale, où on a enregistré une diminution des valeurs de NDVI des formations végétales exposées à des périodes de stress thermique.

**Mots clefs** : Changements climatiques, Forêt de la Mahouna, NDVI, Stress thermique.

## **Abstract**

Mediterranean ecosystems are considered particularly sensitive to climate change. Any change of climatic factors affects the structure and the functioning of these ecosystems and has influence on the plant productivity. The main objective of this work is to characterize one of the Mediterranean ecosystems; the forest of the Mahouna (located in the North East of Algeria) in point of view of edaphic, vegetation and their climate link using meteorological data (precipitation and temperatures for a period of 30 years) and satellite imagery for the period from 1987 to 2015. The analysis of vegetation enables to determine 46 botanical families with dominance of phanerophytes and therophytes, which grow on rich soils in organic matter, with an acid pH, variable texture from sandy-loamy, silty-sandy to clay or very clay at different places. The diachronic study of this massive shows a reduction in the area of plant cover in the order of 1.97%. The climate analysis indicates an increase in the monthly average maximum temperatures, with a highly significant warming of 0.12 ° C for the spring season and the rainfall is variable from one year to another and tends to a more and more dry years . The three-hours thermal data for the period from 2000 to 2010 highlights 502 days of cold stress and 373 days of heat stress, affecting plant productivity, where there was a decrease in NDVI values of vegetation exposed to thermal stress periods.

**Key words:** Climate change, Forest of Mahouna, NDVI, Thermal Stress



## ملخص

تعتبر النظم الإيكولوجية للبحر الأبيض المتوسط حساسة خاصة مع تغير المناخ. أي تغيير في العوامل المناخية يؤثر على بنية وعمل هذه النظم الإيكولوجية ويؤثر على إنتاجية النباتات. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو لوصف واحد من النظم الإيكولوجية للبحر الأبيض المتوسط المتمثل في غابة ماونة (الموجود في شمال شرق الجزائر) من وجهة نظر الغطاء النباتي، وعوامل التربة و علاقتهم بالمناخ باستخدام بيانات الأرصاد الجوية (الأمطار ودرجات الحرارة لمدة 30 عاما) و صور الأقمار الصناعية للفترة 1987 إلى 2015. تحليل الغطاء النباتي حدد 46 عائلة نباتية مع هيمنة الاصناف البيولوجية الفانيروفيت و التيروفيت ، التي تنمو في التربة الغنية بالمواد العضوية، ذات وسط حامضي، نسيج متغير من الرمل الصلصالي و الصلصال الرملي الى الطين في مختلف الأماكن. تظهر الدراسة الزمنية انخفاض ضخم في مجال الغطاء النباتي ب 1.97%. ويشير تحليل المناخ زيادة في الحد الأقصى لدرجات الحرارة في المتوسط الشهري، مع دفء هام للغاية ب 0.12 درجة مئوية لفصل الربيع والأمطار متغيرة من سنة إلى أخرى، وتميل إلى سنوات جافة على نحو متزايد. البيانات الحرارية لثلاث ساعات للفترة 2000-2010 تظهر 502 يوما من الإجهاد الناجم عن البرد و 373 يوما من الإجهاد الحراري، مما يؤثر على إنتاجية النبات، حيث كان هناك انخفاض في قيم NDVI من النباتات المعرضة للفترات الإجهاد الحراري.

**الكلمات المفتاح :** تغير المناخ، غابة ماونة ، NDVI ، الإجهاد الحراري.

**Nom et Prénom :** BELDJAZIA Amina      **Date de soutenance :** 23/11/2016

**Thème :** Les Perturbations Climatiques et leurs Incidences Possibles sur l'Ecosystème Forestier de la Mahouna (Guelma)

**Nature du diplôme :** Doctorat en Science, Filière « Ecologie et Environnement », option « Ecologie Végétale »

**Résumé**

Les écosystèmes méditerranéens sont considérés particulièrement sensibles aux changements climatiques. Toute modification des facteurs climatiques affecte la structure et le fonctionnement de ces écosystèmes et a une influence sur la productivité végétale. L'objectif principal de ce travail est de caractériser l'un des écosystèmes méditerranéens ; le massif forestier de la Mahouna (situé au Nord-Est de l'Algérie) d'un point de vue végétation, édaphique et leur lien avec le climat en utilisant les données météorologiques (précipitations et températures pour une période de 30 ans) et les images satellites pour la période de 1987 à 2015. L'analyse de la végétation permet de déterminer 46 familles botaniques avec la dominance des phanérophytes et thérophytes, qui se développent sur des sols riches en matière organique, avec un pH acide, une texture variable entre sablo-limoneuse, limono-sableuse, voire argileuse à très argileuse selon les endroits. L'étude diachronique de ce massif montre une réduction de la surface du couvert végétal de l'ordre de 1.97%. L'analyse climatique indique une augmentation des températures maximales moyennes mensuelles, avec un réchauffement hautement significatif de 0.12°C pour la saison printanière et les précipitations sont variables d'une année à l'autre et tendent vers des années de plus en plus sèches. Les données thermiques tri-horaires de la période de 2000 à 2010 fait ressortir 502 jours de stress au froid et 373 jours de stress à la chaleur, affectant la productivité végétale, où on a enregistré une diminution des valeurs de NDVI des formations végétales exposées à des périodes de stress thermique.

**Mots clefs :** Changements climatiques, Forêt de la Mahouna, NDVI, Stress thermique.

**Laboratoire de recherche :** Développement et Valorisation des Ressources Phytogénétiques- UFM

**Membre du jury :**

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| <b>Président :</b> Pr. Mohamed El Habib Benderradji | Professeur UFM Constantine |
| <b>Rapporteur :</b> Pr. Djamel ALATOU               | Professeur UFM Constantine |
| <b>Examineurs :</b> Dr. Kamel Eddine BAZRI          | MCA UFM Constantine        |
| Pr. Rachid GHARZOULI                                | Professeur UFA Sétif 1     |
| Pr. Mohamed FENNI                                   | Professeur UFA Sétif 1     |
| Dr. Khellaf REBBAS                                  | MCA UMB M'Sila             |