

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	1
---------------------	---

### **CHAPITRE I : PRÉSENTATION DU MILIEU DE LA RÉGION D'ÉTUDE**

1. LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE LA RÉGION D'ÉTUDE	3
2. DÉLIMITATION BIOGÉOGRAPHIQUE DE LA RÉGION D'ÉTUDE	5
3. CADRE GÉOLOGIQUE	7
4. CARACTÈRES GÉO MORPHOLOGIQUES	8
5. POTENTIEL HYDRIQUE	8
6. MILIEU ÉDAPHIQUE	10
6. 1. Sols d'érosion (Régosols)	10
6. 2. Les sols d'apport alluvial (Fluvisols)	10
6. 3. Les sols d'apport colluvial (Colluviosols)	11
6. 4. Sol brun calcaire et /ou calcique	11
6. 5. Les sols fersiallitiques rouges ou brun rouges	12
6. 6. Sol marron à croûte calcaire	12
7. CADRE CLIMATIQUE	12
8. POTENTIEL AGRICOLE	13
8. 1. Caractéristiques	13
8. 2. Répartition générale des terres	14
8. 3. Structure foncière et taille des exploitations	17
8. 4. Pratique de l'irrigation	18
8. 5. Les Spéculations agricoles	18
8. 6. La mécanisation	21
8. 7. La production animale	22
8. 7. 1. Gros élevage	22
8. 7. 2. Petit élevage.	23
8. 8. Conclusion	23
9. VÉGÉTATION	24

### **CHAPITRE II : CLIMAT ET BIOCLIMAT MÉDITERRANÉENS**

1. NOTION DE CLIMAT ET DE TEMPS	29
2. LE CLIMAT MÉDITERRANÉEN	32
2. 1. Circulation atmosphérique - Dépressions et vents régionaux en Méditerranée	32
2. 2. Principaux traits du climat méditerranéen	34
2. 3. Températures	34
2. 4. Pluviométrie	34
3. VARIABILITÉ DU CLIMAT MÉDITERRANÉEN	35
3. 1. Hypothèses et réflexions sur l'origine de la variabilité climatique dans le BM	35
3. 1. 1. ENSO	35
3. 1. 2. Mousson indienne	37
3. 1. 3. Relation entre les précipitations et l'indice de l'oscillation nord-Atlantique	38
3. 2. Variabilité interannuelle et inter-décennale	39

4. ÉVOLUTION DU CLIMAT MÉDITERRANÉEN	40
4. 1. Le changement climatique et son évolution au cours du temps	40
4. 2. Impacts du changement climatique	42
5. BIOCLIMAT MÉDITERRANÉEN	44
5. 1. Hétérogénéités bioclimatiques et notion d'étage altitudinal de végétation	44
5. 1. 1. Conceptions d'EMBERGER et notion d'étage altitudinal de végétation	45
5. 1. 2. Classification des bioclimats méditerranéens selon GAUSSEN et BAGNOULS	49
5. 1. 3. Comparaison des deux conceptions.	50
6. La place de l'agriculture dans le pourtour méditerranéen	50
7. Conclusion	53

### **CHAPITRE III : OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES & ÉTUDE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE**

1. OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES	54
2. EXPLOITATION DES ENREGISTREMENTS MÉTÉOROLOGIQUES	56
2. 1. Origine des données	57
2. 2. Homogénéité des données	59
2. 3. Climat et variabilité pluviométrique	62
2. 3. 1. Détection de ruptures et étude de tendance au sein des séries pluviométriques	63
2. 3. 2. Ruptures et tendance au sein des séries pluviométriques	64
3. RÉGIME THERMIQUE	72
3. 1. Critique des données	72
3. 2. Répartition des températures	74
3. 2. 1. Les extrêmes mensuels	74
3. 2. 1. 1. Température maximale moyenne	74
3. 2. 1. 2. Température maximale absolue	75
3. 2. 1. 3. Température minimale moyenne	76
3. 2. 1. 4. Température minimale absolue	77
3. 2. 2. Température moyenne annuelle	78
3. 2. 3. Température annuelle	79
3. 3. Variabilité des températures moyennes mensuelles	79
4. CONCLUSION	81

### **CHAPITRE IV : CLIMAT ET PRÉVISION SAISONNIÈRE POUR L'AGRICULTURE**

1. INTRODUCTON	82
2. ETUDE DE LA PERSISTANCE DE LA SÉCHERESSE	82
2. 1. Définition de la sécheresse	82
2. 2. Présentation des chaines de MARKOV	85
2. 3. Application des chaines de Markov : Echelle annuelle et saisonnière	86
3. CONCLUSION	98

## **CHAPITRE V : RAPPORTS CLIMAT-VÉGÉTATION**

1. LA PLANTE ET SON MILIEU ATMOSPHÉRIQUE	99
1. 1. Influence de la végétation sur le climat	99
1. 2. Influence du climat sur la végétation	99
1. 2. 1. Les pluies	100
1. 2. 2. La température	101
2. 1. Estimation de l'évapotranspiration	102
2. 1. Évapotranspiration potentielle TURC	103
2. 2. Évapotranspiration potentielle BLANEY-CRIDDLE	104
2. 3. Évapotranspiration potentielle THORNTHWAITE	106
2. 4. Évapotranspiration potentielle PENMAN	107
2. 5. Évapotranspiration réelle annuelle de TURC	108
2. 6. Comparaison entre les méthodes	111
3. INDICESET COEFFICIENTS CLIMATOLOGIQUES	114
3. 1. Indices et coefficients à une seule variable climatique	115
3. 1. 1. L'indice de continentalité pluviométrique d'ANGOT	115
3. 1. 2. L'indice de continentalité thermique de GORCZINSKI	115
3. 1. 3. Coefficient pluviométrique relatif d'ANGOT	116
3. 1. 4. Coefficient du régime pluviométrique	117
3. 1. 5. Moyenne pluviométrique relatif	118
3. 1. 6. Indice saisonnier de PEGUY	119
3. 1. 7. Gradient pluviométrique	120
3. 1. 8. Indice de chaleur	123
3. 1. 9. Gradients de décroissance verticale et longitudinale de la température	123
3. 1. 10. Température limite	124
3. 1. 11. Indice de continentalité de JOHANSON	125
3. 1. 12. Indice de COUTAGNE	126
3. 1. 13. Coefficient d'océanité de KERNER	128
3. 1. 14. Indice végétatif	129
3. 1. 15. Méthode des rapports	130
3. 1. 16. Indice d'évaporation de DUBIEF	132
3. 2. Indices et coefficients à deux variables climatiques	132
3. 2. 1. Indice xérothermique de GAUSSEN	132
3. 2. 2. Indice d'aridité annuelle de DE MARTONNE	134
3. 2. 3. Indice d'aridité mensuelle de DE MARTONNE	137
3. 2. 4. Indice d'aridité d'ANGSTRÖM	138
3. 2. 5. Indice d'aridité de GORCZYNSKI	138
3. 2. 6. Quotient pluviométrique d'EMBERGER	139
3. 2. 7. Indice de sécheresse estivale de GIACOBBE	141
3. 2. 8. Indice climatique de BIROT	142
3. 2. 9. Indice Pluvio-efficacité	142
3. 2. 10. Indice de précipitation effective de THORNTHWAITE	143
3. 2. 11. Indice Pluvio-thermique de THORNTHWAITE	144

3. 2. 12. Indice pluviométrique de MORAL	144
3. 2. 13. Indice de KOPPËN	145
3. 2. 14. Indice héliothermique	146
3. 3. Indices et coefficients à plusieurs variables climatiques	146
3. 3. 1. Indice d'humidité	146
3. 3. 2. Indice de PATERSON	147
3. 3. 3. Indice de PAPADAKIS	148
3. 3. 4. Indice de HUGLIN	148
3. 3. 5. Indice de potentialité agricole de TURC	148
3. 3. 6. Estimation de la production végétale maximale annuelle	149
3. 3. 7. Indice d'intensité de sécheresse de GAUSSEN	150
3. 4. Comparaison entre les méthodes	151
4. CONCLUSION	153
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b>	154
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	157
<b>ANNEXES</b>	

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

### TABLEAUX

Tableau 1. 1 - Répartition générale des terres, campagne agricole 2012/2013 (D.S.A, 2014). Tableau 1. 2 - Répartition générale des terres agricoles, campagne agricole 2012/2013 (Source : D.S.A, 2014). Tableau 1. 3 - Les superficies des cultures irriguées (D.S.A, 2014). Tableau 1. 4 - Importance de la S.A.U en irriguée et en sec pour la région d'étude (D.S.A, 2014). Tableau 1. 5 - Nombre des exploitations agricoles selon leurs statuts juridiques (A.N.A.T, 2010). Tableau 1. 6 - Importance du potentiel en sol irrigable par système d'irrigation en Ha (D.S.A, 2014). Tableau 1. 7 - Répartition de la superficie agricole par spéculation pour la campagne 2012/2013 (D.S.A, 2014). Tableau 2. 1 - Relations entre le type de bioclimat, les valeurs de P (moyenne annuelle des précipitations), de Q2 (coefficients d'EMBERGER) et le nombre de mois secs (QUEZEL & MEDAIL, 2003a). Tableau 2. 2 - Relations entre les variantes thermiques et l'amplitude thermique en fonction de m (moyenne des minima du mois le plus froid de l'année) (QUEZEL & MEDAIL, 2003a). Tableau 2. 3 - Principales essences caractéristiques en forêts méditerranéennes, en fonction des divers étages altitudinaux et de la moyenne des minima du mois le plus froid de l'année (m), (QUEZEL & MEDAIL, 2003). Tableau 3. 1 - Les différents instruments de mesure utilisés des observations météorologiques Tableau 3. 2 - Stations retenues dans l'étude et leurs caractéristiques Tableau 3. 3 - Les stations retenues pour l'étude et leurs caractéristiques Tableau 3. 4 - Précipitations annuelles à la Station de Zenata (1922-23 / 2012-13) Tableau 3. 5 - Précipitations annuelles à la station de Maghnia (1976-1977 / 2012-13) Tableau 3. 6 - Application des tests statistiques sur les périodes des stations retenues. Tableau 3. 7 - Segmentation de HUBERT pour la station de Zenata (1922-23 / 2012-13) Tableau 3. 8 - Comparaison des moyennes mensuelles des températures (°C) à Zenata et Maghnia de trois périodes différentes 1913-1938, 1931-1960 et 1976-2013. Tableau 3. 9 - Moyennes mensuelles des températures (1976-2013) Tableau 3. 10 - Ecart-médian des températures moyennes mensuelles et annuelles (1976-2013) Tableau 4. 1 - Seuils en millimètres des années sèches, très sèches, humides et très humides ; par la méthode des quintiles. Tableau 4. 2 - Seuils en mm des années et des saisons sèches (1922-23 /2012-13)	15 15 17 17 17 17 18 19 47 47 48 56 57 61 62 62 68 69 73 75 80 84 84
--	--

Tableau 4. 3 - Processus de Markov d'ordre 1 – Annuelle	88
Tableau 4. 4 - Processus de Markov d'ordre 1 – Automne	89
Tableau 4. 5 - Processus de Markov d'ordre 1 – Hiver	90
Tableau 4. 6 - Processus de Markov d'ordre 1 – Printemps	91
Tableau 4. 7 - Processus de Markov d'ordre 2 – Annuelle	93
Tableau 4. 8 - Processus de Markov d'ordre 1 – Automne	95
Tableau 4. 9 - Processus de Markov d'ordre 1 – Hiver	96
Tableau 4. 10 - Processus de Markov d'ordre 1 – Printemps	98
Tableau 5. 1 - Eléments pour le calcul de l'évapotranspiration (BLANEY-CRIDDLE).	105
Tableau 5. 2 - Valeurs journalières de l'ETP selon la formule de BLANEY et CRIDDLE	105
Tableau 5. 3 - Calcul de l'évapotranspiration réelle (2012-2013).	109
Tableau 5. 4 - Données spécifiques à la station de Zenata (comparaison des ETP)	111
Tableau 5. 5 - Données spécifiques à la station de Maghnia (comparaison des ETP)	111
Tableau 5. 6 - Valeurs de THORNTHWAITE par applications des résultats de SEGUIN (1975) relatives aux stations de Zenata et de Maghnia	113
Tableau 5. 7 - Pluies moyennes mensuelles à Zenata (2012-13)	118
Tableau 5. 8 - Quantité pluviométrique mensuelle et indice de PEGUY	119
Tableau 5. 9 - Altitude et pluviométrie à Zenata et Maghnia	121
Tableau 5. 10 - Etapes de calcul d'une pluie probable en fonction de l'altitude	122
Tableau 5. 11 - Altitude et températures à Zenata et Maghnia	123
Tableau 5. 12 - Pluies et températures mensuelles à Zenata et Maghnia (2012-2013)	126
Tableau 5. 13 - Moyenne pluviométrique mensuelle fictive (mm) des deux stations	127
Tableau 5. 14 - Coefficients pluviométriques relatifs des deux stations	128
Tableau 5. 15 - Somme des CPR pour les deux stations	128
Tableau 5. 16 - Données thermiques relatives aux stations de Zenata et de Maghnia	129
Tableau 5. 17 - Données pluviométrique spécifique à la station de Zenata	131
Tableau 5. 18 - Valeur mensuelle de R pour la station de Zenata	131
Tableau 5. 19 - Quotients pluvio-thermiques de STEWART ( $Q_3$ ) et étages bioclimatiques des stations météorologiques de la zone d'étude	140
Tableau 5. 20 - Pluies et évapotranspiration à Zenata	143
Tableau 5. 21 - Pluies et températures à Zenata et Maghnia	144

## FIGURES

Figure 1. 1	- Carte du découpage territorial par commune et par unités d'analyse avec délimitation de la région d'étude (ANAT, 2010).	4
Figure 1. 2	- Carte de délimitation biogéographique de la région d'étude.	6
Figure 1. 3	- Carte du réseau hydrographique de la Tafna (BOUANANI, 2004).	9
Figure 1. 4	- Carte de la S.A.U dans la superficie totale de la commune (ANAT, 2010).	16
Figure 1. 5	- Carte d'occupation du sol de la wilaya de Tlemcen (ANAT, 2010).	20
Figure 2. 1	- Carte de la répartition des principaux climats de KÖPPEN (HUFTY, 2001).	31
Figure 2. 2	- Carte des dépressions et vents régionaux en méditerranée (BETHEMONT, 2001)	33
Figure 2. 3	- Schémas explicatifs du phénomène d'El Niño (Source : NOAA, 2002)	36
Figure 2. 4	- Effets de l'anomalie positive et négative de l'ONA sur les systèmes météorologiques (Source : VISBECK <i>et al.</i> , 2001)	38
Figure 2. 5	- Pays de la région méditerranéenne, limite bioclimatique et du bassin versant méditerranéen. (FAO, 2013).	44
Figure 2. 6	- Climagramme d'EMBERGER indiquant les grands types de structure de végétation méditerranéenne, en fonction des bioclimats et des étages de végétation d'après QUEZEL & MEDAIL (2003a).	46
Figure 3. 1	- Variabilité climatique (HUFTY, 2001)	62
Figure 3. 2	- Test de PETTITT pour la station de Zenata (1922-23 / 2012-13)	64
Figure 3. 3	- Ellipse de BOIS à 99, 95 et 90 % pour la station de Maghnia (1976-77 / 2012-13)	66
Figure 3. 4	- Variabilité des précipitations annuelles et droite linéaire de tendance pour la station de Zenata (1922-23 / 2012-13).	70
Figure 3. 5	- Variabilité des précipitations annuelles et droite linéaire de tendance pour la station de Maghnia (1976-77 / 2012-13).	70
Figure 3. 6	- Moyenne mensuelle des températures maximales (1976-2013)	76
Figure 3. 7	- Valeurs mensuelles de la température des maxima absolus (1976-2013)	76
Figure 3. 8	- Moyenne mensuelle des températures minimales (1976-2013)	77
Figure 3. 9	- Valeurs mensuelles de la température des minima absolus (1976-2013)	77
Figure 3. 10	- Températures moyennes mensuelles (1976-2013)	78
Figure 3. 11	- Variations mensuelles de l'écart-médian pour la station de Zenata	80
Figure 3. 12	- Variations mensuelles de l'écart-médian pour la station de Maghnia	81
Figure 5. 1	- Figure de comparaison entre trois formules de l'ETP pour la station de Zenata (1976-1977 /2012-2013)	112
Figure 5. 2	- Figure de comparaison entre trois formules de l'ETP pour la station de Maghnia (1976-1977 /2012-2013)	112
Figure 5. 3	- Courbes d'accroissement de la pluie avec l'altitude (ANSER, 2012)	122
Figure 5. 4	- Diagramme ombrothermique de GAUSSEN pour la station de Zenata (1976-2012)	133

Figure 5. 5 - Diagramme ombrothermique de GAUSSEN pour la station de Maghnia (1976-2012)	133
Figure 5. 6 - Carte des climats de DE MARTONNE (1934) (LEBOURGEOIS, 2010)	136
Figure 5. 7 - Caractérisation de deux périodes au niveau de la station de Zenata	137
Figure 5. 8 - Position des stations au niveau du climagramme d'EMBERGER	141

**TABLE DES ANNEXES**

ANNEXE A. Les superficies et les productions agricoles au niveau de la région d'étude pour la campagne agricole 2012-2013	I
ANNEXE B. Les données météorologiques pour les stations de Zenata et de Maghnia	XIV
ANNEXE C. Tables pour le calcul des différents indices climatologiques et de l'ETP	XXIII

---

## INTRODUCTION

---

## INTRODUCTION

La production agricole est étroitement liée à la succession des circonstances atmosphériques. Les fluctuations interannuelles remarquables que l'on constate dans la chronologie des rendements sont dues en quasi-totalité, aux irrégularités des évènements atmosphériques : rayonnement solaire, pluies, températures, etc...ceux-ci interviennent soit directement sur la croissance et le développement des végétaux cultivées ou des animaux d'élevage par leur action sur le métabolisme des tissus vivants, soit indirectement en agissant sur la nocivité ou la dissémination des prédateurs et maladies, ainsi que sur l'état du sol (DE PERCEVEAUX & HUBER, 2007).

L'évolution générale du climat lors du XXème siècle, au moins dans sa deuxième moitié, montre un changement avec des tendances au réchauffement (GIEC, 2007). La région méditerranéenne qui est caractérisée par une forte variabilité interannuelle du régime pluviométrique due à une position géo climatique vulnérable, a généré de nombreuses recherches sur la caractérisation du climat et sur la disponibilité en eau dans cette partie du globe (BADRI *et al.*, 1994 ; MEDDI & MEDDI, 2009a).

L'Algérie qui fait partie des pays de la rive sud méditerranéenne, n'a pas échappé au changement climatique global. La wilaya de Tlemcen est un exemple où l'impact de cette variabilité climatique pèse lourdement sur les activités agricoles: le bassin agricole de Zenata et la plaine de Maghnia, qui représentent 60 % du potentiel agricole de la wilaya, ces étendues constituent de véritables espaces de cultures à grands rendements et qui sont aujourd'hui vulnérable au problème de répétition des cycles de sécheresse qui touchent notre région depuis la fin des années 1970. De ce fait, l'eau reste le facteur limitant de premier ordre pour la production agricole de la région. Ainsi, on observe une forte irrégularité des rendements céréaliers due aux conditions naturelles et aux aléas climatiques.

Pour pouvoir aborder l'ensemble des aspects relatifs à ce thème la démarche adoptée pour mener à bien cette étude est la suivante :

La première partie présente la zone d'étude à travers ses composantes notamment l'étude du milieu naturel et les dynamiques des phénomènes physiques et biologiques (les conditions biogéographiques : localisation, relief, structure géologique, sols, érosion, eau, climat, végétation, etc.). Ainsi que l'analyse des activités et des pratiques culturelles existantes, (caractéristiques de l'agriculture de la région, ses potentialités et ses spéculations).

Une seconde partie a été consacrée à la présentation du climat et du bioclimat méditerranéens afin de mieux cerner les relations qui existent entre cette étendue et notre région d'étude.

La troisième partie, en se basant sur les données météorologiques des stations retenues pour cette étude (Zenata et Maghnia) disposant de séries chronologiques suffisantes pour permettre une étude de tendance du régime pluviométrique. Nous avons utilisé de nombreux tests statistiques de rupture dans la stationnarité ainsi que le test sur les tendances séquentielles pour rendre compte de l'évolution temporelle et spatiale du régime pluviométrique. Par ailleurs, l'étude du régime thermique sera menée sur deux périodes (ancienne et nouvelle) pour les deux stations afin d'aboutir à une comparaison des données sur une échelle spatiale et temporelle.

La quatrième partie est consacrée à l'étude de la persistance de la sécheresse en utilisant la méthode des chaînes de Markov.

La cinquième partie concerne l'étude des rapports climat-végétation et principalement celle de l'influence réciproque entre la végétation et son atmosphère, l'analyse de différentes formules de calcul de l'évapotranspiration et enfin l'étude de différents indices climatiques réparties sur trois groupes selon le nombre de variable qui existe au niveau de chaque indice et enfin une conclusion générale.

# **CHAPITRE I**

---

## **Présentation du milieu de la région d'étude**

---

## CHAPITRE I

### PRÉSENTATION DU MILIEU DE LA RÉGION D'ÉTUDE

#### 1. LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE LA RÉGION D'ÉTUDE

La région concernée par notre étude correspond au plateau de Zenata et à la plaine de Maghnia qui font partie de l'ensemble des plaines intérieures de la wilaya de Tlemcen, et qui constitue l'un des potentiels agricoles le plus important de la wilaya avec ses vergers et ses champs.

La haute plaine de Tlemcen s'inscrit entre Horst de Ghar Roubane du massif jurassique des Monts de Tlemcen (1 100 m), les Sebaa Chioukh (600 m) vers l'est et les monts des Traras vers le nord. Ce grand ovale d'affaissement est encerclé par les profondes vallées de la Tafna à l'Ouest et de son affluent principal, l'Isser à l'Est. Au Nord-Est, le plateau de Zenata (220-300 m), encastré entre les vallées profondes de l'oued Bou Messaoud et du chabet Bou Khallouf, est une terrasse de 24 kilomètres carrés environ, que commence à attaquer l'érosion remontante de petits ravins conséquents, comme le chabet m'ta Bou Mred et le Bou Kiou (TINTHOIN, 1948).

A partir du découpage administratif (Figure 1. 1.), les deux régions de notre étude concernent respectivement les communes de Zenata et Maghnia. La première est limitée par les communes de **Beni Ouarsous** au Nord-Ouest, **Remchi** au Nord et au Nord-Est, **Hennaya** et **Beni Mester** par l'Est et le Sud-est, **Ouled Riyah** au Sud et au Sud-ouest et **Fellaoucène** à l'Ouest. Elle occupe une superficie de 54 km<sup>2</sup> avec une population de 3 890 hab. soit une densité de 72 hab. /km<sup>2</sup> (R.G.P.H., 2008).

Alors que la seconde est limitée par les frontières algéro-marocaines à l'Ouest et au Sud-ouest et entourée par les communes de **Souani** au Nord-Ouest, **Djebala** et **Hammam Boughrara** au Nord et au Nord-Est, **Bouhlou** à l'Est, **Sidi Medjahed** au Sud-est et **Beni Boussaid** au Sud, elle s'étend sur une superficie de 294 km<sup>2</sup> et qui compte une population de 114 634 hab. soit une densité de 390 hab. /km<sup>2</sup> (R.G.P.H., 2008).

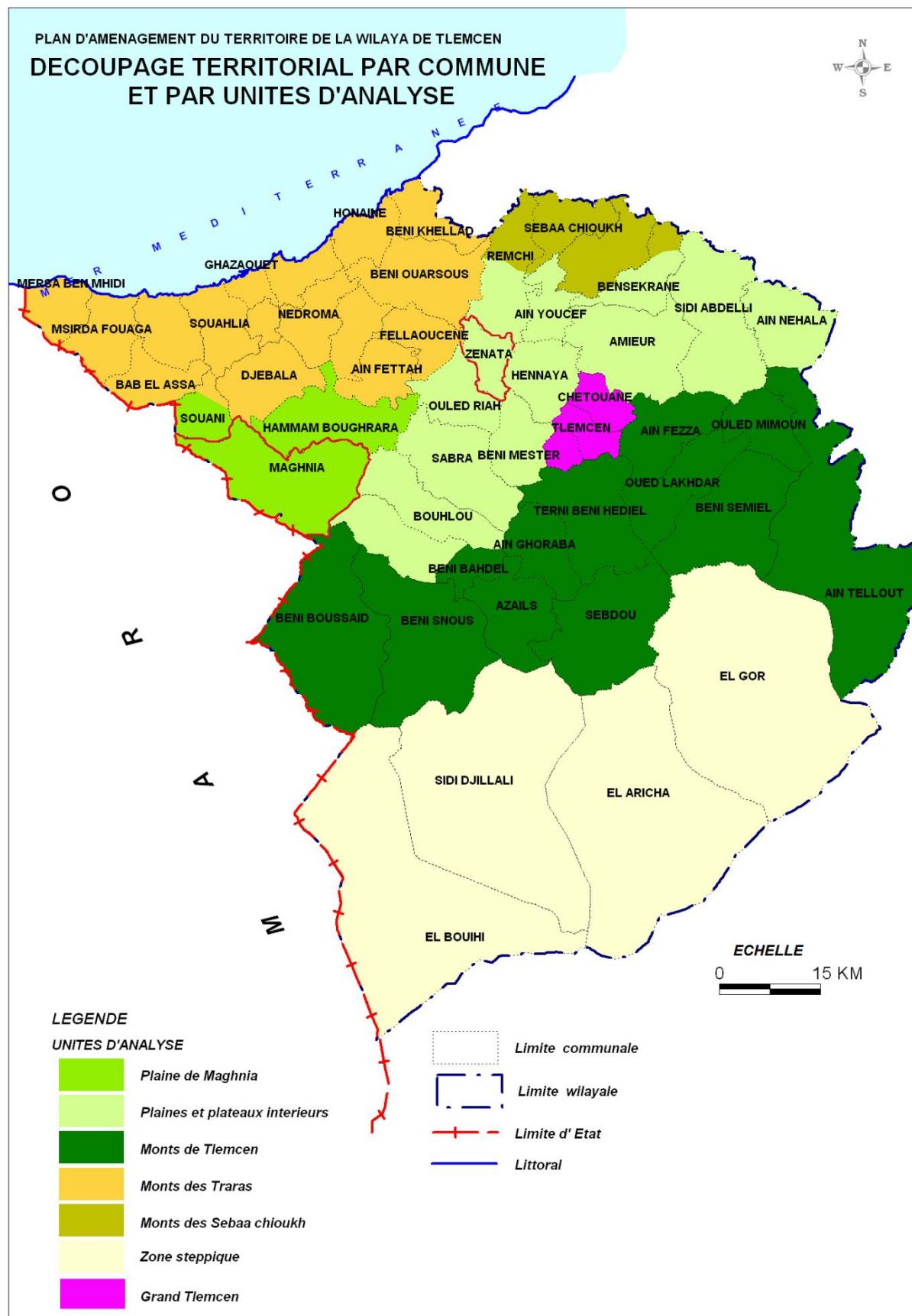


Figure 1. 1 - Carte du découpage territorial par commune et par unités d'analyse avec délimitation de la région d'étude (Source : ANAT, 2010)

## 2. DÉLIMITATION BIOGÉOGRAPHIQUE DE LA RÉGION D'ÉTUDE

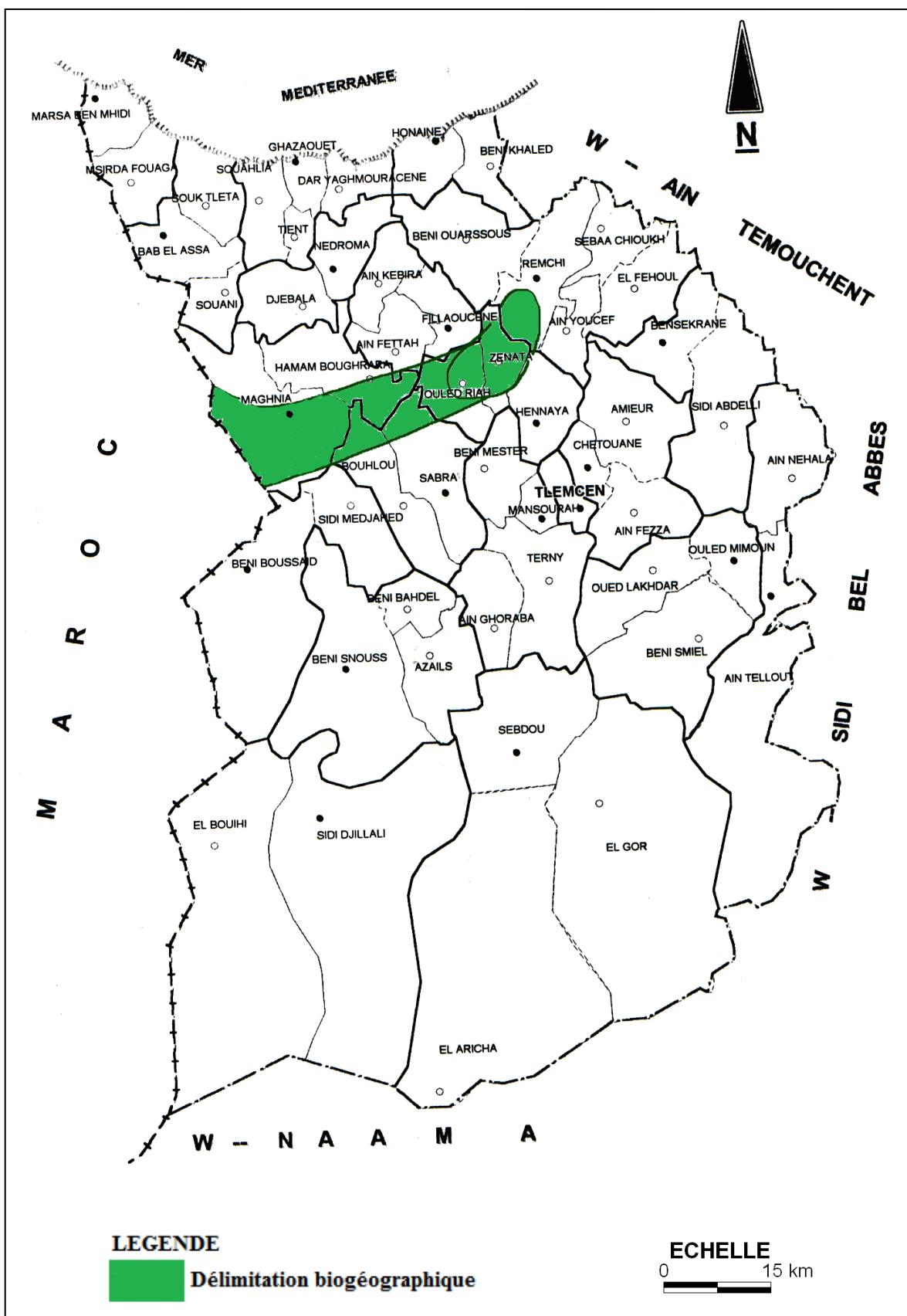
L'Algérie a été découpée par QUÉZEL & SANTA (1962-1963) en 20 secteurs phytogéographiques, dont 15 pour l'Algérie du Nord.

Selon KAZI TANI (2011), les territoires phytogéographiques relatifs à la végétation du de l'Oranie, sont inclus dans la région méditerranéenne, qui est à son tour subdivisée de la façon suivante :

- Empire **Holarctis**
- Région **Méditerranéenne**
- Sous-région **Ouest-méditerranéenne**
- Domaine **Maghrébin-méditerranéen**
- Secteur **Oranais (O)** : subdivisé en :
  1. Sous-secteur **des Sahels littoraux (O1)**
  2. Sous-secteur **des Plaines littorales (O2)**
  3. Sous-secteur **de l'Atlas Tellien (O3)**

Notre région d'étude est une partie intégrante au sein du sous-secteur des Plaines littorales (O2) qui regroupe les basses plaines littorales et Sub-littorales, ainsi que les hautes plaines intérieures, de Zenata et de Maghnia (Figure 1. 2.).

Il se rapporte essentiellement à la série du Jujubier (*Zizyphus lotus* (L.) Desf.) Et du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* L.), mais aussi en quelques taches des formations mixtes à Pin d'Alep (*Pinus halepensis* L.) et/ou Thuyas, Oléastres (*Olea europaea* L.) et Lentisques (*Pistacia lentiscus* L.) (ALCARAZ 1982, in KAZI TANI 2011).



**Figure 1. 2 - Carte de délimitation biogéographique de la région d'étude**  
 (Source : SEBAIBI, 2014)

### 3. CADRE GÉOLOGIQUE

Aux nuances topographiques et de relief, correspond une répartition des grandes formations géologiques et des formations superficielles. Bien que la pente générale (2,5 %) soit orientée vers le Nord-Ouest, la plaine de Tlemcen n'offre pas une inclinaison régulière, elle est accidentée de gradins, et coupée par deux lignes d'âge jurassiques, digitations du massif de Tlemcen.

La descente du Sud au Nord amène à une vaste dépression synclinale de marnes helvétiques et de grès tritoniens, relativement tendres, ondulée de nombreux accidents de détail et hachée de failles exagérant, par places, le prolongement des couches. Cette cuvette miocène est vraisemblablement l'origine de la haute plaine de Tlemcen, remblayé au Villafranchien et aux différentes époques du quaternaire par des torrents de piedmonts, affluents de la Tafna et de l'Isser qui confluent au Nord-Ouest pour se jeter dans la Méditerranée et jouer ici le rôle de niveaux de base locaux (TINTHOIN, 1948).

Entre les Traras très disséquées et les plateaux karstiques des Monts de Tlemcen occidentaux, la haute plaine de Maghnia se présente comme un fossé synclinal remblayé d'alluvions fluvio-lacustres miocènes, pliocènes et quaternaires, découpées par l'érosion fluviale actuelle (TINTHOIN, 1948).

Ainsi, ces bassins intérieurs et plateaux, sont caractérisés par de fortes accumulations de formations alluviales anciennes. Ils sont recouverts d'un épais manteau de dépôts alluviaux marins d'âge miocène, puis lacustres au Nord, d'âge plus récent. Le Pliocène est caractérisé par un relief fortement disséqué en lanières par les petits affluents de la Tafna venant heurter la chaîne côtière, avant de rejoindre l'Oued Tafna en traversant la chaîne en gorge, particulièrement illustrée par la trouée en amont de Fatmi Larbi (au carrefour de la RN 22 Honaine). Les encroûtements sont bien développés et les sols généralement profonds. Les formations alluviales récentes sont localisées le long des vallées, en particulier celle de la basse Tafna.

C'est le domaine de l'agriculture moderne par excellence, aussi bien pour les périmètres irrigués que pour la petite irrigation avec le développement des maraîchages et des agrumes. C'est aussi dans ces plaines que se sont développées les grandes cultures céréaliers, la vigne et l'arboriculture (ANAT, 2010).

#### **4. ASPECTS GÉOMORPHOLOGIQUES**

La wilaya de Tlemcen, forme une véritable mosaïque de milieux naturels qui se succèdent de manière grossièrement parallèle et inclinée du nord au sud : une bande littorale de plus de 70 km dominée par la première chaîne montagneuse des Traras, des plaines et des plateaux limités au Sud-ouest, Sud-est par les monts de Tlemcen, plus imposants et plus massifs succèdent à cette première unité. Plus au Sud et à la frontière ouest, une zone steppique à vocation pastorale annonce les hautes plaines ouest de l'Algérie.

Au Sud des Traras, une série de bassins intérieurs et de plateaux, dont fait partie notre région d'étude, donnent à la wilaya de Tlemcen l'essentiel de sa vocation agricole. La plaine de Maghnia à l'ouest occupe la vaste dépression drainée par les oueds Tafna et Isser. Avec son périmètre irrigué et la vallée de la Tafna, où l'irrigation se fait au courant de l'eau, cette plaine constitue la zone agricole la plus riche de la région Nord-ouest. Les altitudes varient entre 400 et 800 m au pied des monts de Tlemcen. Les plateaux agricoles au Nord-est et les plaines de Tlemcen au Sud constituent l'autre potentiel agricole de la wilaya avec ses vergers et jardins. Cette zone de plaines et de plateaux se caractérisent par une faible pluviométrie et un excès de chaleur estivale posant ainsi de vrais problèmes à l'agriculture (ANAT, 2010).

Elles sont garnies d'alluvions ou de colluvions issues des chaînes qui les bordent et constituent un des secteurs les plus intensément transformés et cultivés du pays. Structuralement, ces plaines agricoles correspondent à des bassins où les failles ont joué un grand rôle et suivent l'orientation de ces accidents cassants. Ce sont des fossés tectoniques.

D'autre part, les accumulations des produits détritiques ont été et demeurent partout considérables et constituent un trait géomorphologique constant : colluvions de bas de versants parmi lesquelles celles qui sont héritées de cryoclasties et solifluxions du Pléistocène, cônes de déjection ou plus larges épandages, terrasses caillouteuses et colmatages parfois gigantesques des fonds des bassins d'effondrement (KAZI TANI, 2011).

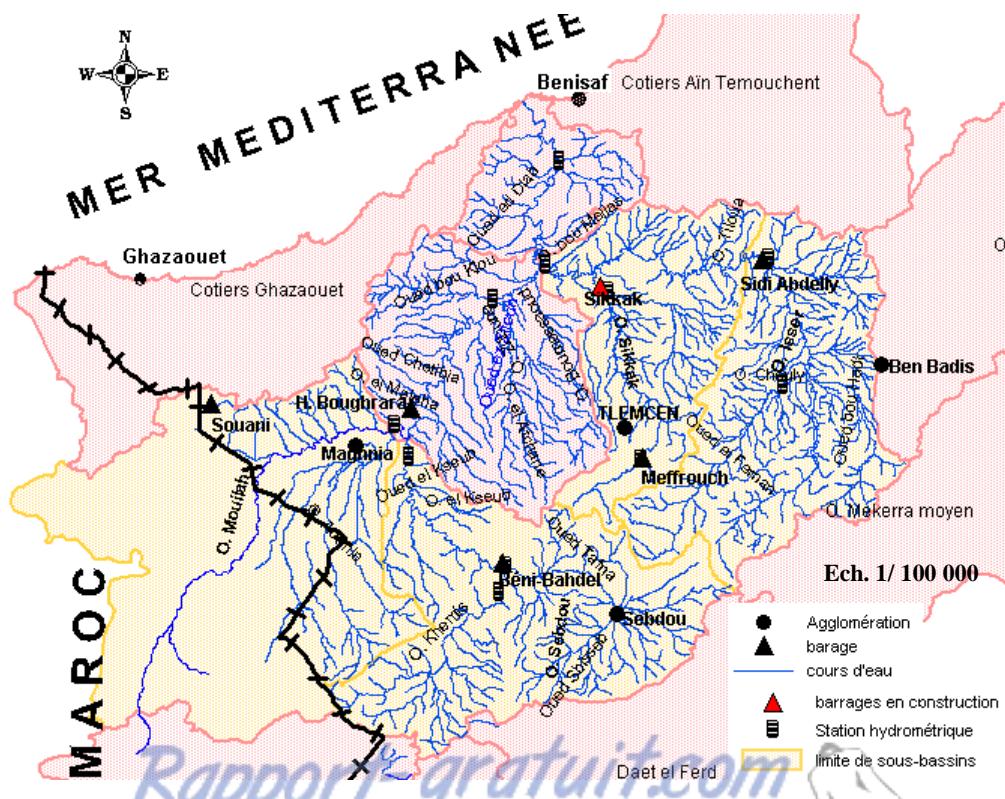
#### **5. POTENTIEL HYDRIQUE**

La disposition du relief, ainsi que l'abondance des roches imperméables ont combiné leurs effets et ont permis la naissance d'un réseau hydrographique important. Ce dernier est lié en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des ères géologiques (HASNAOUI, 2008).

Le Bassin de la Tafna, représente l'aire de drainage des principaux Oueds de la wilaya et l'un des principaux réservoirs de la région. Il rassemble 8 sous bassins sur une superficie de 7 245 km<sup>2</sup> dont 6 sous bassins sont contenus en grande partie dans la wilaya et 2 sous bassins sur le territoire marocain sur une superficie de plus de 1900 km<sup>2</sup>. L'oued Tafna s'écoule vers la mer dans l'estuaire exigu de Rachgoun après avoir collecté les oueds qui proviennent des Monts de Tlemcen à une altitude dépassant les 1500 m, ainsi que ceux des Plateaux et des Plaines intérieures. Tous ces sous bassins rassemblent et collectent les apports des oueds estimés à plus de 300 hm<sup>3</sup>/an qui alimentent les 5 barrages que contient le Bassin (ANAT, 2010). Notre région d'étude fait partie de ce qu'on appelle la moyenne Tafna (Figure 1. 3.).

Le réseau hydrographique de la commune de Zenata se compose de : Oued El Mellah, Oued Bou Messaoud et Oued Zitoun. Ce réseau hydrographique canalisé par oued Zitoun, est formé par de puissants affluents profondément encaissés, citons les plus importants : oued El Atchane, oued Bou Messaoud et oued Merhimin. A cela s'ajoute un ensemble de Chaabat : Chaabat Bouhalouf et Chaabat Merabta (BOUHASSOUN, 2013).

La plaine de Maghnia coïncide avec la zone de confluence de la Tafna et de Mouileh. Ce dernier prend naissance au Maroc (40 km au sud d'Oujda) sous le nom de Oued Issly. A l'entrée du territoire national, il prend le nom de Oued Mouileh jusqu'à sa confluence avec la Tafna (KHEMIES, 2013).



**Figure 1. 3 - Carte du réseau hydrographique de la Tafna (Source : BOUANANI, 2004)**

## 6. MILIEU ÉDAPHIQUE

Un sol est un ensemble organisé, évolutif, ou la vie est présente et dont le matériau est la terre. Il est le lieu de transferts de flux : eau, air, énergie et vie (GIRARD *et al.* 2011). Il est donc, une interface d'interactions entre la lithosphère, l'atmosphère et la biosphère.

D'après les travaux de GAOUAR (1980), FARAOUN et BENABDELI (2010), KHEMIES (2013), on constate que l'interdépendance du climat et de la géologie ont contribué à la diversité des sols au niveau de notre région d'étude.

La classification des sols adoptée à ce niveau est celle de C.P.C.S. de 1967 (classification française de la commission de pédologie et de cartographie des sols) qui a été mise à jour et présentée dans le référentiel pédologique établit par l'A.F.E.S. (Association française pour l'étude du sol) (BAIZE & GIRARD, 2008).

D'abord, des sols à faible altération chimique, peu évolués issus d'érosion ou d'apport :

### 6. 1. Sols d'érosion (Régosols)

Selon DUCHAUFOUR (2001), les régosols constituent un groupe de sols non ou très peu évolués d'érosion qui se sont formés, sous différents climats sur roche mère tendre.

Les régosols sont des solums très minces comportant, à moins de 10 cm de profondeur (éventuel horizon OL non compté), un matériau non ou très peu évolué, non différencié, n'ayant pas acquis de structure pédologique généralisée, meuble ou peu dur (c'est-à-dire cohérent, mais dont l'approfondissement avec des outils tels que bêches, pioches ou charrues est réalisable) (BAIZE & GIRARD, 2008).

Les régosols sont constitués essentiellement de matériaux apparaissant à très faible profondeur et n'ayant ni structure pédologique ni activité biologique. Il y a cependant possibilité d'approfondissement et d'ameublissemement avec des outils modernes (défonçage). Les principales contraintes à la mise en valeur sont le très faible réservoir en eau et le manque de volume pour l'enracinement et l'alimentation des arbres (BAIZE & GIRARD, 2008).

### 6. 2. Les sols d'apport alluvial (Fluvisols)

Ils sont développés dans des matériaux déposés récemment, les alluvions fluviatiles ou lacustres, mis en place par transport, puis sédimentation en milieu aqueux. Ces alluvions peuvent être relativement homogènes ou présenter une grande hétérogénéité minéralogique et granulométrique qui reflète la diversité des matériaux géologiques et pédologiques situés en amont du bassin versant (BAIZE & GIRARD, 2008).

Ce sont des sols fertiles, profonds, d'un grand intérêt agricole, offrant de grandes possibilités de cultures. Ces sols ne présentent pas de problèmes d'utilisation à l'exception de rares cas où le relief présente des micro-dépressions au niveau des oueds favorisant l'accumulation des eaux et des particules de sols très fines, notamment les limons fins. Ces derniers possèdent les mêmes caractéristiques physiques que les argiles, rendant ainsi, le drainage très lent et empêchant l'installation de toute végétation, particulièrement en saison pluvieuse. Dans cet espace pédologique c'est surtout la qualité des eaux, chargées en sels, peut être contraignante en cas d'irrigation sans drainage (FARAOUN et BENABDELI, 2010).

### **6. 3. Les sols d'apport colluvial (Colluviosols)**

Les colluvions sont des formations superficielles particulières de versants qui résultent de l'accumulation progressive de matériaux pédologiques, d'altérites ou de roches meubles (ou cohérentes désagrégées) arrachés plus haut dans le paysage. Le colluvionnement ne peut intervenir qu'à condition que la couverture végétale ne soit pas continue (BAIZE & GIRARD, 2008).

Sols peu profonds mais fertiles, dotés d'un important taux de carbone organique. La présence de croûte ou de dalle calcaire, associées parfois à un important taux de pierre peut présenter un inconvénient pouvant limiter le choix des cultures (FARAOUN & BENABDELI, 2010).

Des sols à altération biochimique dominante, solums dont le complexe adsorbant est dominé par le calcium et/ou le magnésium.

### **6. 4. Sol brun calcaire et /ou calcique**

Ces deux types, très voisins, présentent des caractères communs ; l'horizon humifère A<sub>1</sub>, moins épais et moins riche en matière organique que l'horizon A<sub>1</sub>, des rendzines, perd progressivement les caractères des « mull carbonatés » ; le turnover s'accélère à mesure que la décarbonatation progresse ; un horizon (B), brun, relativement bien développé, apparaît, sa structure étant polyédrique (plus particulière cependant, sur les matériaux sableux). Le calcaire actif, qui est encore présent dans le sol brun calcaire, se localise à la base du profil du sol brun calcique : il prend souvent la forme d'un revêtement pelliculaire autour des cailloux (DUCHAUFOUR, 2001). Les sols bruns calcaires et les sols bruns calciques sont de très bonnes terres pour les céréales (KHEMIES, 2013).

Des sols à pédoclimat contrasté :

### **6. 5. Les sols fersiallitiques rouges ou brun rouges**

Les sols fersiallitiques caractérisent des sols qui se forment en climat tempéré chaud (climat méditerranéen). On distingue les sols fersiallitiques rouges ou sols rouges méditerranéens qui représentent le profil caractéristique du sol rouge de Karst. Ce sont des sols très argileux de couleur rouge, et totalement décarbonatés et les sols bruns fersiallitiques dans lesquels la rubéfaction est incomplète ou sur lesquels un processus de brunification s'est installé (KHEMIES, 2013).

Les sols fersiallitiques bruns et rouges, si l'intégrité du profil a été conservée, et s'ils ne sont pas caillouteux, font preuve d'une bonne fertilité. Ces sols sont de bons sols agricoles ou forestiers, à condition qu'ils soient protégés de l'érosion. L'horizon Bt peut conserver des réserves d'eau utile, et les propriétés de l'humus et du complexe absorbant sont favorables. Malheureusement, la dégradation anthropique, l'érosion ou l'appauvrissement des horizons de surface, sont des phénomènes généralisés en région méditerranéenne (KHEMIES, 2013).

### **6. 6. Sol marron à croûte calcaire**

L'horizon A<sub>1</sub> rouge sombre, épais de 50 à 60 cm, contient 2 à 3 % de matière organique stabilisée, et souvent encore une petite quantité de CaCO<sub>3</sub>. Un horizon (B), rouge, peu épais, polyédrique, surmonte parfois la croute calcaire dont l'aspect la dureté et l'épaisseur sont très variables (DUCHAUFOUR, 2001).

La mise en valeur de ces sols est rendue difficile par la présence de la croute calcaire, surtout si ces sols sont amincis par l'érosion. Il convient de briser cette croute à l'aide de sous-soleuses puissantes (DUCHAUFOUR, 2001).

D'après KHEMIES (2013), les sols de la région d'étude montrent une dominance des textures argilo-limoneuse, argilo-sablo-limoneuse et sableuse.

## **7. CADRE CLIMATIQUE**

La zone d'étude comme la région de Tlemcen, se caractérise par un climat de type méditerranéen, à deux saisons influencé par l'orographie.

Une saison humide qui s'étend d'octobre à mai avec des précipitations irrégulières et mal réparties sur le territoire de la wilaya dans l'espace et dans le temps, ce qui fait endurer l'agriculture. Avec une moyenne de pluviométrie de la wilaya qui se situe autour de 400 mm. La température moyenne pour la saison hivernale oscille généralement autour de 10°C avec une température minimale absolue pouvant aller jusqu'à - 6°C. Les hivers sont donc assez rigoureux avec vent, neige et gel. La wilaya demeure une région exposée à l'aridité, de par sa situation géographique, comme le reste de l'Oranie, cette aridité est marquée par une saison sèche qui va du mois de juin au mois de septembre. La température moyenne en cette saison oscille autour de 26°C avec un maximum pouvant atteindre 40°C. La température moyenne annuelle est de 18°C.

L'analyse des nuances climatiques dans les territoires de la wilaya fait ressortir un gradient Nord-sud. Les formes du relief et leurs orientations, la situation géographique, les différences d'altitude participent à la création de nombreux microclimats (versants Nord des Traras et monts de Tlemcen plus humides, plaines et plateaux moins humides, steppe sèche) et confèrent, à la région de Tlemcen une richesse floristique endémique tant rupicole, messicole que sylvicole et constituant une véritable maquette naturelle très diversifiée tant par sa flore que par son édaphologie (ANAT, 2010).

## 8. POTENTIEL AGRICOLE

### 8. 1. Caractéristiques

Au niveau de la wilaya de Tlemcen, les deux plaines intérieures de Zenata et de Maghnia constituent une source très remarquable en matière de production végétale et animale pour la région, qui s'étend sur une superficie de 27 022 ha de surface agricole utile (S.A.U). Ce qui représente 7,7 % de la S.A.U. de la wilaya de Tlemcen. En effet, les bonnes potentialités agricoles permettent à ces deux régions de participer à la production de la wilaya dans divers produits, notamment 7 % de production céréalière, 3 % pour les légumes secs, 34 % pour le maraîchage, 51 % dans la production de la pomme de terre, 23 % dans les fourrages, 13 % dans la production viticole, 3 % pour l'oléiculture, 35 % dans les agrumes et 4 % pour les autres cultures fruitières, 15 % dans la production d'œufs, 13 % dans la production laitière, 4 % pour la production du miel, 6 % pour la production de la laine et 2 % dans la production des peaux et de cuir (D.S.A., 2014).

Les plaines de Maghnia et de Zenata forment la richesse agricole de la wilaya grâce à leur potentiel hydrogéologique et agro-pédologique. Cependant, l'évolution de l'activité agricole dans ces plaines montre que ces espaces productifs stratégiques sont soumis aux effets négatifs des conditions climatiques de semi aridité, de la rareté de l'eau, d'érosion, de salinité et d'une pression démographique remarquable.

### **8. 2. Répartition générale des terres**

Au niveau de la Wilaya de Tlemcen, la surface agricole utile (S.A.U) relevée en 2013 est de 350 821 ha, soit moins de 40 % de la surface totale de la wilaya. En ce qui concerne le rapport S.A.U/Superficie totale de la wilaya est de 39 %. À l'échelle de la région d'étude ce même rapport est de 86 % pour la plaine de Zenata et de 77 % pour la plaine de Maghnia (Figure 1. 4). En outre, le ratio S.A.U / Habitant est évalué à 1,14 ha pour la commune de Zenata, 0,20 ha pour la commune de Maghnia et pour le total de la wilaya, il est de 0,36 ha / habitant.

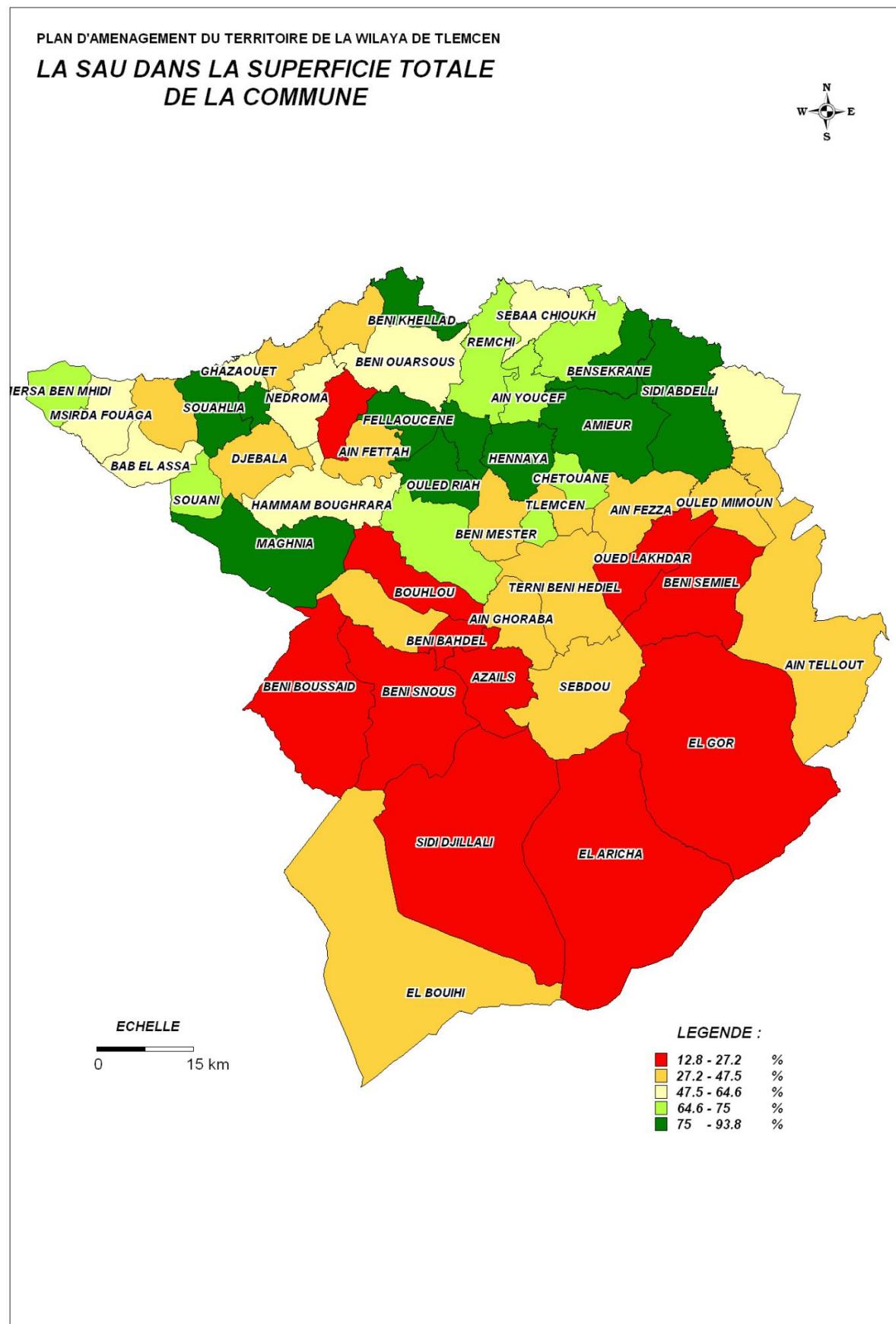
D'autre part, La surface des terres qui est actuellement irrigué est de 25 830 ha, soit un taux de 7,4 % de la S.A.U total de la wilaya. Ce rapport est de 1 % pour la plaine de Zenata et de 32 % pour la plaine de Maghnia. Ainsi la S.A.U des deux plaines représente 29 % des terres irriguées de la wilaya de Tlemcen. Par ailleurs, la S.A.U irriguée de la région d'étude est occupée par diverses productions agricoles (Tableau 1. 3). Ainsi, les statistiques montre que 28,3 % de la S.A.U en irriguée de la wilaya de Tlemcen se trouve au niveau de la plaine de Maghnia (Tableaux 1. 1 ; 1. 2 ; 1. 3 & 1. 4).

**Tableau 1. 1 - Répartition générale des terres, campagne agricole 2012/2013 (D.S.A, 2014)**

Communes	Terres utilisées par l'agriculture (Ha)			Exploitations forestières Forêts, bois, maquis, broussailles. (Ha)	Terrains improductifs non affectés à l'agriculture Y compris le domaine public et les infrastructures de transport (Ha)		Superficie total de la commune (Ha)
	Superficies des fermes pilotes (Ha)	Superficies du secteur privé (Ha)	Total (Ha)		Terrains urbains industriels et divers (Ha)		
Zenata	0	4 654	4 654	0	217	329	5 200
Maghnia	0	26 362	26 362	1 523	403	1 112	29 400
Total Wilaya	6 383	531 430	537 813	199 500	102 534	19 422	901 769

**Tableau 1. 2 - Répartition générale des terres agricoles, campagne agricole 2012/2013 (D.S.A, 2014)**

Communes	Secteur	Terres labourables		Terres des cultures permanentes		Surface Agricole utile (S.A.U) (Ha)	Pourcentage (%)	Parcours et pacage y compris les terres non défrichées et les broussailles (Ha)	Terres improductives (Ha)	Surfaces agricoles totales (Ha)
		Cultures herbacées (Ha)	Terres au repos (Ha)	Vignobles (Ha)	Plantations d'Arbres fruitiers (Ha)					
Zenata	Privé	3 535	595	130	190	4 450	1.27	204	0	4 654
Maghnia	Privé	11 986	8 612	160	1 814	22 572	6.43	2 606	1 184	26 362
Total Wilaya	Public	3 245	1 447	718	459	5 869	1.67	408	106	6 383
Total Wilaya	Privé	211 346	103 500	3 578	26 528	344 952	98.33	153 863	32 615	531 430
Total Général	-	214 591	104 947	4 296	26 987	350 821	100	154 271	32 721	537 813



**Figure 1. 4 – Carte de la S.A.U dans la superficie totale de la commune**  
 (Source : ANAT, 2010)

**Tableau 1. 3 - Les superficies des cultures irriguées (D.S.A, 2014)**

Commune	Secteur	Céréales d'hiver (Ha)	Cultures maraîchères (Ha)	Cultures fruitières (Ha)	Vignobles (Ha)	Divers (Ha)	Total (Ha)
Zenata	Privé	0	45	0	0	0	45
Maghnia	Privé	2020	2780	2 100	140	260	7 300
Total wilaya	Public	400	23	89	95	10	617
Total wilaya	Privé	2361	12174	9 278	673	727	25213
Total général	-	2761	12 197	9 367	768	737	25830

**Tableau 1. 4 - Importance de la S.A.U en irriguée et en sec pour la région d'étude (D.S.A, 2014)**

Commune	S.A.U en sec		S.A.U en irriguée		S.A.U totale (Ha)	%
	Total (Ha)	%	Total (Ha)	%		
Zenata	4 405	1.4	45	0.2	4 450	1.3
Maghnia	15 272	4.7	7300	28.3	22 572	6.4
Total Wilaya	324 991	92.6	25830	7.4	350 821	100

### 8. 3. Structure foncière et taille des exploitations

Dans la wilaya de Tlemcen, on compte 39.595 exploitations tous statuts juridiques confondus qui se répartissent comme suit (Tableau 1. 5) :

**Tableau 1. 5 – Nombre des exploitations agricoles selon leurs statuts juridiques (ANAT, 2010)**

Exploitation	Exploitations agricoles EURL	EAC	EAI	Privées + AIRA
Nombre	8	1 181	3 406	35 000

La répartition selon le régime du foncier montre la prédominance, en nombre, des exploitations de statut privé (88%), publiés en juin 2003, portant sur 35 491 exploitations dans la wilaya de Tlemcen et montrant que la part des exploitations privées individuelles constituait 87 % de l'ensemble des exploitations. Les EAC et les EAI représentent respectivement 3 % et 9 % des exploitations. Le reste correspond à d'autres catégories (APFA, concession, coopératives, etc.) Concernant la taille des exploitations, la répartition de la superficie agricole utile (SAU), révèle que la taille moyenne est de 10,12 ha et varie de 0,1 ha à 200 ha. Selon le statut juridique des terres, les exploitations privées disposent de la plus faible superficie moyenne.

- Exploitation agricole collective (EAC) : 58,32 ha
- Exploitation agricole individuelle (EAI) : 9,53 ha
- Privé : 8,16 ha

C'est dans l'ensemble des plaines, plateaux et bassins intérieurs que se localise le bon potentiel, généralement de statut public. Les exploitations privées prédominent dans les espaces marginaux de relief et de steppe (ANAT, 2010).

#### **8. 4. Pratique de l'irrigation**

L'activité hydro-agricole s'est relativement développée en dépit de la problématique de déficience de l'eau et d'une gestion aléatoire des aires irriguées. La superficie irriguée par système d'irrigation au niveau de notre région d'étude se présente comme suit (Tableau 1. 6) :

**Tableau 1. 6 - Importance du potentiel en sol irrigable par système d'irrigation en ha (D.S.A, 2014)**

Commune	Gravitaire	Aspersion	Goutte-à-goutte	Total
Zenata	29	5	11	45
Maghnia	2758	2 780	1 762	7 300
Total wilaya	10 959	8 689	6 182	25 830

La pratique de l'irrigation par gravité est dominante dans la plaine de Zenata, comme c'est le cas pour l'ensemble de la wilaya. Alors qu'au niveau de la plaine de Maghnia, le système d'irrigation par aspersion domine légèrement et ceci est dû à la forte présence de la céréaliculture et du maraîchage qui exigent l'adoption d'un tel système d'aménagement des terres irriguées. Alors que l'irrigation par aspersion reste généralement limitée pour l'arboriculture et la viticulture.

#### **8. 5. Les Spéculations agricoles**

Selon les statistiques des Services agricoles pour la campagne agricole 2012/2013, on constate une dominance remarquable des cultures herbacées qui occupent environ 79 % de la S.A.U de la plaine de Zenata, 53 % au niveau de la plaine de Maghnia et 61 % pour la S.A.U de la wilaya. Par ailleurs, les cultures pérennes ne représentent respectivement que 7 % ; 9 % et 9 % de la S.A.U de ces régions.

En ce qui concerne, la répartition des différentes spéculations agricoles au niveau de la région d'étude est comme suit (Figure 1. 5) :

**Tableau 1. 7 – Répartition de la superficie agricole par spéulation pour la campagne 2012/2013 (D.S.A, 2014)**

Spéculations		Superficies en rapport (ha)		
		Zenata	Maghnia	Total wilaya
Cultures herbacées	Céréales d'hiver	2 400	7 300	168 450
	Légumes secs	350	40	14 185
	Maraîchage	285	2 586	16 140
	Fourrages	500	2 060	15 816
Arboriculture fruitière	Agrumes	20	554	2 530
	Oliviers	68	990	8 762
	Rosacées à noyaux et à pépins	102	263	15311
	Figuiers	0	7	384
Viticulture	Vignes à vin	0	0	1 421
	Vignes à raisin de table	130	160	2 871
	Vignes à raisins secs	0	0	0
	Pieds mères et pépinières	0	0	4

La céréaliculture, représente respectivement 54 % et 32 % de la S.A.U des plaines (communes) de Zenata et de Maghnia et 48 % de la S.A.U de la wilaya. Avec un rendement moyen faible qui varie entre 16 et 20 Qx /ha, ceci est dû à différents facteurs notamment les faibles apports d'engrais, le non-respect des règles de rotation et d'assoulement des cultures ce qui épuise les terres, même les plus productives. Ainsi que la conduite de la plupart des parcelles céréalières en sec.

La jachère, reste liée à la céréaliculture pour le repos des terres au cours de l'assoulement biennal (céréale - jachère travaillée) ou parfois triennal (jachère travaillée – légumineuse – céréale). Elle occupe 13 % de la S.A.U de la plaine de Zenata, 38 % de la S.A.U de la plaine de Maghnia et 30 % de la S.A.U de la wilaya de Tlemcen.

Les Légumes secs, ces cultures n'occupent pas de grandes superficies 8 % de la S.A.U de la plaine de Zenata, moins de 1 % au niveau de la plaine de Maghnia et 4 % à l'échelle de la wilaya. Et pour cause c'est la faible mécanisation de la récolte en absence d'une main d'œuvre disponible, les grands écartements entre les lignes que l'agriculteur doit laisser pour le désherbage manuel ou mécanique, ainsi que la sensibilité de ces cultures à certains facteurs comme la salinité pour les haricots secs.

Les cultures maraîchères, représentent 6 % de la S.A.U de la plaine de Zenata, 12 % de la S.A.U de la plaine de Maghnia et 5 % de la S.A.U de la wilaya. La pomme de terre reste la première spéulation de ces cultures vu la grande demande du marché.

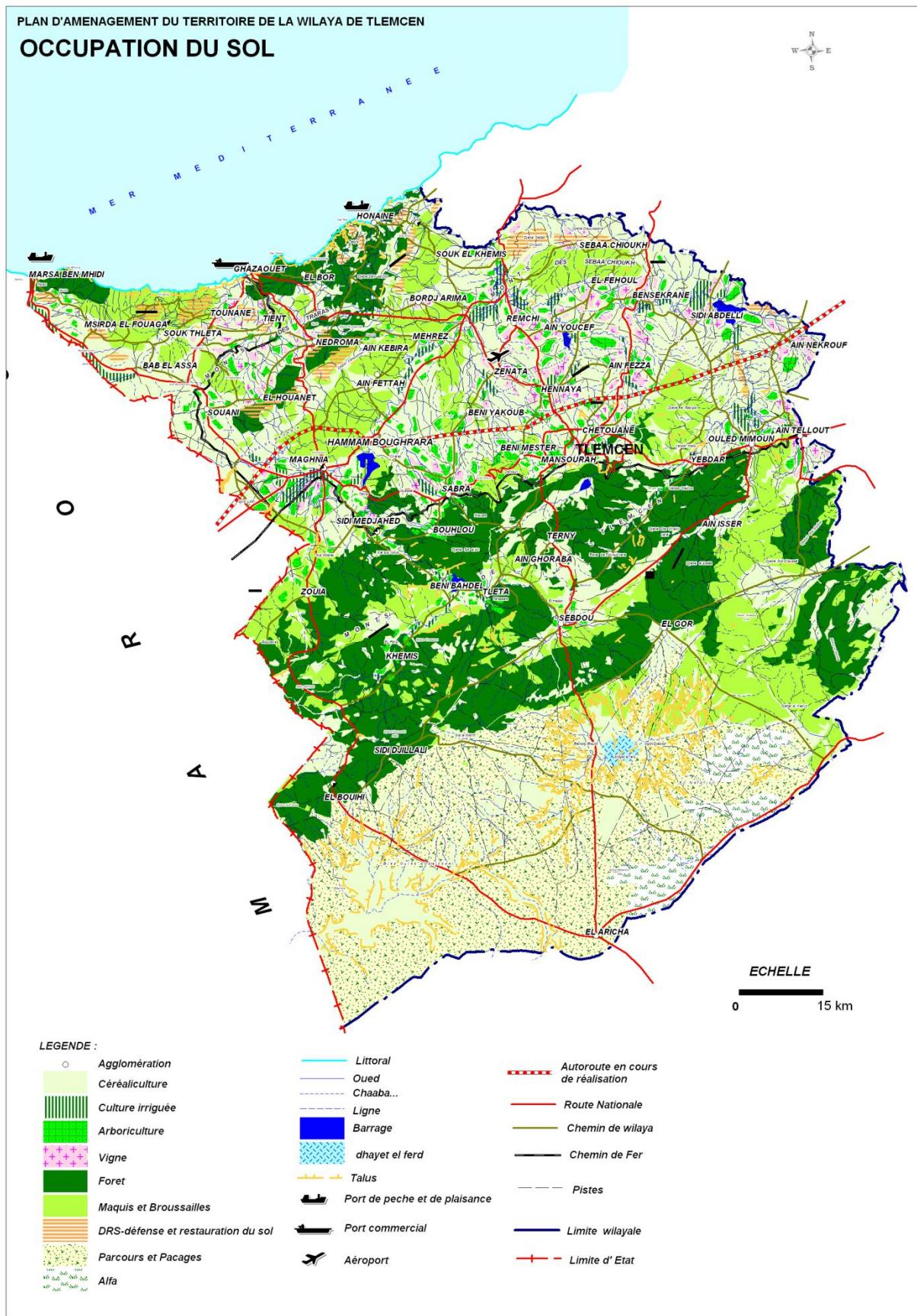


Figure 1. 5 – Carte d'occupation du sol de la wilaya de Tlemcen (Source : ANAT, 2010)

Les cultures fourragères, vu leur importance pour l'alimentation du cheptel de la région, elles occupent respectivement 11 % et 9 % des S.A.U des plaines de Zenata et de Maghnia et 5 % de la S.A.U de la wilaya.

L'Agrumiculture, représente 1 % de la S.A.U plaine de Zenata, 3 % de la S.A.U de la plaine de Maghnia et 1 % de la S.A.U de la wilaya. L'insuffisance d'eau d'irrigation reste le principal obstacle pour l'extension de cette culture.

L'Oléiculture, a connu un léger développement suite aux programmes d'appui établi par l'état pour cette filière. Elle s'étend sur 2 % de la S.A.U de la plaine de Zenata, 4 % de la S.A.U de la plaine de Maghnia et 2,5 % pour la S.A.U de la wilaya.

L'Arboriculture fruitière, que ce soit à Pépins ou à Noyaux occupe une place non négligeable au niveau de l'agriculture de la région, du moment qu'elle contribue à valoriser les terres marginales. Elle s'étend sur 2,3 % de la S.A.U de la plaine de Zenata, plus de 1 % de la S.A.U de la plaine de Maghnia et 4,5 % de la S.A.U de la wilaya.

La culture du figuier reste très minimes, elle ne représente que 7 ha pour de la plaine de Maghnia, absente au niveau de la plaine de Zenata et limitée à 384 ha seulement pour l'ensemble de la wilaya.

La viticulture, elle se limite au niveau des plaines de Zenata et de Maghnia uniquement à la production de raisin de table qui occupe respectivement 3 % et 1 % des S.A.U de ces régions alors qu'au niveau de la wilaya, elle est de 1,3 % de la S.A.U. totale. Cette filière a connu une grande régression de ses superficies, ceci peut être expliqué par le manque de main d'œuvre qui refuse de travailler aux vignobles de cuve pour des raisons de la religion, l'absence des programmes d'appui de la filière qui ont cessé d'exister depuis l'année 2003 et le manque du matériel végétal (porte-greffes et ceps) qui s'adapte à chaque à la région et son biotope.

## 8. 6. La mécanisation

Le rapport de superficies cultivées en hectares par tracteur, représente l'indice de mécanisation qui est assez élevé au niveau de la plaine de Zenata (93 ha de S.A.U pour 1 tracteur), plus faible à l'échelle de la plaine de Maghnia (55 ha de S.A.U pour 1 tracteur). Alors que pour l'ensemble de la wilaya, il est de 77 ha de S.A.U pour 1 tracteur.

Par ailleurs, la mécanisation des récoltes des céréales est de 107 ha par moissonneuse-batteuse dans la plaine de Maghnia. Alors que les céréaliculteurs de la plaine de Zenata ne disposent d'aucune moissonneuse-batteuse.

D'une manière générale, la wilaya de Tlemcen rencontre encore des insuffisances pour le matériel de récolte des céréales : 647 ha par moissonneuse-batteuse, malgré sa 3<sup>e</sup> position satisfaisante de production des céréales à l'échelle nationale pour la dernière campagne agricole (2012/2013).

## **8. 7. La production animale**

La wilaya est une zone d'élevage ovin et bovin intensif dans les espaces de plaine tel que Maghnia. L'évolution et les statistiques montrent une légère amélioration dans la production ovine, une augmentation dans la production de viande bovine et une amélioration sensible de la production laitière.

### **8. 7. 1. Gros élevage**

Le cheptel bovin de la wilaya a été estimé à 34 500 têtes dont 360 têtes à Zenata et 2 840 têtes à Maghnia. Les vaches laitières représentent 55 % du cheptel (75 % à Zenata et 53 % à Maghnia) et dont la moitié de race moderne et améliorée. Elles sont conduites en intensif. La production laitière totale de la wilaya est de 66 600 hl (dont 634 hl pour Zenata et 8 840 hl pour Maghnia). Cette forte augmentation de la production est liée à la présence de race améliorée. Mais la production moyenne par vache demeure modeste (15 l/jour) à cause d'une alimentation souvent déséquilibrée.

Le cheptel ovin estimé au niveau de la wilaya à 520 000 têtes (5 500 têtes à Zenata et 22 050 têtes à Maghnia) dont 58 % du cheptel de brebis mères (55 % à Zenata et 61 % à Maghnia). Il enregistre une nette amélioration par rapport aux années précédentes. Il est conduit généralement en semi-intensif.

L'élevage caprin compte 41 500 têtes (300 têtes à Zenata et 850 têtes à Maghnia) dont 27 000 chèvres (200 chèvres à Zenata et 380 chèvres à Maghnia). Cette espèce contribue à la production de viande rouge et de lait.

Pour l'instant le lait de chèvre est consommé en l'état alors qu'il pourra approvisionner de petites fromageries en zone de montagne pour la fabrication du fromage de chèvre dans le cadre de valorisation de produit du terroir.

D'autres produits, liés à ce gros élevage, enregistrent quelques évolutions intéressantes et servent de dérivées d'élevage (laine, peaux, cuir, etc.).

### **8. 7. 2. Petit élevage**

L'infrastructure d'élevage de poules pondeuses compte plus de 152 bâtiments pour le total de la wilaya (dont 5 à Zenata et 1 seul à Maghnia) d'une capacité de plus de 1,3 million de têtes et un effectif mis en place de 870 000 têtes. La production est évaluée à 207,5 millions d'œufs, donnant un ratio moyen très satisfaisant au niveau de la wilaya de 215 œufs /hab.

La dinde et le poulet de chair dispose d'une infrastructure d'élevage de 1 480 bâtiments au niveau de la wilaya (dont 7 à Zenata et 16 à Maghnia) d'une capacité totale de plus 4,5 millions sujets. L'effectif en 2013, s'élève à 12 375 000 poulets de chair commercialisés et 21 000 dindes au niveau de la wilaya (absence d'élevage de dindes à Zenata et Maghnia).

Les autres activités de l'agriculture sont représentées par l'apiculture. Le nombre total de ruches au niveau de la wilaya est de 25 000 unités (dont 165 à Zenata et 470 à Maghnia) produisant 200 000 Kg de miel (dont 2 500 kg à Zenata et 4 500 kg à Maghnia), soit une production moyenne de 8 Kg par ruche et un ratio insignifiant par habitant comparé aux potentialités mellifères des espaces de la région d'étude et de la wilaya.

### **8. 8. Conclusion**

Les atouts du secteur agricole sont nombreux. Ils se traduisent par un fort potentiel en sol et une diversité des terroirs. Ce secteur est animé par une main d'œuvre agricole qualifiée et une population rurale avec des traditions dans la conduite des cultures et des élevages, ainsi qu'un savoir-faire traditionnel. Le secteur agricole évolue dans un environnement de formation et de recherche qui doit être mieux impliqué dans son développement.

Toutefois, les contraintes sont également nombreuses et persistantes. Il s'agit notamment des conditions climatiques irrégulières qui perturbent l'activité agricole et rendent ce secteur peu compétitif. La forte dépendance du rendement agricole aux conditions climatiques très souvent capricieuses renforce les aléas des rendements. Les techniques et l'ingénierie agricole devrait atténuer les oscillations des rendements d'une année à l'autre. La prévision du climat devrait faire partie d'un dispositif pour atteindre cet objectif. Alors que la concurrence sur la ressource en eau avec le milieu urbain diminue fortement ses capacités de développement. Ainsi que les problèmes d'érosion et de salinité.

En dépit de ces contraintes, notre région d'étude se compte parmi les espaces considérés comme des « pôles agricoles » de wilaya, leur mise en valeur dépendra d'une maîtrise plus large de la situation climatique et des facteurs influents sur la production et la productivité des filières agricoles de la région.

## 9. VÉGÉTATION

D'après MAIRE (1952-1987), la végétation de notre région d'étude fait partie de la flore Nord-Africaine qui montre généralement les caractéristiques de ses conditions xérotheriques typiques au domaine méditerranéen.

Sur le pourtour du bassin méditerranéen, à l'exception de diverses portions de la zone côtière où subsistent des témoins d'une formation plus thermophile à Caroubier (*Ceratonia siliqua*) et Olivier sauvage (*Olea oleaster*), la végétation forestière du climax climatique méso-méditerranéen (jusqu'aux environs de 500 m d'altitude) correspond à la chênaie verte, à base de *Quercus ilex* (auquel se mélange ou se substitue parfois le chêne liège *Q. suber* sur substrat siliceux) en rapport avec des sols plus ou moins marqués par la fertiaillisation. Sous couvert de chêne vert, se mélangent de nombreux taxons sempervirents, tant dans la strate arbustive, où figurent Laurier tin (*Viburnum tinus*), Térébinthe (*Pistacia terebinthus*) et Filarias (g. *Phillyrea*), que sous-arbustive (par exemple Fragon, *Ruscus aculeatus*) et même herbacée (par exemple Garance, *Rubia peregrina*). Il en est de même pour les nombreuses lianes ou espèces volubiles qui marquent ce sous-bois : Chèvre feuilles (*Lonicera implexa* et *L. etrusca*), Salsepareille (*Smilax aspera*), Clématite (*Clematis flammula*), Asperge sauvage (*Asparagus acutifolius*), etc. En revanche dans ce contexte relativement xérique, les Cryptogames ne sont guère représentés à l'exception de rares Fougères (*Asplenium adiantum-nigrum*) (LACOSTE & SALANON, 1999).

Mais ces forêts sclérophylles des *Quercetea ilicis*, très morcelées aujourd'hui, sont rarement restées dans leur état originel et sont en général éclaircies ou réduites au stade du taillis. Cela y favorise la participation des résineux, tels le Pin maritime (*Pinus pinaster*) ou le Pin d'Alep (*P. halepensis*). Le plus souvent, sous l'effet d'une forte pression anthropique et zoogène (coupes, incendies répétés, surpâturage), la formation arborée a cédé place à des fructicées de dégradation, auxquelles se rapporte, en Méditerranée occidentale, le terme général d'origine hispanique de matorrals (remplacé par celui de phryganes dans la partie orientale, en Grèce particulièrement). Il s'agit, d'une part, des maquis, sur substrat cristallin (par exemple en Corse), à Bruyère arborescente (*Erica arborea*), Arbousier (*Arbutus unedo*),

et Lentisque (*Pistacia lentiscus*) principalement, d'autre part, des Garrigues, formation plus basses et ouvertes sur substrat calcaire ou marneux, riches en nano-phanérophytes – dont des Labiées aromatiques (*Rosmarinus officinalis*, *R. tourfortii*, *Lavandula latifolia*) – et Chaméphytes, auxquels s'associe fréquemment le Chêne kermès (*Quercus coccifera*) (LACOSTE & SALANON, 1999).

En ce qui concerne notre région d'étude, la commune de Zenata dispose d'une formation forestière de 50 ha de Pin d'Alep qui se trouve dans la direction Nord-Est, sur la Route Nationale N° 98, son reboisement date de l'année 1999. Alors que les exploitations forestières de la commune de Maghnia s'étendent sur une superficie de 1 523 ha entre forêts, bois, maquis et broussailles.

A ce niveau, et en contrebas du bassin de la Tafna, la plaine de Maghnia et de la moyenne Tafna est un fossé d'effondrement à remplissage sédimentaire qui reçoit les influences hydro climatiques de trois domaines différents : les Traras, les monts de Tlemcen et le Maroc nord-oriental (AIMÉ & REMAOUN, 1988). A ce niveau, jusqu'à 400 m d'altitude, la série du Thuya (*Callitris articulata*) est encadrée par un faciès supérieur (limite Subhumide - semi-aride) avec le chêne kermès (*Quercus coccifera*), et un faciès thermophile (semi-aride supérieur selon ALCARAZ, 1982) avec *Rhus pentaphylla*. Au-dessous, la série du jujubier (*Ziziphus lotus*) occupe le semi-aride moyen avec un faciès supérieur à *Olea sylvestris* et *Withania frutescens* et un faciès inférieur à *Pistacia atlantica*, plus aride et continental, qui se rencontre sous le flanc sud-est des Traras (AIMÉ & REMAOUN, 1988).

Ce qui nous intéresse dans ce contexte ce sont bien les groupements végétaux, que GOUNOT (1958), reprenant exactement BRAUN-BLANQUET *et al.*, (1952), définit le groupement végétal en ces termes : « unité de végétation correspondant à une composition floristique et à des conditions écologiques définies » (DAGET & GODRON, 1982).

Sans aller jusqu'à une classification très élaborée, qui reste du domaine d'un spécialiste en la matière, on peut relever quatre groupements végétaux au même niveau de notre périmètre d'étude, soit les suivants :

**Groupement du *Pinetum halepensis*** : Selon BENABDELI (1996), le Pin d'Alep prend de larges étendus grâce à sa rusticité et sa plasticité, c'est une espèce colonisatrice, typique de l'étage semi-aride. Il présente l'inconvénient d'être très vulnérable aux incendies. Cette association présente la composition floristique moyenne suivante (BENABDELI, 1996) :

<i>Quercus rotundifolia</i>	<i>Rosmarinus tournefortii</i>
<i>Pistacia lentiscus</i>	<i>Stipa tenassicima</i>
<i>Pistacia terebinthus</i>	<i>Genista tricuspidata</i>
<i>Phillyrea angustifolia</i>	<i>Genista quadriflora</i>
<i>Phillyrea media</i>	<i>Ampelodesma mauritanicum</i>
<i>Juniperus oxycedrus</i>	<i>Cistus villosus</i>
<i>Quercus coccifera</i>	<i>Chamaerops humilis</i>

**Groupement du *Callitricetum* :** D'après BENABDELI (1996), c'est une association xérophile et thermophile qui se végète dans les mêmes conditions du biotope du *Pinetum halepensis*, avec la différence de présenter une certaine sensibilité au froid et à l'humidité. Les principales espèces ligneuses constituant cette association sont (BENABDELI, 1996) :

<i>Tetraclinis articulata</i>	<i>Rhamnus alaternus</i>
<i>Pistacia lentiscus</i>	<i>Rosmarinus tournefortii</i>
<i>Quercus coccifera</i>	<i>Ceratonia siliqua</i>
<i>Phillyrea media</i>	<i>Cistus ladaniferus</i>
<i>Arbutus unedo</i>	<i>Cistus villosus</i>
<i>Calycotum intermedia</i>	<i>Erica multiflora</i>
<i>Genista quadriflora</i>	

**Groupement de l'*Oleo-lenticetum* :** Association xérophile et thermophile avec plusieurs faciès, généralement très dégradée, elle présente l'expression typique de la végétation de la région sur terrain argileux dans l'étage semi-aride. Elle renferme les espèces suivantes (BENABDELI, 1996) :

<i>Olea europaea</i>	<i>Calycotome spinosa</i>
<i>Pistacia lentiscus</i>	<i>Chamaerops humilis</i>
<i>Quercus coccifera</i>	<i>Withania frutescens</i>
<i>Phillyrea media</i>	<i>Rhamnus elicoides</i>
<i>Ziziphus lotus</i>	<i>Cistus villosus</i>

**Groupement du *Ziziphus lotus* :** Elle se cantonne sur certains terrains argileux et les alluvions profonds des plaines cultivées en zone littorale et sublittoral semi-aride à aride ou le *Ziziphus lotus*, *Pistacia atlantica* et *Lycium arabicum* apparaissent à l'état disséminé (KAZI TANI, 2011).

Quant aux strates qu'on peut observer surtout au printemps et qui se conservent assez bien grâce aux épines de l'essence principale (*Ziziphus lotus*), elles sont riches en espèces frutescentes : *Withania frutescens*, *Rhus pentaphylla*, *Lycium intricatum*, etc. ou *Ampelodesma mauritanicum* et *Chamaerops humilis* soulignent le plus souvent des stades de dégradation. En revanche, la strate herbacée est beaucoup plus dense, mais elle est continuellement recherchée par les troupeaux. On y distingue de nombreuses thérophytes (*Bromus rubens*, *B. madritensis*, *B. villosus*, *Avena* sp., *Lamarckia aurea*, *Lagurus ovatus*, *Aegilops* sp., etc.) accompagnée de quelques hélio-cryptophytes (*Mantisalcas alamantica* et *Scolymus hispanicus*, etc.). Les lianes ne sont guère représentées que par *Prasium majus*, *Asparagus stipularis*, *Bryonia dioica*, *B. acuta*. Certaines espèces rudérales parfois myrmécochores (*Chrysanthemum coronarium*, *Silybum marianum*, etc.) croissent dans ces micro-habitats (KAZI TANI, 2011).

Il faut aussi souligner le rôle de refuge des péninsules méditerranéennes. Le point chaud du Bassin méditerranéen est un centre d'endémisme et une région à forte biodiversité actuelle, vraisemblablement en lien étroit et complexe avec ses fonctions passées de refuges glaciaires et celles de refuges actuels (MÉDAIL et QUÉZEL, 1999 ; QUÉZEL et MÉDAIL, 2003b). Notre région qui n'est pas à l'abri de ce constat comporte d'après VELA & BENHOUHOU (2007), une diversité très remarquable au niveau du secteur O2 (celui des basses plaines littorales et Sub-littorales, ainsi que les hautes plaines intérieures, selon QUEZEL & SANTA (1962)) avec un endémisme de plus en plus modéré (74 taxons au total) et une diversité de 284 taxons rares. Cette richesse remarquable en espèces rares s'explique par la diversité et la rareté des habitats qui constituent ce secteur.

## 10. CONCLUSION

La corrélation étroite entre le climat et la végétation n'est pas à démontrer. Cependant il est utile de connaître l'influence réversible entre la plante et son milieu atmosphérique, qui n'est pas facile à chiffrer. La plante influence le milieu en modifiant l'effet de la radiation solaire, l'humidité, la température et même la proportion de l'oxygène contenue dans l'atmosphère. En même temps l'atmosphère influence la croissance et développement de la végétation. Succinctement, la plante n'est dans le fond que l'image du climat, rythmé par son rythme, donc elle est son reflet (HALIMI, 1980).

Par ailleurs, nous assistons aujourd'hui à une péjoration des conditions de milieu provoquée par des conditions climatiques extrêmes (aridité et irrégularité), s'exerçant sur un milieu édaphique fragile avec une végétation de plus en plus soumise à une pression anthropique lourde et continue (incendies, pâturage, défrichements et abandon de cultures). Cette péjoration se manifeste de plusieurs manières (AIMÉ & REMAOUN, 1988) :

- Sur le plan physique, par une érosion généralisée, avec perte de sol et mise à nu des marnes ou des encroûtements.
- Sur le plan biologique, chaque nouvelle dégradation permet l'extension des formations steppiques au détriment des formations arbustives ou arborescentes. De plus, les séries de végétation les plus arides envahissent de plus en plus les séries supérieures par de vastes zones de mélange au sein desquelles la variabilité climatique permet la coexistence des cortèges floristiques mis en présence.
- Sur le plan anthropique, les pâturages s'appauvrisent, les défrichements sur les pentes sont progressivement abandonnés dès que les incisions interdisent l'accès et le travail du sol. Ces zones abandonnées sont occupées, selon le bioclimat et le substrat, par la steppe à armoise (*Artemisia herba alba*), par le sparte (*Lygeum spartum*) ou par chobrok (*Noaea mucronata*).

## CHAPITRE II

---

### Climat et bioclimat méditerranéens

---

## CHAPITRE II

### CLIMAT ET BIOCLIMAT MÉDITERRANÉENS

#### 1. NOTION DE CLIMAT ET DE TEMPS

La notion de climat est assez difficile à définir et il faut faire une distinction entre météorologie et climatologie :

- Le climat est une description statistique en termes de moyenne et de variabilité des variables météorologiques, sur une longue période (souvent une trentaine d'années) (GIEC, 2007). Ces variables correspondent aux paramètres physiques de l'atmosphère. Ceux-ci sont déterminés par les échanges entre les différents éléments du système climatique (atmosphère, biosphère, géosphère, océan), le moteur énergétique principal de cette machine étant le rayonnement solaire (FOUCAULT, 2007). La climatologie est l'étude des échanges énergétiques et hydriques entre la surface de la terre et l'atmosphère (climatologie physique) combinée avec la fréquence et la succession d'évènements météorologiques (climatologie statistique et climatologie dynamique), dont l'action influence directement ou indirectement l'existence des êtres qui y sont soumis (climatologie appliquée surtout bioclimatologie) (HUFY, 2001).
- Le temps renvoie aux conditions météorologiques d'une seule journée. Les météorologues définissent le temps par l'ensemble des valeurs des éléments atmosphériques qui caractérisent à un moment et en un lieu donné l'état de l'atmosphère (HALIMI, 1980). En observant les temps journaliers pendant de longues périodes, on aboutit à la notion de climat local, qui est donc la somme des temps journaliers pendant l'année (HUFY, 2001).

En se basant sur les facteurs majeurs du climat (Précipitations et Températures) Wladimir Peter KÖPPEN (in HUFY, 2001) a procédé à la répartition des principaux climats à l'échelle mondiale (Figure 2.1)

#### - Répartition des principaux climats de KÖPPEN (Figure 2. 1.).

**Af et Am :** Intertropicaux chaux et humides toute l'année, dans les cuvettes équatoriales de l'Amazonie et du Congo, dans l'Insulinde et le long des côtes frappées par l'alizé de l'Amérique centrale, du Brésil, de l'Ouest africain, de la Birmanie à l'Indonésie, du Dekkan occidental et des Philippines. La lettre (m) indique une courte saison sèche.

**Aw** : tropicaux chauds à saison humide estivale très répandus en Amérique latine et en Afrique entre les tropiques, et débordent sur le Dekkan, la péninsule indochinoise de le nord de l'Australie.

**BS** : steppiques : ils encerclent tous les déserts du monde et assurent la transition avec les régions plus humides. Du nord marocain au Sud de l'Afghanistan, on passant par la Tunisie et la Syrie, on a des pluies d'hiver c'est-à-dire type méditerranéen, qu'on retrouve en Californie. A l'est de la Caspienne et du désert nord-américain, les pluies se décalent vers le printemps ou l'été. Le nord du Sahel, le Yémen et le nord-ouest de l'Inde ont des pluies d'été.

**BW** : désertiques chauds ou froids, à pluies très faibles. D'abord des grands ensembles aux voisinages des tropiques : du Sahara au Thar, débordant sur la côte de la Somalie, dans le centre de l'Australie, dans le Sud-ouest africain, et le long d'une diagonale sud-américaine, de la côte péruvienne au sud de l'argentine. Ensuite des déserts plus localisés dont les principaux sont le grand bassin américain, le plateau mexicain, le Turkestan, le Tarim et le Gobi.

**Cs** : climats méditerranéens a été chaud et aride alors que le reste de l'année est pluvieux et moins chaud. Ils sont situés sur les façades ouest des continents, entre les 35<sup>e</sup> et 40<sup>e</sup> parallèles, depuis les rivages de la méditerranée prolongés par les chaînes qui vont buter sur l'Himalaya jusqu'aux pointes sud-ouest de l'Australie et de l'Afrique du Sud et les bandes le long de la côte pacifique du Chili et des États-Unis.

**Cfa** : climats subtropicaux a été chaud et pluvieux, à hiver doux et humide. Ils s'occupent les coins sud-est des continents, autour du 30<sup>e</sup> parallèle : sud-est des Etats-Unis, Chine, Japon, Australie, bassin inférieur du Río de la Plata, pointe de l'Afrique australe.

**Cfb** : climats tempérés océaniques humides toute l'année : ils s'étendent sur la plus grande partie de la péninsule européenne entre les Pyrénées et la Pologne ou la mer Noire. Ils sont peu répandus dans les autres continents : on peut citer les côtes le long du Pacifique au Canada et au sud du Chili, l'Australie du sud-est et la Nouvelle-Zélande.

**Cw** : climats subtropicaux de mousson ou d'altitude entre les tropiques avec un hiver sec et des pluies d'été : ils se rencontrent surtout au nord de l'Inde à l'arrière-pays indochinois ou chinois, sur les plateaux de l'Afrique australe et orientale, au Mexique, le long des Andes et au sud du Matto Grosso brésilien.

**Dfa ou b** : climats tempérés continentaux, avec des pluies chaudes d'été et neiges d'hiver : c'est la forêt mixte canadienne entre les Prairies et les Maritimes et la forêt russe qui couvre tout le centre du pays et se prolonge en Sibérie, au nord de la steppe.

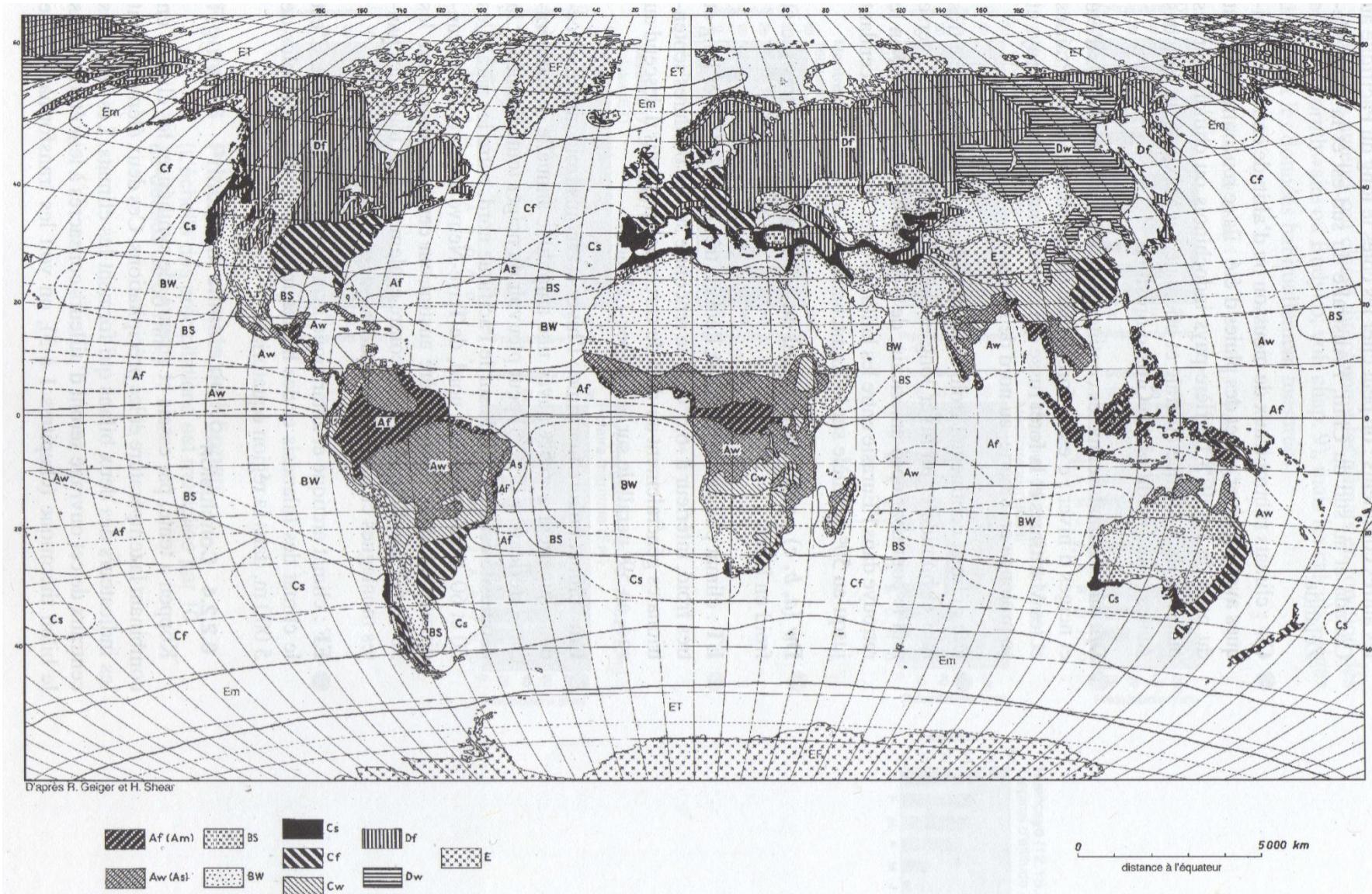


Figure 2. 1 – Carte de la répartition des principaux climats de KÖPPEN (Source : HUFTY, 2001)

**Dfc** : climat continental froid avec la forêt de conifères, un été très bref et humide et un hiver long et faiblement enneigé. Il traverse tout le continent nord-américain, de l'Alaska à Terre Neuve ; on le retrouve dans l'Eurasie entre les latitudes 60 et 70° nord, descendant jusqu'au 50<sup>e</sup> parallèle sur le Kamtchatka.

**Dw (a, b, c)** : climat continental du nord-est de l'Asie, très sec et froid en hiver. **ET** : climat polaire de Toundra ; l'été est très court et l'hiver long et très froid, inférieur à -6,5°C. Il se rencontre sur les bordures septentrionales généralement au-delà du cercle polaire, mais il descend au sud, au 59<sup>e</sup> parallèle sur le Québec-Labrador.

**Em** : climat polaire maritime : l'hiver est moins froid que le précédent, supérieur à -6,5°C, avec une amplitude annuelle de température inférieure à 17°C. Il peut pleuvoir ou neiger toute l'année et la nébulosité est très grande sur le Pacifique nord, entre les parallèles 50 et 60, sur l'Atlantique nord, de Terre-Neuve au nord de la Scandinavie, et, dans l'hémisphère austral, un cercle continu entre les 50<sup>e</sup> et 60<sup>e</sup> parallèles. On le rencontre également dans toutes les hautes montagnes chaudes du monde, au-dessus de 3 000 m.

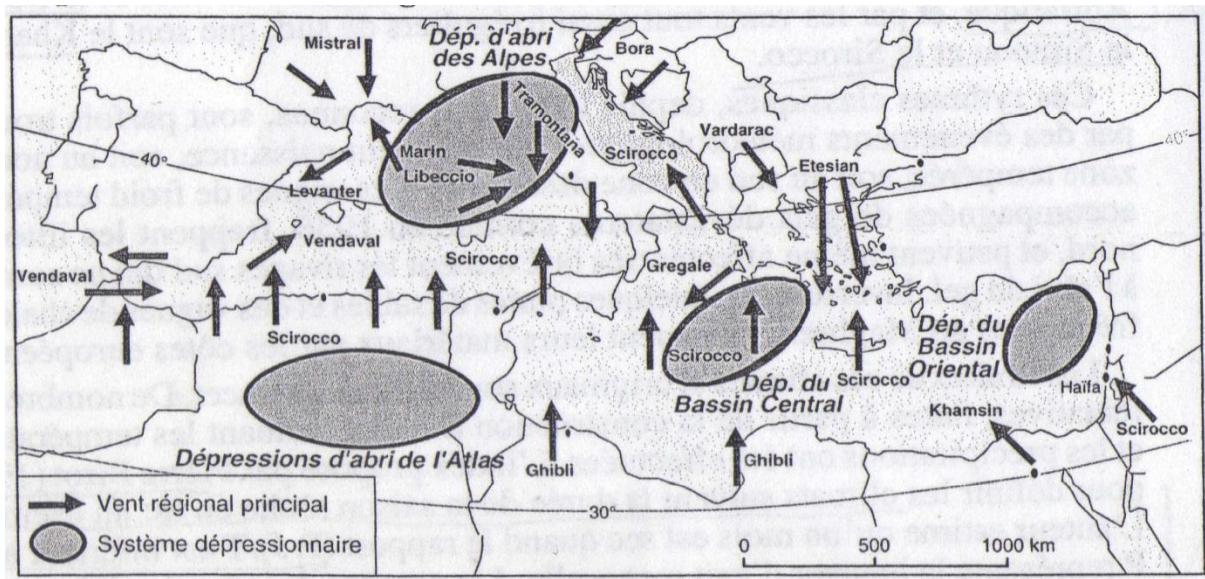
**Ef** : climat arctique et antarctique avec gel quasi permanent. C'est le climat des Inlandsis et des hautes montagnes du globe, plus de 5 000 m, dans la région équatoriale.

## 2. LE CLIMAT MÉDITERRANÉEN

Au centre de la diversité climatique mondiale décrite précédemment, BETHEMONT (2001) cite que la méditerranée est perçue à l'extérieur comme un milieu fortement unifié, doté d'un climat serein. C'est donc par le climat qu'il est proposé de définir, puis de délimiter la région méditerranéenne. Cependant, le climat méditerranéen n'est pas homogène sur toute l'étendue de l'aire qu'il recouvre; c'est un complexe dans lequel des formes climatiques variées peuvent être reconnues (DAGET, 1977).

### 2. 1. Circulation atmosphérique - Dépressions et vents régionaux en Méditerranée

Ce climat est le fruit de deux grands mécanismes synoptiques, conjugués à la présence d'une masse maritime et de chaînes montagneuses. Comme tous les autres domaines méditerranéens, l'aire méditerranéenne européenne est sous l'influence dominante d'un anticyclone dynamique subtropicale qui est actif en surface comme en altitude (Figure 2. 2). Cet anticyclone des Açores, pour la méditerranée se déplace vers les latitudes tempérées en été, et il constitue un bouclier de protection contre les perturbations des flux d'ouest qui le contournent par le nord (BETHEMONT, 2001).



**Figure 2.2 – Carte des dépressions et vents régionaux en méditerranée**  
(Source : BETHEMONT, 2001)

Plus à l'est, en Méditerranée centrale, cet anticyclone laisse souvent la place à un marais barométrique tout aussi inhibiteur pour les précipitations. Enfin, l'effet des moussons asiatiques peut se faire sentir et des pluies importantes sont alors recueillies sur les sources du Nil ou dans le sud de la péninsule Arabique. Mais les rivages méditerranéens restent à l'écart de ces flux humides (BETHEMONT, 2001).

A partir de l'automne, les cellules de hautes pressions se positionnent au sud du bassin, les temps calmes se font plus rares (CHAABANE, 2010). En hiver, l'anticyclone se retire vers le Sud. La Méditerranée semble alors moins protégée des courants perturbés tempérés d'ouest. Cependant, plus de 80 % des perturbations pluviogènes naissent en Méditerranée. Elles sont associées à des aires dépressionnaires, au nombre de quatre se situent principalement sous le vent de l'Atlas, sous le vent des Alpes dans le golfe de Gênes, au large de la Grèce et sur l'île de Chypre (BETHEMONT, 2001).

Les déplacements des perturbations associées à ces petites dépressions sont irréguliers. Elles se déplacent plutôt vers l'est, mais il n'est pas rare qu'elles glissent vers le nord, ou qu'elles retournent même vers l'ouest. Ces retours d'est donnent souvent de très fortes pluies sur les rives nord de la Méditerranée (BETHEMONT, 2001). L'air froid atteint plus rarement le littoral nord de l'Afrique, ce qui explique la diminution progressive des pluies et l'augmentation de la saison sèche du nord vers le sud (CHAABANE, 2010).

## 2. 2. Principaux traits du climat méditerranéen

Les régions méditerranéennes sont parcourues en hiver par les cyclones du front polaire et envahies en été par les hautes pressions subtropicales (DEMANGEOT, 1986). Les cyclones du front polaire apportent froid et humidité alors que les pressions subtropicales font remonter de l'air chaud et sec. Deux saisons contrastées se dessinent alors, une saison estivale chaude et sèche, puis une saison hivernale fraîche à froide et pluvieuse. L'automne et le printemps sont des saisons de transition.

Il en résulte que le climat méditerranéen, ou plutôt les climats méditerranéens, sont des climats instables du fait des effets marquants et contrastés de ces deux types de masse d'air ; la mer Méditerranée n'exerce en définitive qu'un rôle régulateur assez limité. Cette variabilité et cette instabilité se manifestent aussi bien au niveau des températures et de la pluviométrie qu'au niveau des vents (SKOURI, 1994).

## 2. 3. Températures

C'est un paramètre essentiel qui conditionne toutes les activités physiologiques et les réactions chimiques. La température de l'air dépend du rayonnement solaire, de la pression de l'atmosphère, de sa composition en gaz (LEBOURGEOIS, 2010). Elle varie considérablement en fonction de la latitude, de l'altitude et de la continentalité. Ainsi, au niveau du bassin méditerranéen, la température moyenne annuelle peut varier de 7°C à près de 30°C ; la moyenne des minima quotidiens du mois le plus froid (janvier) peut varier de -15°C à +15°C ; et la moyenne des maxima du mois le plus chaud (juillet) peut varier de 15°C à de 45°C (LE HOUÉROU, 1991). Il va sans dire que ces moyennes peuvent masquer des variations inter-journalières ou interannuelles très importantes qui peuvent occasionner des dégâts aux cultures et à la végétation en général (gel en hiver et sirocco en été) (SKOURI, 1994).

## 2. 4. Pluviométrie

Les amplitudes de la variation dans l'espace et dans le temps de la pluviométrie sont encore plus accentuées que celle des températures (SKOURI, 1994). En effet, si l'on considère le bassin méditerranéen dans son ensemble, BETHEMONT (2001), mentionne que la hauteur d'eau précipitée n'est pas un critère d'unité en Méditerranée. Elle varie entre 250 mm, sur les marges désertiques, et 2 500 mm, sur les plus hauts sommets.

Selon CHaabane (2010), ces précipitations se produisent surtout sous forme d'averses, courtes et violentes, et principalement en saison froide, sauf pour le nord-ouest du bassin où l'automne et parfois le printemps est plus arrosés que l'hiver. Ainsi, la neige est moins fréquente sur les reliefs méditerranéens d'altitude modeste.

Par ailleurs, Le nombre de jours de pluie par an est en moyenne de 50 à 100 jours, irrégulièrement répartis au cours de l'année. La sécheresse estivale peut durer plusieurs mois (SKOURI, 1994). C'est la période de l'année où l'humidité relative de l'air est la plus faible (inférieure à 70 %) et le ciel peu nuageux. L'insolation est donc importante et le ciel souvent lumineux (CHAABANE, 2010). Ainsi, le régime des pluies est non seulement agressif pour le milieu naturel, mais limite aussi presque partout, surtout en été, les possibilités de l'agriculture pluviale (SKOURI, 1994).

### **3. VARIABILITÉ DU CLIMAT MÉDITERRANÉEN**

La variabilité du climat constitue un des facteurs déterminants dans le fonctionnement des écosystèmes méditerranéens. La variabilité de la pluviosité, exprimée le plus souvent par le coefficient de variation. En règle général, plus l'étage bioclimatique est aride plus le coefficient de variation est important. Cette variabilité connaît des différences en relation avec les types de climat et les situations géographiques.

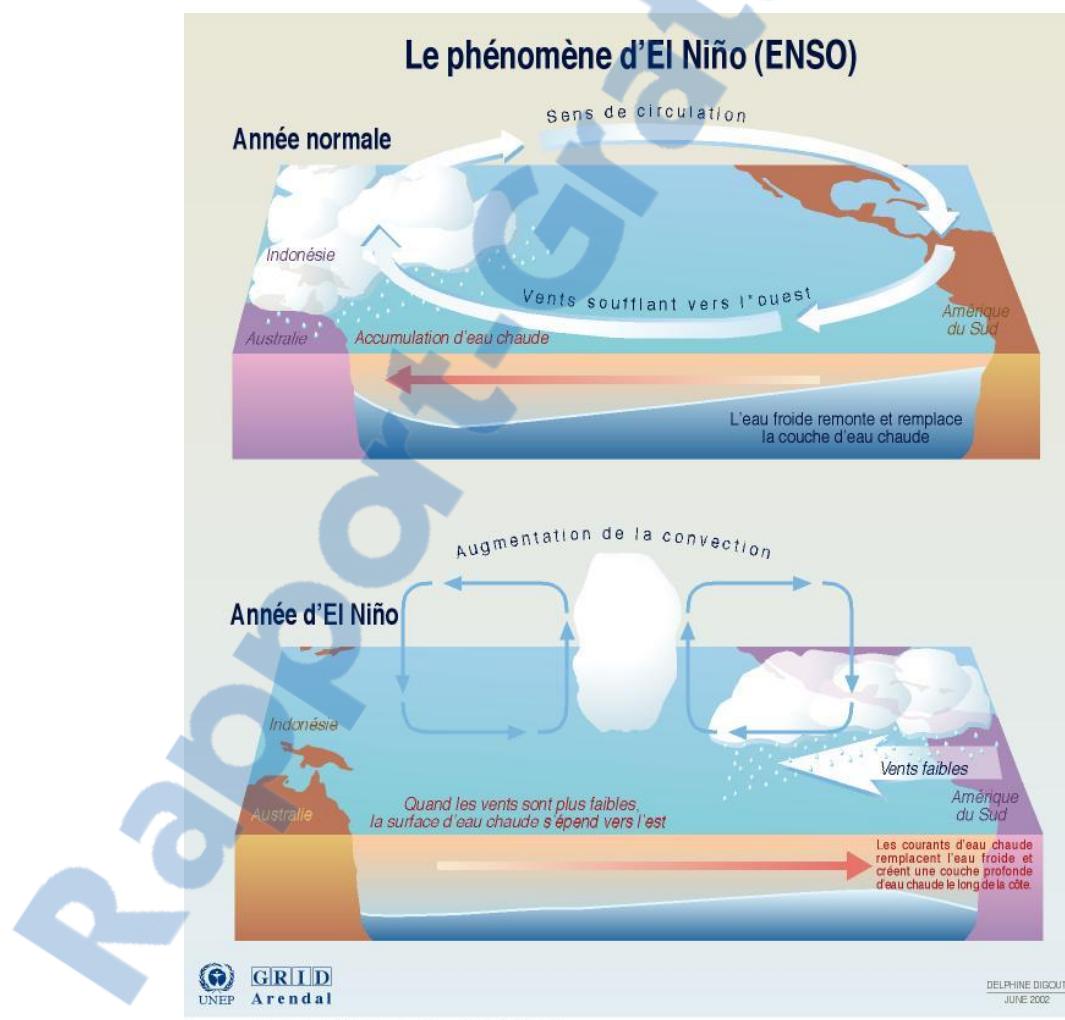
Afin de bien comprendre la variabilité climatique du pourtour méditerranéen, il est intéressant de donner un aperçu sur les hypothèses et les réflexions relatives à l'origine de cette variabilité.

#### **3. 1. Hypothèses et réflexions sur l'origine de la variabilité climatique dans le bassin méditerranéen.**

##### **3. 1. 1. ENSO**

Le sigle ENSO signifie « El Niño - Southern Oscillation ». Selon différentes études notamment celles de PLANTON (1997) ; GIEC (2007) ; OMM (2012 ; 2014). Le phénomène El Niño, représente un courant marin chaud qui se manifeste périodiquement le long de la côte de l'Équateur et du Pérou, perturbant la pêche locale. Il a depuis lors été associé à une vaste zone de réchauffement située dans la partie tropicale de l'océan Pacifique, à l'est de la ligne de changement de jour. Cet événement océanique est lié à une fluctuation du régime de pression en surface dans les zones tropicales et subtropicales, dénommée oscillation australe.

Le phénomène résultant de la combinaison de ces deux événements, qui se produit à des échelles de temps de 2 à 7 ans environ, est généralement connu sous le nom d'El Niño-oscillation australe (ENSO). Il est souvent mesuré par la différence de pression en surface entre Darwin et Tahiti et par les valeurs de la température de la mer en surface au centre et à l'est du Pacifique équatorial. Lors d'un épisode ENSO, les alizés dominants faiblissent, réduisant les remontées d'eau froide et modifiant les courants océaniques de telle sorte que la température de la mer en surface augmente, ce qui a pour effet d'affaiblir encore plus les alizés. Ce phénomène exerce une grande influence sur le vent, la température de la mer en surface et les précipitations dans la partie tropicale du Pacifique. Il a également des répercussions climatiques dans toute la région du Pacifique et dans d'autres régions du monde, par ses effets sur les télé-connexions mondiales (Figure 2. 3).



**Figure 2. 3 – Schémas explicatifs du phénomène d'El Niño (Source : NOAA, 2002)**

La phase froide du phénomène ENSO est appelée La Niña. Un événement « La Niña » est exactement l'opposé d'un événement « El Niño », et se traduit donc par des températures de surface océanique plus froides que la normale dans le Pacifique équatorial et central.

Il s'agit toutefois d'un événement moins fréquent que ne l'est « El Niño », avec un intervalle entre deux événements consécutifs compris entre 0 et 15 ans sur le dernier siècle. Les températures au-dessus du domaine méditerranéen, à l'ouest de 20°E, sont généralement plus froides que la normale entre les mois de février et de mai suivant un événement « La Niña » (PLANTON, 1997).

Les études statistiques conduites par deux chercheurs américains, HALPERT et ROPELEWSKI (1992) ont mis en évidence une relation statistique entre les événements de type « La Niña » et les températures de fin d'hiver et de début du printemps au-dessus de la Méditerranée occidentale. Ce qui permet de supposer la présence d'un lien possible entre l'ENSO et la région méditerranéenne.

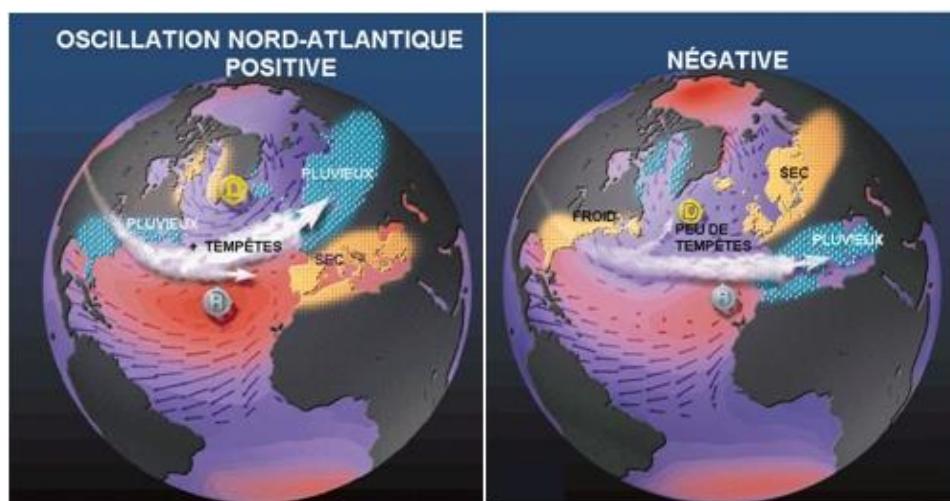
### 3. 1. 2. Mousson indienne

PLANTON (1997), cite que deux scientifiques britanniques, RODWELL et HOSKINS (1996), ont suggéré un mécanisme liant la mousson indienne et l'assèchement estival de la région méditerranéenne. La subsidence au-dessus de la Méditerranée orientale, pourraient être induite par les modifications de circulation atmosphériques pilotées par une ascendance au-dessus de l'Inde. Or une subsidence limite le développement de l'activité orageuse et pourrait donc expliquer l'assèchement que connaît le bassin méditerranéen en été.

Il s'agirait d'un mécanisme complexe faisant aussi jouer un rôle au relief (en l'occurrence celui de l'Atlas) qui contribuerait à déterminer le centre de la zone de subsidence. Ce phénomène pourrait aussi être amplifié par le mécanisme de désertification de Charney. Ce dernier qui proposait en 1976 une hypothèse explicative à la sécheresse subie par la région du Sahel. Le postulat de base est qu'une réduction de la couverture végétale entraîne une augmentation de la part du rayonnement solaire réfléchie par la surface du sol (albédo). Il s'ensuit un refroidissement de la basse atmosphère qui entraîne une subsidence, une réduction des pluies et donc ... de la végétation. Il s'agit donc d'un mécanisme à rétroaction positive qui aurait pu expliquer la désertification de la région sur une période de plusieurs années. (PLANTON, 1997).

### 3. 1. 3. Relation entre les précipitations et l'indice de l'oscillation nord-Atlantique (ONA)

En dehors des hypothèses présentées ci-dessus sur l'origine de la variabilité, il existe une relation étroite l'un des paramètres important du climat, il s'agit bien des précipitations et l'indice de l'ONA qui est défini comme étant la différence entre les anomalies de pressions normalisées à Lisbonne (Portugal) et de Reykjavik (Islande). Quand cet indice est positif, la différence de pression est maximale ; un indice négatif correspond au contraire à un anticyclone des Açores et à une dépression islandaise faible. Ces deux états de l'ONA correspondent aux deux grands types de climats hivernaux. Un indice ONA positif se manifeste par des vents forts et rapides d'ouest-sud-ouest balayant l'océan Atlantique (GUILLEMOT, 2000) ; il engendre des tempêtes et des précipitations fréquentes sur le nord de l'Europe et des sécheresses sur l'Afrique du Nord. Quand l'indice ONA est négatif, ces effets sont inversés (Figure 2. 4).



**Figure 2. 4 - Effets de l'anomalie positive et négative de l'ONA sur les systèmes météorologiques (Source : VISBECK *et al.*, 2001)**

Avec une différence de pression réduite entre le Portugal et l'Islande, les vents d'ouest sont faibles et les perturbations passent plus au sud, apportant des pluies sur les régions méditerranéennes. L'ONA étend son influence sur l'Afrique du Nord et sur d'autres régions du monde, l'Europe par exemple ; il est intéressant d'étudier la relation entre l'ONA et la pluviométrie pour faire le point sur la nature de la liaison qui peut exister sur l'ouest algérien. L'ONA est considérée comme un facteur explicatif du climat des régions méditerranéennes et de l'Europe (WANNER, 1999). L'étude menée par KETROUCI *et al.*, (2003) sur la relation entre cet indice et la pluviométrie de l'ouest algérien, a montré l'existence d'une corrélation significative (test de Student) entre l'ONA et la pluviométrie annuelle.



Cette relation significative peut expliquer en partie l'évolution du régime pluviométrique. Mais, la variabilité de la pluviométrie n'est pas expliquée uniquement par ce facteur. Elle est influencée par d'autres indices climatiques.

### 3. 2. Variabilité interannuelle et inter-décennale

Dans ce contexte, le centre national de recherches météorologiques de Toulouse a mis en évidence la variabilité interannuelle du climat méditerranéen en se basant sur les différences de températures et de précipitations entre les périodes 1951-1980 et 1981-1990, qui figurent dans le rapport de l'ECSN (European Climate Support Network) le réseau européen de support sur le climat, est un programme qui dépend d'Eumet-net, le réseau de dix-huit services météorologiques d'Europe. Il a pour but d'organiser une coopération accrue entre ses pays membres dans le domaine du climat et des activités qui lui sont liées.

Au niveau des températures, les données de l'ECSN montrent entre les deux périodes un léger réchauffement de la partie occidentale du bassin méditerranéen (plus important en été et en automne) et un léger refroidissement de la partie orientale (davantage marqué en automne et en hiver). Alors que le réchauffement pour le globe entre les mêmes périodes est de l'ordre de 1 à 2 dixièmes de degré, pour le nord de l'Espagne et le sud de la Tunisie il atteint environ 5 dixièmes de degré quant au refroidissement oriental, il est centré sur Turquie avec 3 dixièmes de degré (PLANTON & BESSEMOULIN, 2000).

Les années 1991 et 1992 marquent une rupture dans la tendance générale comme à l'échelle globale, le refroidissement relatif constaté a pu être attribué à une conséquence de l'éruption de Pénatubo (Philippines) à la dispersion des aérosols volcaniques par la circulation générale dans l'atmosphère (PLANTON & BESSEMOULIN, 2000).

Au niveau des précipitations, le rapport de l'ECSN fait apparaître (jusqu'en 1990) une réduction sur l'ensemble du bassin à l'exception de la Tunisie et de l'extrême nord de l'Algérie, maximale en hiver près du détroit de Gibraltar dans le golf de Gênes, à l'ouest de la Grèce et au sud de la Turquie (TASSIN, 2012). Mais cette tendance de la variabilité inter décennale recouvre une variabilité interannuelle importante, une fois sur deux, la variabilité d'une année à l'autre est en effet voisine de 10 % (PLANTON & BESSEMOULIN, 2000). Et localement elle peut être beaucoup plus forte. Des études relativement récentes parfois à haute définition spatio-temporelle, permettent aujourd'hui aux climatologues de mieux quantifier la variabilité interannuelle (TASSIN, 2012).

## 4. ÉVOLUTION DU CLIMAT MÉDITERRANÉEN

### 4. 1. Changement climatique et son évolution au cours du temps

Le climat change naturellement, cette variabilité correspond aux changements naturels du climat, à des échelles de temps annuelles et décennales (températures, précipitations, etc.), allant jusqu'au millénaire et au million d'années (modifications de l'orbite terrestre, activité solaire, éruptions volcaniques). Cette variabilité du climat correspond au fait que l'on peut observer des années plus ou moins chaudes ou sèches (DUBREUIL & PLANCHON, 2008). Le changement climatique désigne des changements à long terme des valeurs moyennes, accentués par les activités humaines (GIEC, 2007).

Selon BEAULIEU & ANDRIEU-PONEL (2008), si on remonte aux temps géologiques, la terre a connu des climats beaucoup plus chauds qu'aujourd'hui, mais le climat global s'est progressivement refroidi au cours du Tertiaire, depuis l'Eocène, il y a 50 millions d'années (Ma), pour des raisons qui tiennent à la dérive des continents. Le Tertiaire a été la période de la surrection des Alpes, de la fragmentation de l'ancienne Thétis et de la mise en place des contours actuels du bassin méditerranéen.

SUC et al. (1995), situent vers - 3,5 Ma l'installation en région méditerranéenne Nord-occidentale d'une première phase de sécheresse estivale, corrélée avec la première extension glaciaire arctique. Des phases plus xéiques se succèdent ensuite à partir de - 2, 6 Ma se relayent avec les glaciations Plio-Pléistocènes.

Il y a 1,77 Ma que commence l'ère quaternaire (ou Pléistocène) qui, outre l'émergence de l'Homme, est caractérisée par sa grande instabilité climatique marquée par l'alternance de périodes glaciaires extrêmement froides et d'interglaciaires au climat tempéré analogue à celui que nous connaissons actuellement. L'abaissement progressif des températures terrestres est largement lié à la tectonique des plaques : le déplacement vers le pôle Sud du continent antarctique a conduit, dès le Tertiaire, à une accumulation de glace sur ses montagnes, au refroidissement des mers périphériques et au transfert de ce froid sur l'ensemble du globe par la circulation thermo haline (BEAULIEU & ANDRIEU-PONEL, 2008). Il existe un très fort clivage entre le Pléistocène ancien (entre 1,77 Ma et 0,9 Ma) et la partie plus récente du Pléistocène. Les cycles sont gouvernés par l'obliquité terrestre et durent environ 40 000 ans.

D'après BEAULIEU & ANDRIEU-PONEL (2008), l'Holocène, qui a débuté il y a environ 11 000 ans, est précédé par une période transitionnelle de premier réchauffement, dite tardi-glaciaire, entre 15 000 et 12 000 ans avant le présent. Après l'ultime mais très sévère coup de froid du Dryas récent, le climat s'est réchauffé très brutalement il y a 11 000 ans ; peu après, et jusqu'à – 6 000 ans nous avons connu un optimum climatique dont la première partie, entre – 10 000 et – 8 000, a été favorable au climat méditerranéen. La deuxième partie a connu un climat chaud plus humide, avec des températures moyennes annuelles supérieures d'environ 1° C à celles des années soixante. Il y a environ 6000 ans, l'ensoleillement a commencé à diminuer sous nos latitudes et, au nord de la Méditerranée, ensuite, il y a eu une flexure vers un assèchement, qui s'achève vers – 3 000 avec une phase plus humide qui va durer jusqu'à l'époque romaine.

Vers les années 1 800, un petit âge glaciaire s'est instauré au cours duquel les glaciers du massif du Mont-blanc ont atteint le fond de la vallée de l'Arve au environ de Chamonix ; à l'inverse entre les années 800 et 1 200 de notre ère, est survenu un redoux à la valeur duquel les Vikings ont découvert le Groenland et Terre Neuve et y sont établis. Depuis, l'aspect de Groenland (mot qui signifie « Terre verte ») a bien changé ; quant à la colonie Vikings de Terre Neuve, elle a disparu au XIIIème siècle, lorsque le climat est devenu trop rude (BENMOUSSAT, 2004).

En guise de conclusion de cet aperçu c'est qu'en Méditerranée, des passés lointains ont connu des évolutions climatiques importantes (avec de températures pouvant être en moyenne de 8°C inférieures à aujourd'hui (il y a 20 000 ans) ou bien supérieurs de 1 à 3°C (il y a 6000 ans). Selon les périodes, les paysages, la faune et la flore, le découpage des côtes (dû à des variations du niveau de la mer de plusieurs dizaines de mètres) ont été très différents. Ces évolutions se sont étalés sur plusieurs centaines, voire milliers d'années.

Par ailleurs, on sait aujourd'hui avec certitude que depuis le néolithique, les interventions de l'Homme ont durablement perturbé le système climatique, et du coup, il est possible que les activités humaines récentes modifient le cours du processus des variations naturels du climat.

En ce qui concerne la situation actuelle et celle attendue dans les prochaines années, elle est caractérisée par la rapidité des taux de changements. Ce facteur rend plus important l'ampleur des impacts anticipés car les évolutions relativement rapides ne permettent pas une acclimatation et une adaptation progressive des écosystèmes et des sociétés.

#### 4. 2. Impacts du changement climatique

Les principaux impacts du changement climatique sur l'environnement naturel en Méditerranée, se traduisant notamment par :

- Une modification rapide du cycle de l'eau du fait de la hausse de l'évaporation et de la diminution des précipitations ;
- Une diminution de la capacité de stockage des eaux au niveau des sols (du fait de la modification de leur porosité suite au changement de température les rendant plus secs), l'accélération des phénomènes de désertification d'ores et déjà existants (sur-utilisation et appauvrissement des sols) (Plan Bleu, 2008) ;
- Les effets du changement climatique affectent également les écosystèmes de multiples façons, depuis la modification de leurs aires de répartition, l'évolution du comportement des espèces et de leurs interactions, jusqu'à la multiplication de divers facteurs de risque, notamment de feux de forêts, mais aussi de maladies et d'invasion d'espèces (FAO, 2013).

De même, divers signaux climatiques et biologiques montrent que ce réchauffement climatique est déjà bien perceptible en région méditerranéenne. L'extension de végétaux indigènes thermophiles dans la partie septentrionale et d'espèces sahariennes au sud, conjointement à celle d'exotiques doit ainsi s'expliquer en partie par l'amélioration des conditions thermiques, et par l'augmentation des taux de CO<sub>2</sub> et d'azote atmosphériques. Au niveau des populations végétales, des changements phénologiques pourront modifier les interactions insectes-plantes et de nouvelles relations de prédation surviendront.

La réponse des communautés végétales face à ces modifications environnementales ne sera pas univoque, mais il est probable que l'emprise spatiale de l'étage de végétation thermo-méditerranéenne progressera nettement, surtout au nord. Les habitats a priori les plus menacés sont les secteurs littoraux, les zones humides, et les prairies de basse altitude, tandis que les groupements rupicoles et d'éboulis, très riches en végétaux rares et/ou endémiques, ne devraient subir que des changements modérés. Les formations arborées méditerranéennes connaissent déjà une augmentation significative de leur productivité et les réorganisations de composition floristique surviendront en fonction de la réponse individuelle des essences et de leur structuration génétique (MÉDAIL et QUÉZEL, 2003).

Ces impacts se rajoutent et amplifient les pressions déjà existantes sur l'environnement naturel, leurs effets devraient donc avoir des conséquences physiques directes sur les activités humaines notamment l'agriculture, des conséquences qui peuvent être variées:

- On peut supposer d'une manière globale que l'augmentation de la température conduira à une réduction de la durée du cycle de végétation ;
- De même la modification du climat physique pourrait conduire à une diminution de la production de biomasse par modification de l'assimilation carbonée (photosynthèse, respiration, conductance stomatique) ou encore par une contrainte hydrique plus forte. Cependant, l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> en améliorant la photosynthèse pourrait conduire à une amélioration de l'efficience d'utilisation de l'eau qui contrebancerait l'effet précédent (DELÉCOLLE et al., 1996) ;
- Par contre, les effets plus indirects tels que l'augmentation des problèmes pathologiques, des ravageurs des cultures, de la compétition des mauvaises herbes en C<sub>3</sub>, du changement de la matière organique des sols, etc., ne sont pas aussi évaluables.

Mais si globalement les quantités de biomasse produite seront en moyenne modifiées, un certain nombre d'auteurs attirent l'attention sur le fait que c'est surtout la variabilité climatique qui va augmenter et donc la variabilité de la production. En d'autres termes, on devrait s'attendre à un plus grand nombre de mauvaises années. En effet, un déplacement de la moyenne peut placer les plantes dans des situations pénibles plus souvent.

Cet effet peut également s'observer et même de façon accrue pour une augmentation de la variabilité. Cette augmentation de la variabilité a des conséquences non négligeables, en particulier parce que la probabilité d'avoir de mauvaises récoltes plusieurs années de suite augmente alors fortement (DELÉCOLLE *et al.*, 1996).

En conclusion, au-delà de l'image de carte postale d'un climat doux, régulier et clément, le climat méditerranéen original par rapport aux zones voisines par ses amplitudes thermiques fortes, ses pluies concentrées en saison froide, et sa luminosité, est en fait très instable, au cours des saisons et dans l'espace. D'ailleurs par rapport aux autres climats, reconnus très tôt dans l'histoire de la terre, le climat méditerranéen n'apparaît qu'à la fin du Pliocène, et l'aire méditerranéenne fut sans cesse soumise à de nombreux changements climatiques. C'est le privilège d'une aire de transition. Variabilités spatiale et temporelle persistent au-delà de l'échelle annuelle ou séculaire (BETHEMONT, 2001).

## 5. BIOCLIMAT MÉDITERRANÉEN

D'après SKOURI (1994), les caractéristiques du climat, varient beaucoup à l'intérieur de l'espace méditerranéen qui s'étend, en gros, des Alpes au nord, au Sahara au sud et de l'Atlantique à l'ouest à la mer Caspienne à l'est. L'ensemble des territoires correspondant à la région méditerranéenne, compte tenu du Sahara et du complexe Irano-Touranien, représente approximativement une superficie de 2 300 000 km<sup>2</sup> (QUEZEL, 1979) (Figure 2. 5).



**Figure 2. 5 - Pays de la région méditerranéenne, limite bioclimatique et du bassin versant méditerranéen. (Source : Plan Bleu d'après EWING *et al.*, 2010.)**

La région méditerranéenne est caractérisée par des critères bioclimatiques d'une extraordinaire hétérogénéité :

### 5. 1. Hétérogénéités bioclimatiques et notion d'étage altitudinal de végétation

Le climat méditerranéen, comme nous l'avons dit est essentiellement caractérisé par le synchronisme de la période sèche et de la période chaude (DAGET, 1977). En partant des paramètres climatiques cité précédemment, principalement la température et la pluviométrie, ainsi que les autres facteurs localement importants (ensoleillement, humidité atmosphérique, vent), les auteurs ont abouti à définir en région méditerranéenne toute une série de types bioclimatiques auxquels correspondent très généralement un ou plusieurs types de forêts ou de structures arborées.

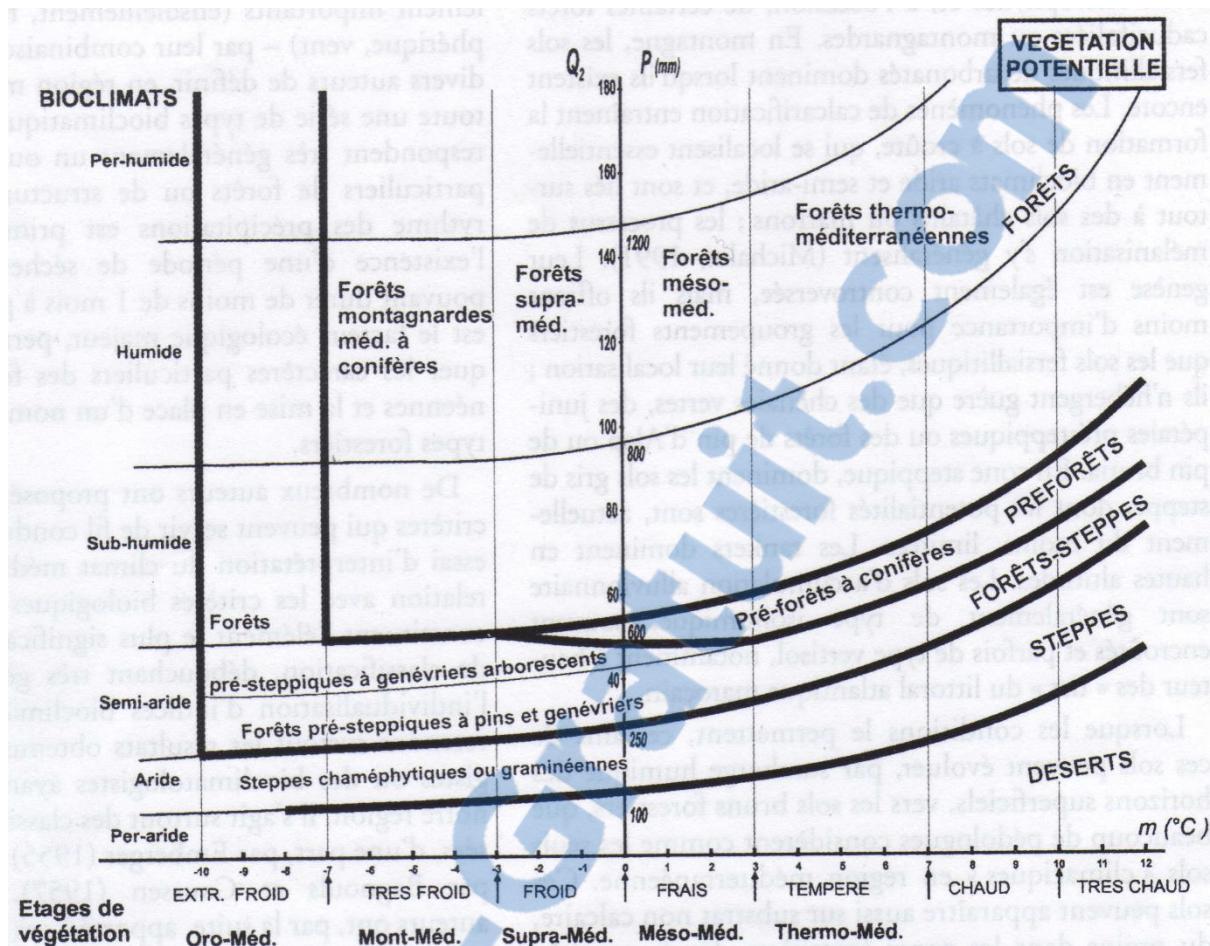
D'après QUEZEL & MEDAIL (2003a), de nombreux biologistes et bioclimatologues ayant travaillé dans la région méditerranéenne ont proposé divers types de classification, débouchant très généralement sur l'individualisation d'indices bioclimatiques. Il s'agit surtout des classifications proposées par EMBERGER (1955) et BAGNOULS & GAUSSEN (1957). D'autres auteurs ont apporté à ces travaux diverses précisions, parmi eux : WALTER & LIETH (1960), SAUVAGE (1963), LE HOUÉROU (1971), DAGET (1977), NAHAL (1977), BARBERO & QUEZEL (1982), MICHALET (1991). Tous ces travaux caractérisent les divers types bioclimatiques méditerranéens essentiellement en fonction des précipitations, des températures et de la période de sécheresse estivale.

### **5. 1. 1. Conceptions d'EMBERGER et notion d'étage altitudinal de végétation**

Les recherches d'EMBERGER au Maroc, puis en France et dans l'ensemble de la région méditerranéenne, l'ont amené à définir, du point de vue bioclimatique, divers ensembles de végétation qui peuvent être caractérisés en fonction du coefficient pluviométrique ( $Q_2$ ) qu'il a mis au point ; cet indice repose sur les critères liés aux précipitations annuelles moyennes ( $P$  en mm), à la moyenne des minima du mois le plus froid de l'année ( $m$ ) et à la moyenne des maxima du mois le plus chaud ( $M$ ), selon la formule :

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

Ces valeurs peuvent être organisées en un graphique orthonormé, le Climagramme d'EMBERGER (1933) ou l'indice ( $Q_2$ ) caractérisant le degré d'humidité globale du climat est en ordonnées et  $m$  en abscisses (Figure 2. 6.) :



**Figure 2. 6 - Climagramme d'EMBERGER indiquant les grands types de structure de végétation méditerranéenne, en fonction des bioclimats et des étages de végétation d'après QUEZEL & MEDAIL (2003a).**

**N.B.** Les bioclimats sont définis par la moyenne des précipitations annuelles (P) ou le quotient pluviométrique  $Q_2$  en ordonnées, et les étages de végétation sont définis par la moyenne des minima du mois le plus froid (m) de l'année en abscisses. Ces deux séries de variables permettent de situer de façon schématique sur le climagramme, les types bioclimatiques et les étages altitudinaux de végétation (QUEZEL & MEDAIL, 2003a).

Ces divers types de bioclimats peuvent être à leurs tours subdivisés en sous-types (supérieur, moyen et inférieur) comme ce qui a été indiqué par DAGET (1977). De même, à partir de ces valeurs peut être approximativement évaluée la durée de la période de sécheresse estivale (Tableau 2. 1.).

**Tableau 2. 1 - Relations entre le type de bioclimat, les valeurs de P (moyenne annuelle des précipitations), de Q2 (coefficient d'EMBERGER) et le nombre de mois secs (QUEZEL & MEDAIL, 2003a).**

Type de bioclimat	Précipitations annuelles ( $P$ en mm)	Coefficient d'Emberger $Q_2$ (pour $m = 0^\circ\text{C}$ )	Nombre de mois secs
Bioclimat per-aride	$P < 100 \text{ mm}$	$Q_2 < 20$	11 à 12 mois
Bioclimat aride	$100 < P < 400 \text{ mm}$	$20 < Q_2 < 30$	7 à 10 mois
Bioclimat semi-aride	$400 < P < 600 \text{ mm}$	$30 < Q_2 < 50$	5 à 7 mois
Bioclimat sub-humide	$600 < P < 800 \text{ mm}$	$50 < Q_2 < 90$	3 à 5 mois
Bioclimat humide	$800 < P < 1\,200 \text{ mm}$	$90 < Q_2 < 120$	1 à 3 mois
Bioclimat per-humide	$P > 1\,200 \text{ mm}$	$Q_2 > 120$	$\pm 0$ mois

**Tableau 2. 2 -Relations entre les variantes thermiques et l'amplitude thermique en fonction de  $m$  (moyenne des minima du mois le plus froid de l'année) (QUEZEL & MEDAIL, 2003a).**

Variante thermique	Amplitude thermique ( $m$ )
Très chaude	$M > 10^\circ\text{C}$
Chaudе	$7 < m < 10^\circ\text{C}$
Tempérée	$3 < m < 7^\circ\text{C}$
Fraîche	$0 < m < 3^\circ\text{C}$
Froide	$-3 < m < 0^\circ\text{C}$
Très froide	$-7 < m < -3^\circ\text{C}$
Extrêmement froide	$m < -7^\circ\text{C}$

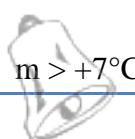
D'après QUEZEL (1974, 1985) On peut, définir les étages altitudinaux de végétation en région méditerranéenne en fonction des critères thermiques, on obtient :

- L'étage infra-méditerranéen, répondant davantage à des critères biogéographiques et écologiques que thermiques (mais où  $m$  est généralement supérieur à  $+7^\circ\text{C}$ ), localisé sur le littoral du Maroc sud-occidental (région d'Agadir), correspond à la zone de l'Arganier (*Argania spinosa*), où le gommier (*Acacia gummifera*) et les euphorbes cactoïdes déterminent un paysage très particulier d'allure sub-tropicale.
- L'étage thermo-méditerranéen, pour des valeurs de  $m$  supérieures à  $+3^\circ\text{C}$ , est très largement présent en Afrique du Nord, mais aussi en Espagne méridionale, en Grèce du Sud et au Proche-Orient. Là, domine l'olivier, le caroubier, le lentisque, mais aussi le pin d'Alep ou le pin brutia et le thuya de Berbérie ; les chênes sclérophylles, voire caducifoliés, ne sont pas totalement absents. Cet étage atteint localement 800 à 1 000 m sur le revers méridional de la méditerrané. En revanche, il reste ponctuel et peu développé sur les rivages septentrionaux ;

- L'étage méso-méditerranéen (encore appelé parfois eu-méditerranéen) présent schématiquement pour des valeurs de  $m$  comprises entre 0 et  $+3^{\circ}\text{C}$ , s'étend du littoral à 300-400 m en France, en Catalogne et en Italie continentale par exemple, mais de 400-500 m à 800-1 000 m dans le nord des pays du Maghreb. Il est surtout constitué, mais pas exclusivement, par des forêts de chênes sclérophylles ;
- L'étage supra-méditerranéen ( $m$  compris entre 0 et  $-3^{\circ}\text{C}$ ) est largement dominé par les chênes caducifoliés, du moins sur les rives septentrionales de la méditerranée, ou il s'étend entre 400-500 m et 800-900 m ; au sud, il atteint généralement 1 400-1 500 m et montre encore une prédominance des chênes sclérophylles, partout où les précipitations sont insuffisantes (bioclimats semi-aride et sub-humide, et il est parfois pour cela désigné sous le terme d'étage méditerranéen supérieur).
- L'étage montagnard-méditerranéen ( $m$  compris entre  $-3$  et  $-7^{\circ}\text{C}$ ) s'étend au-dessous du précédent et correspond à la zone de développement optimal des cèdres, des sapins méditerranéens et des diverses espèces du sapin noir. Il se situe entre 800-900 m et 1 300-1 400 m sur le revers septentrional méditerranéen et 1 400-1 500 m et 2 200-2 400 m au sud ;
- L'étage oroméditerranéen ( $m$  inférieur à  $-7^{\circ}\text{C}$ ), s'installe sur les très hautes montagnes méditerranéennes (Atlas, Taurus, Mont Liban) à partir de 2 200-2 400 m ; il est clairsemée ou dominent les genévrier arborescents. La limite supérieure des forêts, ou plutôt des formations arborées, varie bien sûr en fonction de la latitude ; elle se situe entre 2 000 et 2 300 m au nord et 2 500-2 800 m sur le Hauts Atlas.

**Tableau 2. 3 – Principales essences caractéristiques en forêts méditerranéennes, en fonction des divers étages altitudinaux et de la moyenne des minima du mois le plus froid de l'année (m), d'après QUEZEL & MEDAIL (2003a).**

Etages altitudinaux méditerranéen	Forêts méditerranéennes	Moyenne des minima du mois le plus froid (m)
Oroméditerranéen	Genévrier thurifère, genévrier.	$m < -7^{\circ}\text{C}$
Montagnard-méditerranéen	Cèdres, sapins méditerranéens, pin noir	$-7 < m < -3^{\circ}\text{C}$
Supra-méditerranéen	Chênes caducs, chênes sclérophylles, pin noir, pin sylvestre.	$-3 < m < 0^{\circ}\text{C}$
Méso-méditerranéen	Chênes sclérophylles, cyprès, pin d'Alep, pin brutia, oxycèdre (chênes caducs).	$0 < m < +3^{\circ}\text{C}$
Thermo-méditerranéen	Olivier, caroubier, lentisque, pin d'Alep, pin brutia, genévrier rouge.	$+3 < m < +7^{\circ}\text{C}$
Infra-méditerranéen	Arganier, gommier.	$m > +7^{\circ}\text{C}$



### 5. 1. 2. Classification des bioclimats méditerranéens selon GAUSSEN & BAGNOULS

Un autre essai de classification des bioclimats méditerranéens a été tenté par GAUSSEN (1953) et BAGNOULS & GAUSSEN (1957), repris en particulier par WALTER & LIEH (1960). Selon ces conceptions, les divers types de bioclimats se distinguent grâce aux diagrammes ombrothermique, qui reposent sur un indice :

Si  $P/T \leq 2$  alors le mois est sec, avec P : précipitation mensuelle moyenne exprimée en mm et T : température mensuelle moyenne exprimée en degré Celsius. L'indice est ici, la hauteur d'eau par degré de température. Si elle est inférieure à 2, on considère qu'il y a manque d'eau. Le diagramme, représente pour les douze mois les courbes des températures et des précipitations. L'ordonné doit être gradué de telle sorte que  $P = 2T$ . Cela permet de représenter le déroulement annuel des précipitations, des températures et laisser apprécier le rapport entre précipitations et températures, puisque la sécheresse apparaît quand la courbe de température passe au-dessus de la courbe des précipitations (CHARRE, 1997).

La quantification de la sécheresse climatique a encore été précisée par l'établissement d'un indice xérothermique ( $x$ ) établit en fonction des jours biologiquement secs et en tenant compte du rythme des pluies, des rosées et de l'humidité atmosphérique.

Les courbes ombrothermique ont permis à GAUSSEN (1954) de définir divers types de bioclimats qui, associés à l'indice xérothermique, en région méditerranéenne, amènent à la structuration suivante :

- Un climat xéro-thermo-méditerranéen pour  $150 < x < 200$  ;
- Un climat thermo-méditerranéen accentué pour  $125 < x < 150$  ;
- Un climat thermo-méditerranéen atténué pour  $100 < x < 125$  ;
- Un climat méso-méditerranéen accentué pour  $75 < x < 100$  ;
- Un climat méso-méditerranéen atténué pour  $40 < x < 75$  ;
- Un climat subméditerranéen pour  $0 < x < 40$  ;

Le nombre de mois secs, difficilement perceptibles dans les modèles initiés par EMBERGER, a été synthétisé sur la carte de l'aridité en région méditerranéenne. Ces données correspondent schématiquement aux critères obtenus en fonction des valeurs du coefficient ombrothermique de BAGNOULS & GAUSSEN (1957).

Les limites affichées, malgré la simplification des données, sont, en fonction de l'analyse des structures de végétation, beaucoup moins précises que les valeurs obtenues à partir des isohyètes et accentuent nettement les résultats vers l'aridification, en raison de la rigidité des données utilisées : une seule valeur mensuelle des températures moyennes et des précipitations.

### **5. 1. 3. Comparaison entre les deux conceptions**

La classification de GAUSSEN et BAGNOULS, essentiellement fondée sur le nombre de jours physiologiquement secs, est finalement moins modulée que celle obtenue avec le système d'EMBERGER ; les températures maximales et minimales mensuelles moyennes n'y sont pas utilisées en particulier, du moins sur les modèles proposés par GAUSSEN ou WALTER. Bien que, dans leurs grandes lignes, ces deux classifications donnent pour la compréhension des forêts méditerranéennes des résultats assez comparables, du moins pour une région géographique limitée, le schéma d'EMBERGER nous a paru plus près des réalités écologiques, en particulier dans les régions à précipitations printanières élevées et à hiver doux, notamment en Grèce méridionale, en Anatolie et en Afrique du Nord. De même, GAUSSEN exclut de la région méditerranéenne son étage subméditerranéen, alors que pour d'autres auteurs, certains paysages de cet étage, à sécheresse estivale bien présente, sont encore indiscutablement méditerranéens du point de vue de la végétation.

## **6. LA PLACE DE L'AGRICULTURE DANS LE POURTOUR MÉDITERRANÉEN**

La région méditerranéenne a vu naître les premières civilisations ; elle a été dès la plus haute antiquité richement peuplée de groupements humains évolués. Ceux-ci ont transformé par le pâturage et la culture les associations végétales climatiques primitives, de sorte que presque partout se sont créées des associations dégradées qui persistent; les phénomènes de dégradation par les troupeaux et les incendies continuent à sévir (CHEVALIER, 1939).

Moins favorable que la région boréale tempérée à la culture des Céréales et à l'établissement de vergers d'arbres fruitiers de la famille des Rosacées (à l'exception de l'Amandier et de l'abricotier), cette région est par excellence le pays de vocation pour la culture de l'Olivier, de la Vigne, du Figuier et du Caroubier. C'est du reste de la partie orientale du Bassin méditerranéen que sont originaires ces arbres fruitiers. Les parties les plus chaudes conviennent aussi à la culture de l'Oranger importé de l'Asie orientale, mais qui réussit bien sur la Riviera, en Algérie et en Espagne, à condition d'être irrigué.

### **- La fin du Paléolithique, l'invention de l'agriculture et son émergence au Néolithique**

C'est vers -12 000 que s'achève la dernière glaciation, l'une des plus rigoureuses. Cette date marque la fin des temps du Paléolithique, ou Age de la pierre ancienne. Le réchauffement entraîne la fonte des glaciers qui libère d'énormes quantités d'eau. Le niveau marin remonte, et les vastes espaces naguère recouverts de glace et dépourvus de couverture arborée sont reconquis par les forêts de genévriers et de pins dans une première étape, puis par les taxons végétaux thermophiles comme le chêne à feuilles caduques. Cette extension du couvert forestier a rendu la chasse plus difficile. Les grands troupeaux d'animaux sauvages régressent, Les groupes humains restés sur place sont alors confrontés à un milieu naturel qui se modifie. Cette période est dénommée par les préhistoriens le Mésolithique.

A ce niveau, les fouilles des sites archéologiques ont montré avec certitude l'appoint non négligeable de la cueillette dans le menu des Mésolithiques. En période de disette, les aliments d'origine végétale ont suppléé aux aléas de l'approvisionnement par la chasse d'un gibier plus rare et plus farouche. La cueillette des légumineuses abondantes sur les habitats du Mésolithique a conduit les hommes à entretenir les milieux naturels favorables à ces espèces, puis à réserver une sélection de graines pour ensemencer. C'est ainsi qu'est née l'agriculture, qui prendra de plus en plus d'importance dans les activités humaines.

Le changement radical du mode de vie est bien établi à partir du Ve millénaire dans le bassin occidental de la Méditerranée. C'est à cette époque qu'apparaissent les céréales, dont on a retrouvé les grains carbonisés dans les foyers des habitats du Néolithique ancien : l'orge et plusieurs variétés de blé (engrain, blé amidonnier, blés tendres). L'extension de la culture des céréales va entraîner de profondes mutations dans l'organisation des groupes humains. La mise en culture des sols contraint les populations à se fixer pour surveiller les récoltes. Les premiers villages groupant quelques cabanes s'établissent à proximité des terrains sablonneux faciles à travailler.

Un nouvel âge, le Néolithique, apparaît lorsque les techniques de la pierre polie et de la poterie se généralisent. Des communautés rurales s'installent progressivement qui vivent tout à la fois, encore de pêche et de chasse et aussi de culture et d'élevage.

Grâce aux plus récentes techniques de datation de l'archéologie, on situe aujourd'hui l'apparition de l'agriculture sur notre territoire méditerranéen au VIème millénaire avant notre ère dans les zones du pourtour méditerranéen. le foyer d'origine est le Moyen-Orient "le croissant fertile" d'où une agriculture déjà très avancée se propage vers le Nord-Ouest selon deux courants de diffusion (CHEVALIER, 1939) :

- ✓ **Le courant danubien au Nord** qui va aboutir à la colonisation de l'Europe par une population très organisée construisant les fameuses maisons danubiennes et possédant un outillage agricole primitif et pratiquant l'élevage du bœuf et aussi de la chèvre.
- ✓ **Le courant méditerranéen au Sud** se caractérisant par de petits groupes nomades vivant dans des abris saisonniers. Ici le bœuf est remplacé par le mouton. Le mode de culture est celui de l'abattis brûlis sur forêt et abandon des parcelles après épuisement du sol. Les plantes cultivées sont les céréales comme le blé (engrain, blé amidonnier), l'orge, le millet et quelques légumineuses (le pois, les fèves, les lentilles).

La propagation des techniques de culture va se faire progressivement en évitant les terres trop lourdes, les zones trop montagneuses, les marécages, et d'importants massifs forestiers. Ces peuples avaient donc déjà acquis les rudiments de l'art agricole avec le travail du sol en surface, les semaines des graines, la conduite des troupeaux et le stockage des récoltes en prévision de l'hiver.

Vers -2500, fin du Néolithique, on compte environ 500 000 habitants. Avec le Chalcolithique (âge du cuivre de -2500 à -1800) et l'âge du bronze (-1800 à -725) commence l'âge des métaux durant lequel se perfectionnent outils agricoles et techniques.

L'araire tiré par des bœufs (la charrue primitive), en provenance du Moyen-Orient aussi, devient l'instrument de labour par excellence. De même les fouilles archéologiques ont prouvé l'utilisation de la faucille en bronze pour la moisson, des faïsnelles en poterie pour la fabrication du fromage et le filage de la laine.

Enfin il faut croire que la Méditerranée était un pays prédestiné puisque c'est sur son pourtour que se sont développées les civilisations les plus extraordinaires, que se sont accomplis les miracles les plus merveilleux ! Mais le sol s'est appauvri à force d'être exploité. Par le travail et la science on pourrait lui rendre son antique prospérité !

## 7. CONCLUSION

Le domaine méditerranéen fait partie des milieux où la puissance des impacts anthropiques et les changements climatiques globaux en cours menacent gravement la biodiversité des communautés végétales. Aujourd’hui, la fonctionnalité de la protection de la vie dans les écosystèmes méditerranéens (régulation du climat et du cycle de l’eau, protection des sols, stockage du carbone et production d’oxygène, etc.) est une préoccupation majeure dans un monde préocacement et fortement humanisé.

Les structures de végétation et les paysages majeurs sur le pourtour méditerranéen constitués à partir d’un fond floristique progressivement constitué au moins depuis le Moi-Pliocène, représente donc à l’heure actuelle, la résultante à la fois des modifications climatiques qui s’y sont succédés, en particulier depuis environ 12 Ma, et des facteurs écologiques locaux actuels (BENMOUSSAT, 2004).

Au regard de l’accroissement des populations et de l’intensité des pressions anthropiques qui en résulte, la priorité suprême semble être désormais de parvenir à un équilibre satisfaisant entre maintien de la biodiversité et gestion des ressources naturelles renouvelables (LACOSTE & SALANON, 1999). Cet objectif ne saurait être approché sans les enseignements et données fournis par différentes disciplines de la biogéographie à l’écologie en passant par la bioclimatologie et l’agro-météorologie. Ceci implique en particulier le renforcement des recherches sur le milieu méditerranéen, en ce qui concerne sa composition, sa structure et son dynamique, ainsi que les facteurs environnementaux qui le conditionnent. C’est dans cette mesure qu’il serait progressivement possible de résoudre le double problème de la vocation productive des terres et de la conservation du patrimoine biologique.

## CHAPITRE III

---

### Observations météorologiques et étude de la variabilité climatique

---

## CHAPITRE III

### OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES & ÉTUDE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUES

#### **1. OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES**

De nos jours la connaissance des facteurs climatiques enregistrés est devenue une préoccupation majeur pour différents secteurs de l'économie, notamment l'agriculture du moment qu'elle contribue à aider l'agriculteur dans la prise de ses décisions. A ce niveau, il s'agit d'après SOLTNER (1999) de deux types de décisions :

D'abord, des décisions à long terme, qualifiées de stratégiques, et qui tiennent compte du climat local connu par les enregistrements météorologiques des années passées : le choix des cultures à entreprendre, l'élimination de celles que le climat rend trop aléatoires ; les investissements en matériel de culture et d'irrigation ; ainsi que l'engagement de personnel, permanent ou temporaire.

Ensuite, des décisions à court terme, qualifiées de tactiques, qui tiennent compte des prévisions météorologiques à court terme ou des enregistrements récents. Dans ce cas la notion du temps fait son apparition, et sur laquelle repose la plupart des décisions prises par l'agriculteur au matin de chaque journée, ou pour les 2 ou 3 jours, qui viennent, dépendent du temps qu'il fait, qu'il a fait ou qu'il va faire pour : effectuer les différents travaux culturaux ; le déclenchement des moyens éventuels de lutte contre les intempéries et la conduite de la lutte antiparasitaire et herbicide.

En Algérie, la réalisation des observations météorologiques est une tâche attribuée à l'Office National de la Météorologie, placé sous la tutelle du ministère des transports. Issu de la restructuration de l'ENEMA, l'ONM est créé par ordonnance N°75-25 du 29 avril 1975 en tant qu'établissement public à caractère administratif et transformé par décret N°98-258 du 25 août 1998 en entreprise publique industrielle et commerciale (EPIC) à vocation scientifique et technique. Ses missions principales résident dans :

- L'acquisition, le traitement, l'exploitation et la diffusion des données météorologiques nationales et internationales.

- La prévision de l'évolution du temps sur le territoire national ainsi que le lancement des avis d'alerte auprès du public et des différents utilisateurs (tel que les agriculteurs).
- La réalisation d'étude climatologiques et d'assistance météorologique. Ainsi que la surveillance des changements climatiques.

Pour assurer une surveillance continue de l'atmosphère, l'office national de la météorologie a mis en place et exploite un réseau de stations d'observations météorologiques couvrant les différentes régions climatiques du pays et comprenant : 77 stations d'observation en surface ; 12 stations d'observation en altitude ; 3 autres structures consacrées à la recherches et aux observations spéciales à Tiaret, Ksar Chellala et Tamanrasset ; 5 radars météorologiques et plus de 400 postes climatologiques. En matière de lutte antiacridienne, l'ONM dispose d'un centre régional de surveillance météorologique à Tamanrasset, avec 40 stations de surveillance localisées dans cette wilaya du sud du pays et 80 autres éparpillées à travers le territoire national. Et puis, en dehors des consultations qu'il offre, l'ONM dispose d'une banque de données de tous les paramètres climatiques à l'échelle nationale et à pas de temps variable : horaire, journalier, mensuel, annuel, etc. Cette banque de données climatologiques dont les renseignements remontent parfois à près de 150 ans et couvrant l'ensemble du pays, couramment utilisée par les usagers des services publics et parapublics, les chercheurs nationaux et internationaux, les étudiants, les bureaux d'étude, les consultants, etc.

Les différentes informations diffusées par les services de météorologie concernent trois domaines (SOLTNER, 1999) :

- L'enregistrement régulier des observations météorologiques, relevées plusieurs fois par jour. Ces enregistrements peuvent renseigner utilement l'agriculteur sur le temps passé, récent (semaines et mois passés), surtout en matière de pluviométrie, évaporation et température.
- La prévision du temps qu'il va faire, à court terme (de 12 à 48 heures), à moyen terme (de 2 à 10 jours), ou à long terme (de 1 à plusieurs mois) ;
- La description du climat local à partir des moyens établis sur de longues périodes : moyenne des températures, de pluviométrie, d'évaporation, direction des vents, durée d'insolation, nombre de jours de gelées, etc. ;

En dehors de l'office national de météorologie, l'Agence Nationale des ressources hydraulique (ANRH) dispose d'un réseau de stations d'observations météorologique au niveau des différentes infrastructures hydrauliques du pays et principalement les barrages.

Il existe encore d'autres établissements notamment certaines fermes pilotes qui disposent d'un équipement minimal d'observations météorologiques qui varie en fonction des cultures : Arbres fruitiers, vignes, horticulture, maraîchage, céréales, etc.

Les observations météorologiques portent sur les éléments du climat ou facteurs climatiques, elles s'effectuent à l'aide de certains instruments précis (Tableau 3. 1.) (d'après HALIMI, 1986 ; SOLTNER, 1999).

**Tableau 3. 1 – Les différents instruments de mesure utilisés des observations météorologiques**

Facteur climatique	Instruments de mesure utilisés
- Température de l'air	- Thermomètres à liquide ; thermographes ; thermomètres ordinaires et à maximum (à mercure) ; thermomètres à minimum (à l'alcool) ; thermomètres maxima-minima (à mercure, alcool ou toluène). - Thermomètres sondes.
- Température du sol	
- Radiation	- Pyranomètre ; Bilan-mètre (mesurant à la fois le rayonnement vers la terre et le rayonnement de la terre vers le ciel).
- Durée d'insolation	- Héliographe (de JORDAN ou de CAMPBELL-STOCKES).
- Précipitation	- Pluviomètre ; pluviographe.
- Evaporation	- Evaporomètre de Piche ; bacs d'évaporation ; case d'évaporation.
- Humidité de l'air	- Psychomètre ; psychomètre-fronde ; abaque ; hygromètre ; hygrographe à cheveu ; thermo-hygrographe.
- Humectation du feuillage	- Thermo-humectocgraphe.
- Risques de gelées	- Pagoscope.
- Direction du vent	- Girouettes simples ou enregistreuses.
- Force du vent	- Anémomètre ; anémographie.
- Pression atmosphérique	- Baromètres à mercure ou anéroïdes ; barographes.

## 2. EXPLOITATION DES ENREGISTREMENTS MÉTÉOROLOGIQUES

Le climat de l'Algérie d'une manière générale, ainsi que celui de la région de Tlemcen qui fait partie de l'Oranie a suscité l'intérêt de nombreux chercheurs et a fait l'objet d'une panoplie d'études analytiques et synthétiques notamment celle de SELTZER (1946), STEWART (1969 ; 1975), ALCARAZ (1970 ; 1982), CHAUMONT & PAQUIN (1971), COUDERC (1974), DAHMANI (1984), AIMÉ (1991). L'ensemble de ces auteurs s'accordent à reconnaître que le climat de l'Algérie est de type méditerranéen avec des étés chauds et secs, des hivers doux et humides ; cela répond parfaitement aux critères établis par DAGET (1977).

Le climat joue un rôle indispensable dans la répartition de la végétation. Au cours de ce présent travail, nous avons pris en considération deux éléments climatiques majeurs à savoir : la température et la pluviométrie, en raison de leur disponibilité dans les archives météorologiques et leur influence prépondérante sur les écosystèmes naturels et semi-naturels.

## 2. 1. Origine des données, choix des stations et des périodes d'étude

Les stations météorologiques retenues pour caractériser les potentialités climatiques de notre région d'étude sont celles de Zenata et de Maghnia. La première était installée depuis la moitié du XIXe siècle puisque le plateau de Zenata fut occupé par une base militaire dès le début de la colonisation française à la région. Après la mise en œuvre de l'aéroport de Zenata en 1980, la station a été liée à cette infrastructure. Par ailleurs, la station météorologique de Maghnia est plus récente que la première puisque les observations météorologiques les plus anciennes remontent à 1915.

Ces stations étaient installées dans des sites choisis. En conséquence, elles se trouvaient dans des lieux dégagés d'obstacles qui pouvaient perturber les enregistrements, ou qui pouvaient empêcher l'exposition et la lecture correcte des instruments. En plus, l'accès à ces stations devrait être satisfaisant afin que les observateurs puissent assurer aisément leurs observations régulières (HALIMI, 1980).

Le tableau suivant indique le type des deux stations (METAR/SYNOP)<sup>1</sup>, la région, les coordonnées géographiques, l'altitude, le site ainsi que les périodes de référence.

**Tableau 3. 2 – Stations retenues dans l'étude et leurs caractéristiques**

Stations	Type	Région Naturelle	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Sites	Périodes de référence
Zenata	METAR/ SYNOP	Plaine intérieure	35°02' N	1° 47' W	247	Aéroport	P (1853-54 / 1896-97) P (1922-23 / 2012-13) T (1976-77 / 2012-13)
Maghnia	METAR/ SYNOP	Plaine intérieure	34° 82' N	1° 78' W	426	-	P (1915-16 / 2003-04) * P (1940-41 / 2003-04) * P (1976-77 / 2012-13) T (1976-77 / 2012-13)

(<sup>1</sup>) METAR / SYNOP : Ce sont des messages météorologiques, on distingue deux familles d'entre eux :  
1. Le SYNOP, destiné à l'établissement des cartes synoptiques de surface. C'est un rapport d'observation reprenant l'état détaillé des conditions météorologiques qui règnent à la station envoyé au centre national.  
2. Le METAR, message météorologique destiné à l'aviation, se rapporte à une observation, mais comprend en plus un élément de prévision de type « tendance » portant sur une validité d'une demi-heure.

(\*) Selon les travaux de MEDDI & MEDDI (2009a).

L'étude du climat et le suivi de son évolution nécessitent de longues et nombreuses séries d'observations. Les séries de données que nous disposons, ne sont malheureusement pas parfaitement fiables ni continues. Celles-ci proviennent des deux organismes responsables du réseau pluviométrique en Algérie, à savoir l'Office nationale de météorologie (ONM) pour les périodes climatiques de référence de la station de Zenata et la période allant de 1976 à 2013 pour la station de Maghnia. Ainsi que l'Agence nationale des ressources hydraulique (ANRH) qui représente la source du reste des données pluviométriques de la station de Maghnia issues des travaux de MEDDI & MEDDI (2009b).

A partir de la série pluviométrique spécifique à la station de Zenata, on peut constater une durée d'interruption, qui touche la période de 1897-1921. Ces lacunes sont dues à l'ancienneté de la station d'une part, et d'autre part à la situation des données météorologiques du pays après l'indépendance, ou HALIMI (1980) mentionne, que parmi les observateurs de ces stations il y a eu ceux qui ont quitté leurs postes avec les documents, d'autres fonctionnaires les ont brûlés ou les ont égarés, ce qui a conduit à l'apparition des années de lacunes pour la plupart des séries d'informations météorologiques en Algérie.

Selon DUBREUIL (1974), HIEZ (1977), HALIMI (1980), MEDDI & MEDDI (2009b), d'autres problèmes des observations météorologiques peuvent être rencontrés notamment :

- Manque de précision des instruments météorologiques employés dans les mesures et les enregistrements due à un état de turbulence du pluviomètre ;
- Modification de l'environnement du site de la station ; par déplacement du pluviomètre, par modification du paysage limitrophe qui peut être brutale (construction) ou progressive (croissance d'un arbre ou d'une haie), ou bien par changement de la hauteur de l'appareil au-dessus du sol.
- Défaut de calibrage, dans le cas d'un appareil enregistreur : cela peut être dû à un vice de conception (hauteur enregistrée variable avec l'intensité), ou à un mauvais réglage (contrepoids du pluviographe à siphon, etc.).
- Erreurs de mesure et d'enregistrement, et sont de deux types :
  - Au niveau de l'éprouvette : précision différente d'une éprouvette à une autre ; confusion d'éprouvette ; mesure peu soignée ou lecture erronée (additif).
  - A l'enregistrement par manque d'encre, mauvais réglage du système d'inscription, erreur de date, écriture erronée de la hauteur mesurée ou erreur de virgule, erreur de recopie.

- A la transmission du signal (message) météorologique : par perte de courrier ; pli égaré à la réception ; défauts du système de transmission (électrique, radio, satellite...).
- Au décodage et à l'archivage : erreurs de date, de virgule, de recopie, de perforation, sur le calcul du total, sur l'échelle d'un diagramme ; Disparition d'un document par suite d'un mauvais archivage, ou d'une erreur d'adresse (bande magnétique).
- Erreurs de listage : elles peuvent se produire à la publication du fichier des données brutes et comporter toutes les formes d'erreurs d'écriture, jusqu'à l'omission de données et à l'interversion de postes. Sous cette rubrique, sont classées également les erreurs possibles dues au non utilisation de l'année hydrologique pour effectuer les comparaisons entre postes.
- Des soucis dus à l'instabilité de gestion, du fait que les données météorologiques ont été éditées par le service météorologique créé en 1873, dans un premier temps. Puis, ce dernier fut rattaché en 1884 à l'école supérieure des sciences. En 1913, la gestion du réseau météorologique fut confiée à un comité directeur composé de différents services du gouvernement général intéressés à la question météorologique.
  - \* L'Office National Météorologique français entra en Algérie en 1920, et partagea avec le service local la gestion de la météorologie du pays.
  - \* Après l'indépendance de l'Algérie en 1962, le gouvernement algérien créa l'établissement national de l'exploitation météorologique de l'Algérie (E.N.E.M.A.).
  - \* Enfin, en 1975, il y a eu la création de l'Office National de la Météorologie (ONM).

L'avantage que présentent les données pluviométriques dont on dispose, c'est qu'elles sont de longues durées, ce qui facilite les études d'analyse qui portent sur le moyen et le long terme tel que le choix des stratégies culturelles appropriées.

## 2. 2. Homogénéité des données

La pluie constitue un élément fondamental de tous les processus naturels qui intéressent l'agriculture. Ainsi, une bonne connaissance de la distribution pluviométrique à la fois dans le temps et dans l'espace, est indispensable pour dégager d'une part les périodes critiques de sécheresse auxquelles les cultures sont exposées et d'autre part les zones favorables et les zones défavorables (YACOUBI & HANCHANE, 1997). Cette connaissance ne peut être acquise sans une observation permanente et globale, au moins régionale, des événements pluvieux (HIEZ, 1977). A côté de la pluie annuelle totale, la distribution des précipitations autour de l'année est également déterminante pour l'agriculture.

Différents travaux de recherche ont montré l'importance des précipitations printanières et leur impact sur le rendement final. Les pluies de début de saison jouent un rôle très important du point de vue leur hauteur et leur date d'occurrence (YACOUBI & HANCHANE, 1997).

Il paraît donc nécessaire de comprendre le régime pluviométrique de notre région d'étude pour arriver à dégager ses potentialités agricoles et pour définir les stratégies culturelles capables de palier aux risques climatiques. De ce fait, pour chaque station météorologique, il peut exister plusieurs séries de données de sources différentes, sans qu'il soit possible de les classer par ordre de confiance. Un travail de précritique permet à la fois d'affecter un ordre de priorité aux différentes séries, et d'élaborer une série de référence pour le poste traité selon les principes évoqués ci-dessous (ROUCHÉ *et al.*, 2010):

- mise à jour des coordonnées de la station ;
- calcul des valeurs mensuelles d'après les valeurs journalières ou décadiques, quand elles sont disponibles ;
- comparaison des valeurs de séries journalières, décadiques, et mensuelles pour un même poste.

Les sources d'informations ont fait l'objet d'une critique plus subjective. ROUCHÉ *et al.*, (2010), ont défini un label de qualité des différents jeux de données stockés en fonction de différents critères tels que : la provenance de l'information ; la fiabilité des sources ; le nombre d'intermédiaires dans le trajet de l'information ; ainsi que la durée des séries d'observations.

Néanmoins, toute acquisition d'une grille de données pluviométriques est soumise à des erreurs de toute nature, qui tiennent autant au système d'acquisition lui-même qu'au caractère individuel de la mesure ou de l'enquête, individualité éminemment propre à engendrer des hétérogénéités.

Face à cette situation, la technique d'homogénéisation impose une critique sévère des données recueillies, suivie d'éviction pure et simple quand elles sont jugées s'éloigner par trop de la réalité, de corrections prudentes quand la nature systématique des erreurs détectées l'autorise, de messages d'alerte quand leur valeur « anormale» peut être considérée comme localement possible.

Pour ce qui concerne notre présent travail qui repose sur une même zone climatique, celle du plateau de Zenata qui se prolonge vers la plaine de Maghnia ; on vérifie classiquement l'homogénéité des séries en les comparant entre elles par la méthode des totaux annuels cumulés. Dans la suivante partie sont présentés et discutés les résultats obtenus par l'analyse des données de pluie disponibles pour les périodes (1853-54 à 1896-97), (1922-23 à 2012-13) relatives à la station de Zenata et (1976-77 à 2012-13) pour la station de Maghnia, en partant des considérations générales, jusqu'à l'échelle décadaire.

L'analyse statistique a été effectuée sur les cumuls de pluie de l'année agricole qui débute au premier septembre de l'année  $K$  et finit le 31 août de l'année  $K + 1$ . Ce choix se justifie par le fait que, dans le domaine méditerranéen, la saison pluvieuse commence au mois de septembre et s'achève au mois de mai. Le maximum pluviométrique est souvent enregistré pendant l'hiver, aux mois de novembre, décembre ou janvier. Il s'ensuit que l'année agricole reflète une réalité naturelle. L'année dite civile, qui décompose arbitrairement l'épisode pluvieux en deux fragments, paraît inappropriée (SEBBAR *et al.*, 2011). Nous avons ainsi, sélectionné les deux postes pluviométriques de Zenata et de Maghnia (Tableau 3. 3.).

**Tableau 3. 3– Les stations retenues pour l'étude et leurs caractéristiques**

Station	Périodes d'observation	Moyenne (mm)	Ecart type (mm)	Coef. de variation (%)
Zenata	1853-54 / 1896-97 (44 ans)	616	179	29,1
	1922-23 / 2012-13 (91 ans)	519	199	38,3
Maghnia	1915-16 / 2003-04 *(89 ans)	398	144	36,1
	1940-41 / 2003-04 *(64ans)	366	130	35,5
	1976-77 / 2012-13 (37 ans)	292	81	27,7

Dans ce contexte, les annuaires publient habituellement les valeurs des précipitations mensuelles et annuelles moyennes pour des périodes de 20 à 30 ans. Cependant, la moyenne seule est peu significative à cause de la grande variabilité des précipitations et il faut généralement compléter les renseignements publiés par des diagrammes de fréquence des précipitations journalières ou mensuelles, ou par le calcul des variabilités des valeurs caractéristiques comme la médiane, les déciles supérieurs et inférieurs des séries, l'écart type et le coefficient de variation (HUFFY, 2001). Par exemple : 10 % des années retenues à Zenata ont des précipitations inférieures à 288 mm et 10 % supérieurs à 790 mm. Alors que pour la station de Maghnia, on rencontre que 10 % des données ont des précipitations inférieures à 196 mm et 10 % supérieurs à 430 mm.

**Tableau 3. 4 – Précipitations annuelles à la Station de Zenata (1922-23 / 2012-13)**

Déciles	10	20	30	40	50	60	70	80	90	%
Quantités	288	326	376	426	519	561	646	681	790	mm

Moyenne : 519 mm ; Médiane : 590 mm ; Écart-type : 199mm ; Coef. Var. : 38,3 %

**Tableau 3. 5 – Précipitations annuelles à la station de Maghnia (1976-1977 / 2012-13)**

Déciles	10	20	30	40	50	60	70	80	90	%
Quantités	196	235	249	265	278	300	342	393	430	mm

Moyenne : 292 mm ; Médiane : 322 mm ; Écart-type : 81mm ; Coef. Var. : 27,7 %

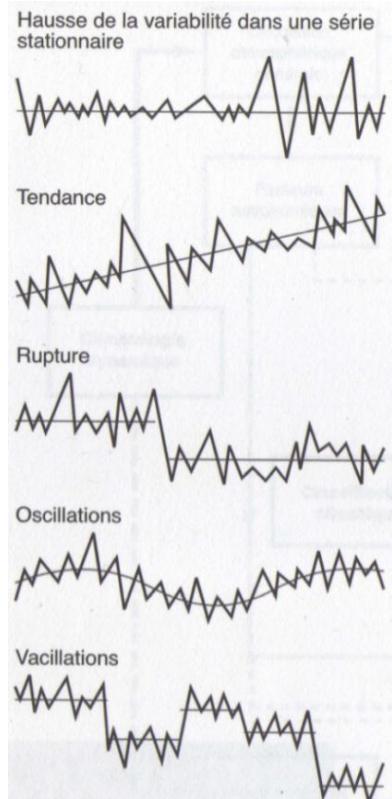
## 2. 3. Climat et variabilité pluviométrique

Le climat peut varier à différentes échelles temporelles ; les définitions suivantes sont couramment admises :

Un changement climatique s'étend sur de longues périodes, de l'ordre du siècle ;

- Il y a une **variation climatique** entre deux périodes de références si leur différence moyenne dépasse l'écart-type ;
- Des **fluctuations climatiques** se rapportent à des périodes plus courtes de l'ordre de décennies.
- Il y a enfin une **variabilité interannuelle** qui relève du bruit statistique.

Toutes ces variations ont des formes temporelles. On parle d'abord de la tendance ou de la dérive, si la baisse ou la hausse semble continue, ou de rupture, s'il y a une discontinuité rapide entre deux séries relativement homogènes. On regarde également le rythme : des oscillations sont observées entre des maxima et des minima successifs quand les changements sont graduels ; parfois ces oscillations sont quasi-périodiques pendant une longue période. Si les changements sont brusques, avec des retours aux conditions antérieures, on parlera plutôt de vacillations climatiques (Figure 3. 1).

**Figure 3. 1 –Variabilité climatique (HUFTY, 2001)**

### 2. 3. 1. Détection des ruptures et étude de tendance au sein des séries pluviométriques.

Une rupture peut être définie par un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives définissent les séries chronologiques étudiées (LUBÉS *et al.*, 1994). L'acception générale des totaux annuels de précipitations, est que du point de vue stochastique, ceux-ci peuvent être considérés comme un processus stationnaire.

La stationnarité suppose que les propriétés de base du processus (par exemple, son niveau moyen) ne changent pas avec le temps. Alors que la caractéristique d'indépendance suppose que le cumul de précipitations d'une année n'est pas dépendant du total de précipitations enregistrées l'année précédente. De ce fait, On suppose que dans le contexte du réchauffement global actuel, l'espérance mathématique aussi bien que la variance de cette variable aléatoire à l'échelle interannuelle ne seraient plus indépendantes du temps au temps (MEDDI & MEDDI, 2009b).

Dans ce chapitre, on va entreprendre une étude statistique sur les totaux annuels de précipitations, en utilisant les tests statistiques de PETTITT et de LEE et HEGHINIAN. Ils sont, avec d'autres, recommandés par l'Organisation mondiale de la météorologie (OMM, 2000) pour détecter les ruptures au sein des séries temporelles. Cette démarche aidera à voir si ces ruptures dans la stationnarité sont liées seulement à des causes artificielles, ou si l'aléa climatique a un rôle prépondérant.

LABORDE (1993), en étudiant les vecteurs régionaux(les valeurs prises par les deux premières composantes obtenues suite à l'application de l'analyse en composantes principales sur 120 postes pluviométriques du nord de l'Algérie) qui traduisent la part essentielle de la variabilité spatiale et temporelle de la diminution des moyennes pluviométriques, a mis en évidence quatre phases pluviométriques à savoir :

- une phase où la pluviométrie est supérieure à la moyenne de 6 % de 1922 à 1938 ;
- une phase sèche débutant à partir de 1939 (déficit de l'ordre de 11 %) et s'arrêtant en 1946 à l'ouest et au centre du pays ;
- une phase pluvieuse qui succède à la période sèche qui a duré jusqu'en 1972 environ ;
- une phase à tendance négative (sèche) qui a commencé en fin de 1973.

Différents travaux effectués en Algérie, notamment ceux de MEDDI & HUMBERT (2001) ; MEDDI *et al.* (2002) ; MEDDI & HUBERT (2003), ont traités cette dernière phase, qui perdure jusqu'à nos jours, avec des périodes tenant en compte des années plus récentes.

Dans ce qui suit, les séries d'observations ont été étendues à de nouvelles années de mesures pour rendre compte de l'évolution du régime pluviométrique durant les dernières décennies.

### 2. 3. 2. Rupture et tendance au sein des les séries pluviométriques

La détection d'une rupture dans les séries permet de mettre en évidence l'évolution du régime pluviométrique de la région étudiée. Le choix des méthodes retenues repose sur la robustesse de leur fondement et sur les conclusions d'une étude de simulation de séries aléatoires artificiellement perturbées. Elles permettent de détecter un changement dans la moyenne de la variable traitée dans la série.

La caractérisation des fluctuations du régime pluviométrique repose sur l'analyse statistique des séries chronologiques des pluies dans deux sites différents et sur des périodes les plus longues possibles. Les tests statistiques de PETTITT (1979), de LEE et HEGHINIAN (1977), U de BUISHAND (1984) et la méthode de segmentation de HUBERT (1989), permettant de déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique, sont regroupés dans le logiciel Khronostat réalisé par l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et l'université de Montpellier (BOYER, 1998). À l'exception de l'approche de PETTITT, « elles supposent un non-changement de la variance de la série étudiée » (LUBES *et al.*, 1998). Ces méthodes ne sont pas toutes adaptées à la recherche de plusieurs ruptures dans la même série.

- **Test de PETTITT**

L'approche de PETTITT (1979) est non paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney. L'absence de rupture dans la série ( $x_i$ ) de taille N constitue l'hypothèse nulle. Sachant que, le test de PETTITT est basé sur la fonction signe :

$$\text{sgn}(x) = 1 \text{ si } x > 0, \text{sgn}(x) = 0 \text{ si } x = 0 \text{ et } \text{sgn}(x) = -1 \text{ si } x < 0.$$

La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant  $t$  compris entre 1 et N, les séries chronologiques ( $x_i$ )  $i = 1$  à  $t$  et  $t + 1$  à N appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable  $U_t$ , N définie par :

$$U_{t, N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

La série est divisée en deux sous-échantillons, respectivement de taille  $m$  et  $n$ . Les valeurs des deux échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chacun des deux échantillons dans l'échantillon total. Une statistique est définie à partir des deux sommes ainsi déterminées, et testée sous l'hypothèse nulle d'appartenance des deux sous échantillons à la même population. Si l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant  $t$  définissant le maximum en valeur absolue de la variable  $U_t, N$ .

La figure 3. 2. montre la fonction du test de PETTITT pour la station de Zenata. À partir de ce test, on a obtenu un rejet de l'hypothèse nulle aux différents seuils de confiance (99, 95 et 90 %), mais avec la probabilité du dépassement de la valeur critique du test :  $1,94^{E-11}$  en 1975.c'est-à-dire un changement de moyenne de part et d'autre de la date de cette rupture (1975). Ainsi, on a pu calculer la valeur du taux de réduction pluviométrique correspondant :  $\text{Taux de réduction} = [(\text{moyenne avant rupture} - \text{moyenne après rupture}) / \text{moyenne avant rupture}] \times 100$

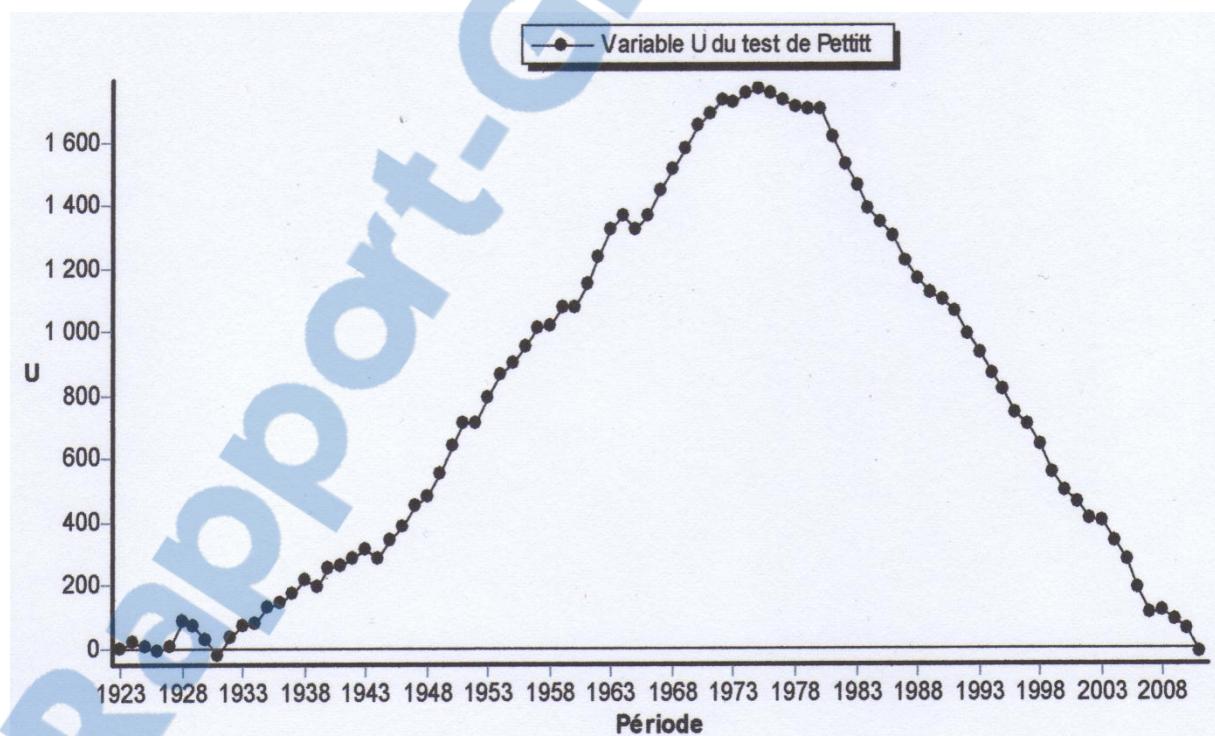


Figure 3. 2– Test de PETTITT pour la station de Zenata (1922-23 / 2012-13)

**Note :** Pour pouvoir réaliser le test statistique de PETTITT, il faut avoir à sa disposition une série pluviométrique de longue période, ce qui est le cas de la station de Zenata. De ce fait, et en absence d'un tel dispositif pour la station de Maghnia, on a eu recours aux résultats obtenus par les travaux de MEDDI & MEDDI (2009b) portés sur le tableau 3. 6.

- **Méthode bayesienne de LEE et HEGHINIAN**

La méthode bayesienne de LEE et HEGHINIAN (LEE et HEGHINIAN, 1977) propose une approche paramétrique. Elle nécessite une distribution normale des valeurs de la série. La procédure de LEE et HEGHINIAN fournit la probabilité que le changement se produise au moment  $\tau$  dans une série où on suppose a priori qu'il y a effectivement un changement à un moment indéterminé. De même, elle donne une estimation de la probabilité que l'amplitude du changement ait la valeur  $\delta$ . L'absence de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle.

Le modèle de base de la procédure est le suivant :  $X_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1, \dots, T \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i = T + 1, \dots, N \end{cases}$

Les  $\varepsilon_i$  sont indépendants et normalement distribués, de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2$ ;  $t$  et  $\delta$  représentent respectivement la position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne. La méthode établit la distribution de probabilité a posteriori de la position dans le temps d'un changement. Lorsque la distribution est unimodale, la date de la rupture est estimée par le mode avec d'autant plus de précision que la dispersion de la distribution est faible.

Les résultats obtenus à partir de ce test sont comme suit :

Station	Mode de la fonction de la densité de la probabilité a posteriori de la position du point de rupture	Année de rupture
Zenata	0,4211	1975
Maghnia	0,1630	1980

- **Statistique U de BUISHAND et ellipse de BOIS**

La procédure de BUISHAND (1982 ; 1984) fait référence au même modèle et aux mêmes hypothèses que l'approche de LEE et HEGHINIAN. En supposant une distribution a priori uniforme pour la position du point de rupture  $t$ , la statistique de BUISHAND est définie

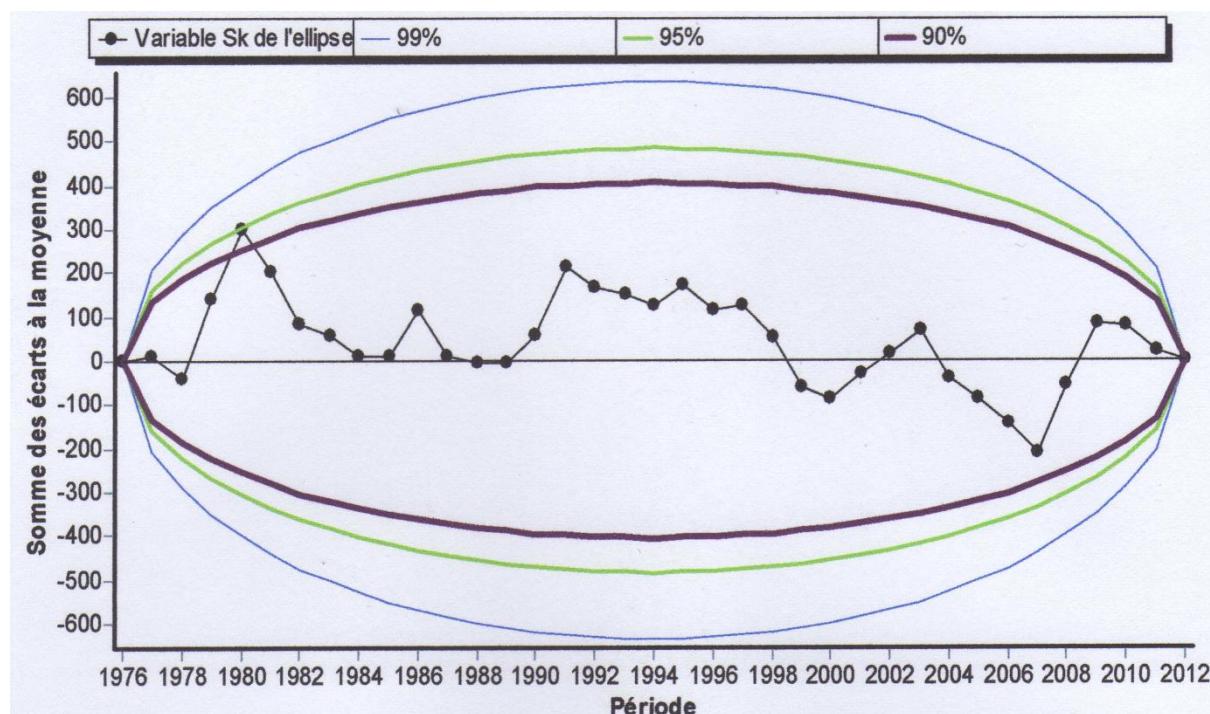
$$\text{par : } U = \frac{\sum_{K=1}^{N-1} \left( \frac{S_k}{D_x} \right)^2}{N(N+1)} \text{ où : } S_k = \sum_{t=1}^K (X_i - \bar{X})$$

Pour  $k = 1, \dots, N$  et  $D_x$  désigne l'écart type de la série.

En cas de rejet de l'hypothèse nulle, aucune estimation de la date de rupture n'est proposée par ce test. Outre cette procédure, la construction d'une ellipse de contrôle permet d'analyser l'homogénéité de la série de  $(x_i)$ .

La variable  $Sk$ , définie ci-dessus, suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance  $[k(N-k)\sigma^2]/N$ ,  $k = 0, \dots, N$  sous l'hypothèse nulle d'homogénéité de la série des  $(x_i)$ . Il est donc possible de définir une région de confiance dite ellipse de contrôle associée à un seuil de confiance contenant la série des  $Sk$ .

La figure 3. 3. montre la possibilité de définir une région de confiance au niveau de l'Ellipse de BOIS pour la station de Maghnia. Le résultat confirme que le caractère aléatoire détecté précédemment correspond à une grande variabilité de la pluviométrie annuelle, caractérisée par une rupture dans la série pour un intervalle de confiance 95 % contenant la série  $Sk$ , ce qui signifie un changement de moyenne de part et d'autre de la date de cette rupture (1980) ; en revanche, pour un intervalle de confiance de 99 % la rupture est rejetée.



**Figure 3. 3 – Ellipse de BOIS à 99, 95 et 90 % pour la station de Maghnia (1976-77 / 2012-13)**

Les résultats obtenus du test statistique de PETTITT, de la statistique de LEE et HEGHINIAN et du test de BUISHAND sur les deux stations étudiées sont regroupés dans le tableau 3. 6.

**Tableau 3. 6 – Application des tests statistiques sur les périodes des stations retenues.**

Station	Période d'étude	Méthode de PETTITT	Test de LEE et HEGHINIAN	Test de BUISHAND	Moyenne avant la rupture	Moyenne après la rupture	Rapport entre les deux moyennes (%)
Zenata	1922-23/ 2012-13	1975	1975	-	641	341	46,8
Maghnia	1915-16/ 2003-04 *	1980	1980	-	415	279	32,7
	1940-41/ 2003-04 *	1980	1980	-	436	281	35,6
	1976-77/ 2012-13	-	1980	1980	322	288	10,6

Il ressort que pour les deux stations, une rupture (diminution drastique dépassant l'écart-type de la pluviométrie annuelle) dans les séries étudiées apparaît en 1975 et en 1980. Ces résultats confirment l'apparition d'un déficit pluviométrique à partir du milieu des années 1970, et la poursuite de celui-ci durant les trois dernières décennies. La réduction la plus importante est enregistrée, à la station de Zenata, avec 46,8 % de diminution des pluies annuelles après la date de rupture marquée en 1975.

Par ailleurs, selon les travaux de MEDDI & MEDDI (2009b), au niveau de la station de Maghnia (1915-2003), la date de rupture (1980) reste identique à celle de la période d'observation allant de 1940 à 2003 ; alors que la baisse pluviométrique enregistrée est de l'ordre de 32,7 % pour la première période et de 35,6 % pour la seconde. Les résultats issus de nos calculs pour la station de Maghnia confirme cette tendance à la baisse de la pluviométrie, avec une diminution de 10,6 % sur la période (1976-77 / 2012-13).

#### • Segmentation de HUBERT

Le principe de cette procédure (HUBERT *et al.*, 1989) est de « découper » la série en  $m$  segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s). Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne. La segmentation est définie de la façon suivante : Toute série  $x_i$ ,  $i = i_1, i_2$  avec  $i_1 \geq 1$  et  $i_2 \leq N$  où ( $i_1 < i_2$ ) constitue un segment de la série initiale des ( $x_i$ ),  $i = 1 \dots N$ .

Toute partition de la série initiale en  $m$  segments est une segmentation d'ordre  $m$  de cette série. A partir d'une segmentation particulière d'ordre  $m$  pratiquée sur la série initiale, on définit :  $i_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$  ;  $N_k = i_k - i_{k-1}$

$$X_k = \frac{\sum_{I=I_{k-1}+1}^{I=I_k} X_i}{N_k}; D_m = \sum_{k=1}^{k=m} d_k; d_k = \sum_{I=I_{k-1}+1}^{I=I_k} (X_i - \bar{X}_k)^2$$

La segmentation retenue doit être telle que pour un ordre  $m$  de segmentation donné, l'écart quadratique  $D_m$  soit minimum. Cette condition est nécessaire mais non suffisante pour la détermination de la segmentation optimale. Il faut lui adjoindre la contrainte selon laquelle les moyennes de deux segments contigus doivent être significativement différentes. Cette contrainte est satisfaite par application du test de SCHEFFÉ (DAGNÉLIE, 1970).

La représentation de la segmentation de HUBERT pour la station de Zenata est représentée dans le tableau 3. 7 avec un niveau de signification du test de SCHEFFÉ à 1%.

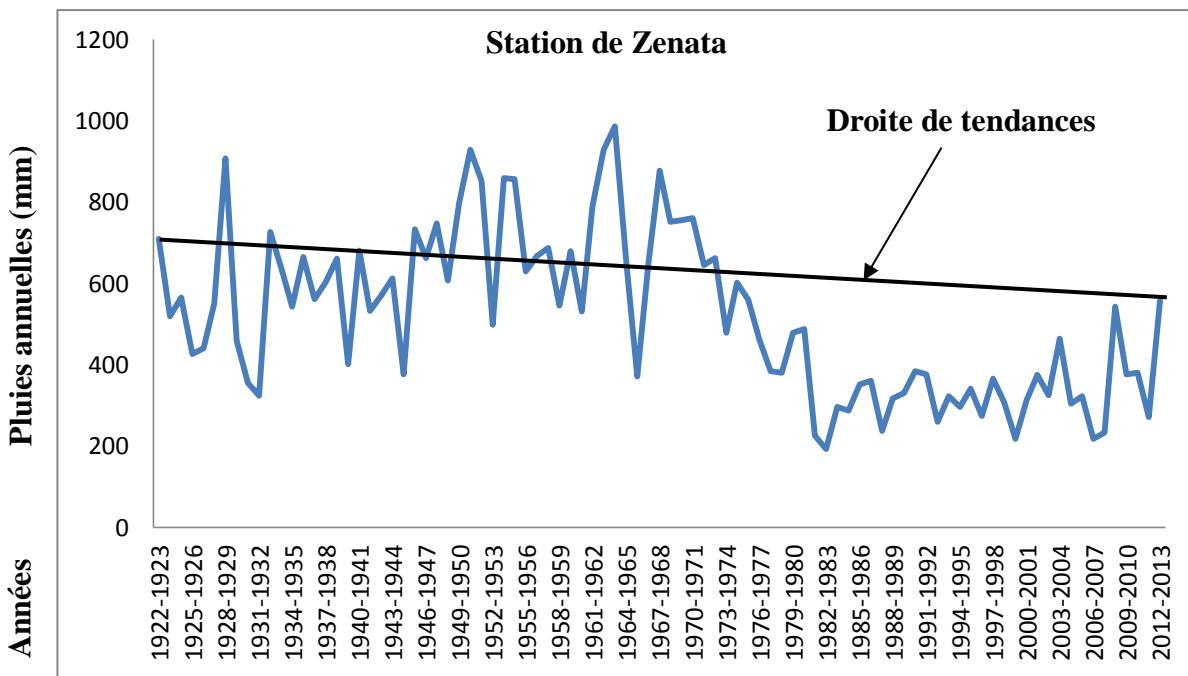
**Tableau 3. 7 - Segmentation de HUBERT pour la station de Zenata (1922-23 / 2012-13)**

Début	Fin	Moyenne (mm)	Ecart-type (mm)	Coef. de variation (%)
1922	1943	551	137	24,9
1944	1970	721	143	19,8
1971	1979	500	94	18,8
1980	2011	326	84	25,8

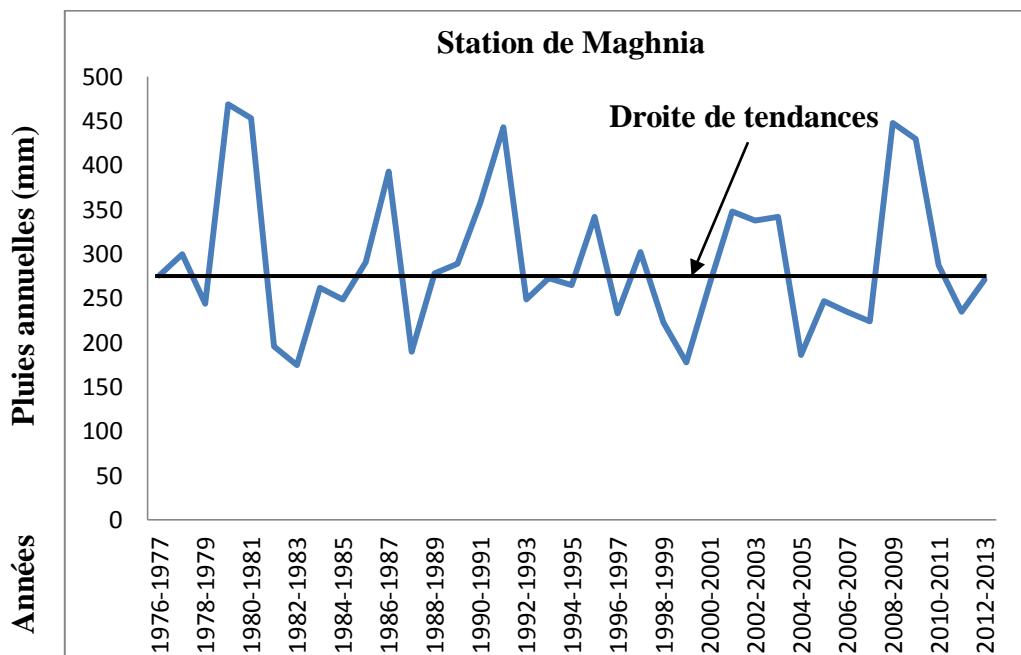
### Analyse des résultats

La date de rupture met en évidence l'effet du changement du régime pluviométrique sur l'évolution dans le temps des pluies. En plus, une diminution dans les totaux précipités a été réellement observée dès la décennie 1970. Les tests utilisés et les résultats trouvés confirment cette tendance. Ces résultats sont en conformité avec les conclusions du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC 2001 ; 2007). Ainsi qu'avec les conclusions du rapport régional des Nations unies sur le changement en Afrique du Nord.

La variabilité des pluies des deux stations (Zenata et Maghnia) ainsi que la tendance linéaire (figure 3. 4.) montre également cette évolution négative dans le temps surtout depuis la décennie 1970.



**Figure 3.4 - Variabilité des précipitations annuelles et droite linéaire de tendance pour la station de Zenata (1922-23 / 2012-13).**



**Figure 3.5 - Variabilité des précipitations annuelles et droite linéaire de tendance pour la station de Maghnia (1976-77 / 2012-13).**

### **- Discussion générale des résultats**

Durant les dernières décennies, l'Algérie est confrontée au phénomène de la réduction des précipitations totales en général et plus spécialement au niveau du centre et de l'ouest du pays. L'agriculture est soumise depuis, à l'instar des autres domaines utilisateurs des ressources en eau, à de fortes contraintes pluviométriques liées à la variabilité temporelle et spatiale des précipitations et à la réduction de la durée de la saison humide.

Il apparaît d'une façon générale une tendance à la hausse couvrant les années 1930 et 1950. La baisse de la pluviométrie était en revanche marquée pendant le début des années 1940 et le milieu des années 1970. La fluctuation la plus brutale et la plus significative (au sens statistique du terme) est observée autour des années (1975) pour la station de Zenata et de (1980) relative à la station de Maghnia, au cours desquelles on note une diminution généralement assez importante de la pluviométrie annuelle. Cette période déficitaire se caractérise depuis lors par son intensité et sa durée. Cette réduction s'élève à plus de 46,6 % dans la région de Zenata et elle est de l'ordre de 35,8 % pour la plaine de Maghnia.

L'étude des précipitations est très importante, car en région méditerranéenne, le principal facteur limitant est l'eau bien qu'il ne soit pas le seul. En agriculture, les précipitations représentent la seule source hydrique pour les cultures dites sèches.

Le régime pluvial joue un rôle essentiel sur les rythmes de développement des plantes cultivées et leur abondance ainsi que sur les activités rurales. L'effet de la sécheresse sur le blé est bien connu par les céréaliculteurs de la région qui sont arrivés à prédire de façon empirique la quantité des moissons en observant simplement le régime pluvial durant l'année agricole (KAZI TANI, 2011).

Au niveau de notre région d'étude, les terres agricoles reçoivent des quantités d'eau qui ne sont pas assez appréciables pour bien couvrir le cycle des cultures mis en place. Ces quantités oscillent entre 200 et 550 mm dans la région de Zenata et de 200 à 450 mm au niveau de la plaine de Maghnia. Ici, contrairement aux régions littorales et sub-littorales, les pluies sont plutôt tardives et les mois de Février et Mars sont les plus arrosés. Le régime saisonnier des précipitations est donc du type H.P.A.E ou bien P.H.A.E selon que les pluies sont plus importantes en hiver ou plus importantes au printemps (KAZI TANI, 2011).

### 3. RÉGIME THERMIQUE

Beaucoup plus que l'importance des précipitations, la température est un facteur de différenciation écologique de premier ordre ; les plantes présentent des adaptations très variées aux régions thermiques (KAZI TANI, 2011).

La température est utilisée en phyto-climatologie pour prendre en compte de l'apport d'énergie à la végétation à défaut des observations du rayonnement (HALIMI, 1980). Elle joue un rôle très important puisqu'elle indique la condition du passage de la chaleur d'une substance à une autre. C'est également un facteur qui affecte la disponibilité de l'énergie et c'est grâce aux degrés-jours que la végétation manifeste son rythme biologique.

Les données thermiques utilisées dans ce présent travail, sont issues des enregistrements de l'archivage de l'office national de la météorologie (ONM), pour les périodes de 1976-2013 et de 1976-2013 respectivement relatives aux stations de Zenata et de Maghnia. Ainsi qu'une période moyenne antérieure commune entre les deux stations allant de 1931 à 1960.

#### 3. 1. Critique des données

Les périodes retenues pour les deux stations sont issues des années d'observations dites civiles, elles sont assez proches de la normale. SELTZER a publié en 1948 dans ses recherches dans le climat de l'Algérie, les moyennes des températures de 25 ans (1913-1938) des stations de Zenata et de Maghnia, (BENMOUSSAT, 2004).

Cette période est nettement antérieure à celles que nous avons retenues. Le tableau suivant donne la comparaison des moyennes mensuelles de températures à Zenata et Maghnia de trois périodes différentes afin de relever l'évolution de la température au niveau de la région d'étude : 1913-1938 de SELTZER, 1931-1960 et 1976-2013 de l'ONM (Tableau 3. 8).

**Tableau 3. 8 – Comparaison des moyennes mensuelles des températures (°C)  
à Zenata et Maghnia de trois périodes différentes 1913-1938, 1931-1960 et 1976-2013.**

Mois	Zenata			Maghnia		
	Selon SELTZER	Selon l'ONM	Selon l'ONM	Selon SELTZER	Selon l'ONM	Selon l'ONM
	1913-1938	1931-1960	1976-2013	1913-1938	1931-1960	1976-2013
Janvier	9,9	9,9	10,8	9,0	8,9	9,4
Février	10,0	11,5	11,7	10,2	10,6	10,6
Mars	10,5	13,1	13,8	12,2	12,4	13,2
Avril	13,0	15,3	15,7	14,7	14,2	15,2
Mai	15,0	17,6	18,8	18,1	16,6	18,4
Juin	21,0	22,2	22,8	21,7	21,6	23,1
Juillet	24,0	25,1	26,0	25,9	24,8	26,7
Aout	26,0	25,2	26,7	26,4	24,8	26,9
Septembre	21,5	23,8	23,7	22,9	22,2	23,3
Octobre	17,0	19,4	19,8	18,1	17,4	21,4
Novembre	13,0	15,2	15,3	12,9	12,8	14,0
Décembre	10,0	11,3	12,1	9,8	10,5	10,5
Année	15,9	17,5	18,1	16,8	16,4	17,7

Pour voir dans quelle mesure les résultats ne sont pas faussés par une erreur systématique, il est intéressant de comparer les moyennes observées au cours des trois périodes différentes :

1) Les moyennes des températures mensuelles de la nouvelle période (1976-2013) sont plus élevées que la période établit par SELTZER (1913-1938) ou celle relative à l'ONM, ceci est valable pour les deux stations.

2) L'élévation de la température de la nouvelle période par rapport aux anciennes périodes est assez remarquable surtout pour la station de Zenata. En effet, la moyenne annuelle était de 15,9°C entre 1913 et 1938 et à subit une hausse de 2,2°C pour atteindre les 18,1°C relative à la période récente. Pour la station de Maghnia, elle a connu une légère baisse au niveau de la seconde période, puis l'élévation est redevenue significative avec une augmentation de 1,3°C de la température moyenne annuelle.

3) Pour les températures moyennes les plus élevées, elles se situent au mois d'Août. Elles sont de 26,7 °C à Zenata et 26,4°C à Maghnia pour l'ancienne période (1913-1938), et de l'ordre de 26,7 °C à Zenata et 26,9°C à Maghnia pour la nouvelle période (1976-2013). Alors que le mois de Janvier reste le plus froid marqué par ses températures moyennes mensuelles les plus basses pour les trois périodes et au niveau des deux stations.

De ce fait, il semble qu'il y a un changement climatique significatif affectant cette nouvelle période qui a été réellement observé à partir de la fin des années 1970 et la poursuite de celui-ci jusqu'à nos jours. Ces résultats sont en conformité avec les conclusions du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat de GIEC (2001) et GIEC (2007), ainsi qu'avec les conclusions du rapport régional des Nations unies sur le changement climatique en Afrique du Nord.

### **3. 2. Répartition des températures**

#### **3. 2. 1. Les extrêmes mensuels**

L'étude des températures extrêmes, c'est-à-dire la moyenne des maximas et des minimas, ainsi que les maximas et les minimas absolu (la température la plus élevée et la plus basse du mois) sont illustrées par les courbes des figures 3. 7. ; 3. 8. ; 3. 9. ; 3. 10.

Le tableau 3. 19. porte les maximas, les minimas, les moyennes vraies (calculées à partir des températures relevées toutes les trois heures, et les amplitudes en plus des écarts-types. Les courbes ont été tracées d'après ce tableau pour les deux stations (Zenata et Maghnia) qui représentent la région d'étude.

##### **3. 2. 1. 1. Température maximale moyenne**

Dans les deux stations précitées les maxima moyens atteignent leurs plus fortes valeurs soit en juillet soit en août, mais la courbe de la figure 3. 7. Présente un net aplatissement estival qui doit être mis en rapport avec la constance de la radiation globale au cours de l'été.

Cependant, si on considère les valeurs des maximas moyens, année par année, on s'aperçoit que cette haute valeur ne se produit pas chaque fois tous les ans au même mois pour la même station. Par exemple : les observations à la station de Zenata montrent que la haute valeur des maximas moyens mensuels durant toute l'année 2013 était de 34,8 °C pour le mois d'août et de 33,3 °C pour le mois de juillet ; par contre pour l'année 2009, à la même station, elle a été de 37,2 °C pour le mois de juillet et de 34 °C pour le mois d'août.

**Tableau 3. 9 - Moyennes mensuelles des températures (1976-2013)**

Station	Var.	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Ann.
Zenata	Min	5,2	6,1	7,6	9,3	12,3	16,0	19,0	19,8	17,0	13,5	9,5	6,8	11,8
	Max	16,3	17,3	19,6	21,7	24,7	29,0	32,6	33,3	29,8	27,5	20,5	17,5	24,2
	Moy	10,8	11,7	13,6	15,5	18,5	22,5	25,8	26,6	23,4	20,5	15,0	12,2	18,0
	$\delta$	2,0	1,5	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,7	1,4	1,4	1,7	1,4
	$\delta'$	1,5	1,8	1,7	2,0	1,8	1,8	1,6	1,7	1,4	2,0	1,8	1,5	1,7
	Amp	11,1	11,2	12,0	12,4	12,4	13,0	13,6	13,5	12,8	14,0	11,0	10,7	12,4
Maghnia	Min	3,8	5,4	6,7	8,6	11,5	15,5	18,2	19,0	16,0	12,2	8,3	5,7	10,9
	Max	15,9	17,1	19,5	21,8	25,3	30,1	34,1	34,3	30,1	25,6	20,1	17,1	24,3
	Moy	9,9	11,3	13,1	15,2	18,4	22,8	26,2	26,7	23,1	18,9	14,2	11,4	17,6
	$\delta$	1,8	1,9	1,0	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0	1,2	1,7	1,6	2,0	1,4
	$\delta'$	1,4	1,9	1,4	1,7	2,1	2,1	1,7	1,7	1,5	2,3	2,1	1,9	1,8
	Amp	12,1	11,7	12,8	13,2	13,8	14,6	15,9	15,3	14,1	13,4	11,8	11,4	13,4

Avec : Min = minimum ; Max = maximum ; Moy = moyenne =  $(\text{Min} + \text{Max}) / 2$ .

$\delta$  = écart-type des minimum ;  $\delta'$  = écart type des maximums ; Amp = amplitude.

Grâce à la proximité de la mer et l'altitude de la station de Zenata, les amplitudes de la variation des maxima moyens sont sensiblement plus faibles par rapport à ceux enregistrés au niveau de la station de Maghnia.

### 3. 2. 1. 2. Température maximale absolue

A première vue, suivant la figure 3. 7 on remarque que les valeurs des maxima absolus sont sensiblement plus fortes à la plaine de Maghnia qu'à la région de Zenata, ceci est dû à l'effet du sirocco provenant du sud que peut subir la région de Maghnia par opposition à la station de Zenata qui est moins influencée par ces vents chauds. Il est cependant certain que la situation topographique de chaque station entre en ligne de compte dans les extrêmes de température.

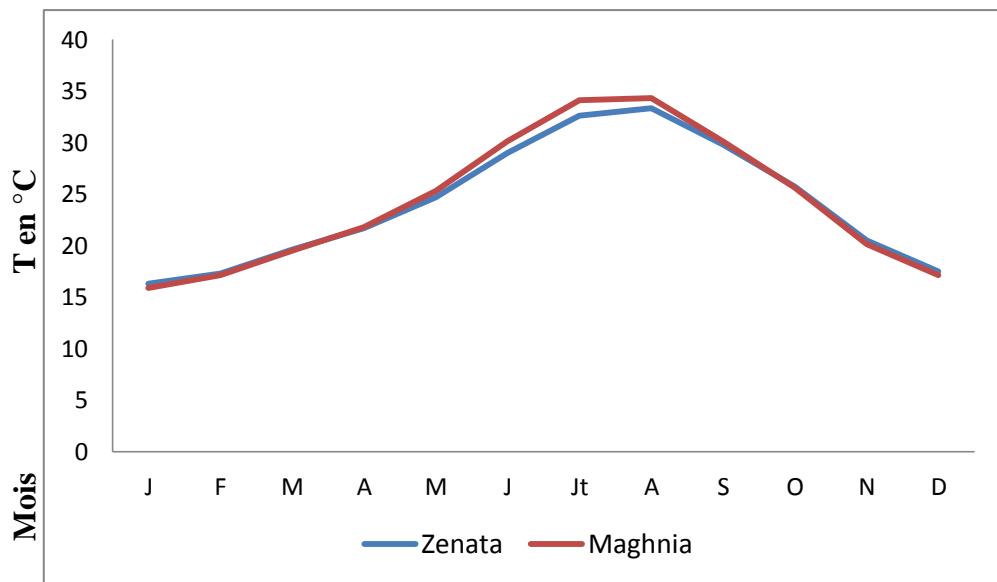


Figure 3.6 – Moyenne mensuelle des températures maximales (1976-2013)

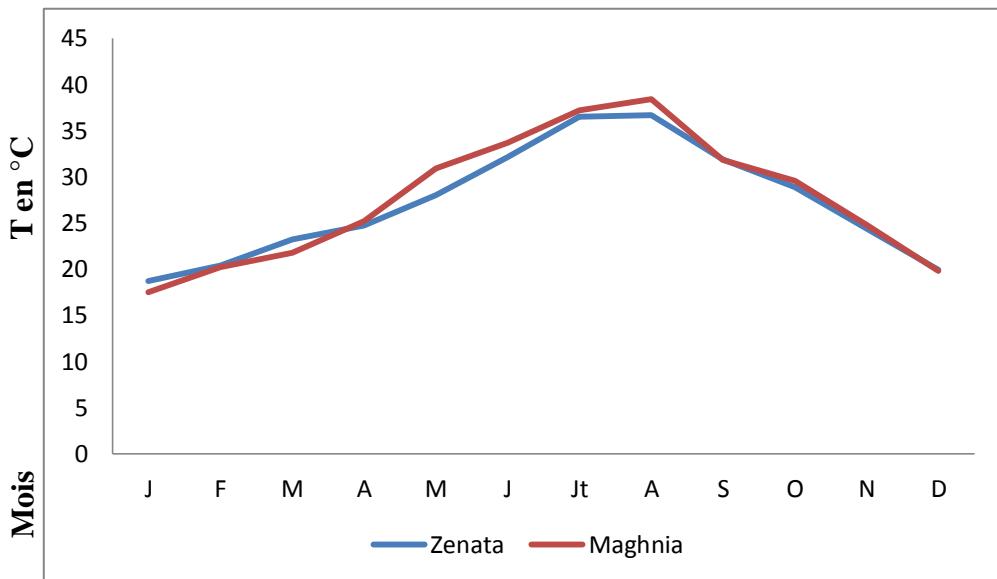


Figure 3.7 – Valeurs mensuelles de la température des maxima absolus (1976-2013)

### 3.2.1.3. Température minimale moyenne

Le minimum des minimas moyen se situe en mois de Janvier pour les deux stations de la région d'étude. Les valeurs les plus élevées passent entre juin-août, particulièrement en aout dans les deux stations. Les courbes de la figure 3.8. montrent l'effet de l'altitude qui contribue à rendre les températures de la station de Maghnia sensiblement plus froides à celles de Zenata. Par ailleurs, l'effet de l'éloignement de la mer contribue à l'accroissement de l'amplitude des minima moyens de la station de Maghnia par rapport à ceux de Zenata.

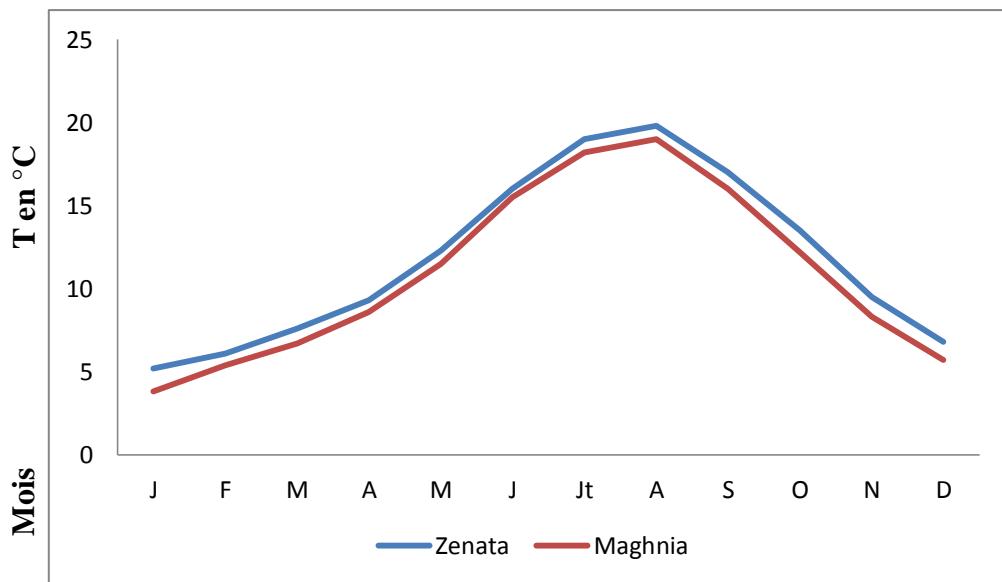


Figure 3.8 – Moyenne mensuelle des températures minimales (1976-2013)

### 3. 2. 1. 4. Température minimale absolue

Les extrêmes du minimum absolu pour la région d'étude varient entre -0,4 °C et +17,9 °C. Sur la figure 3.9. Il apparaît que les valeurs les plus extrêmes des minima absolues sont enregistrées à la station de Maghnia. Par ailleurs, pour les deux stations, on remarque que les valeurs les plus basses se situent d'une façon générale entre janvier et mars et les valeurs les plus hautes se situent entre juillet et août.

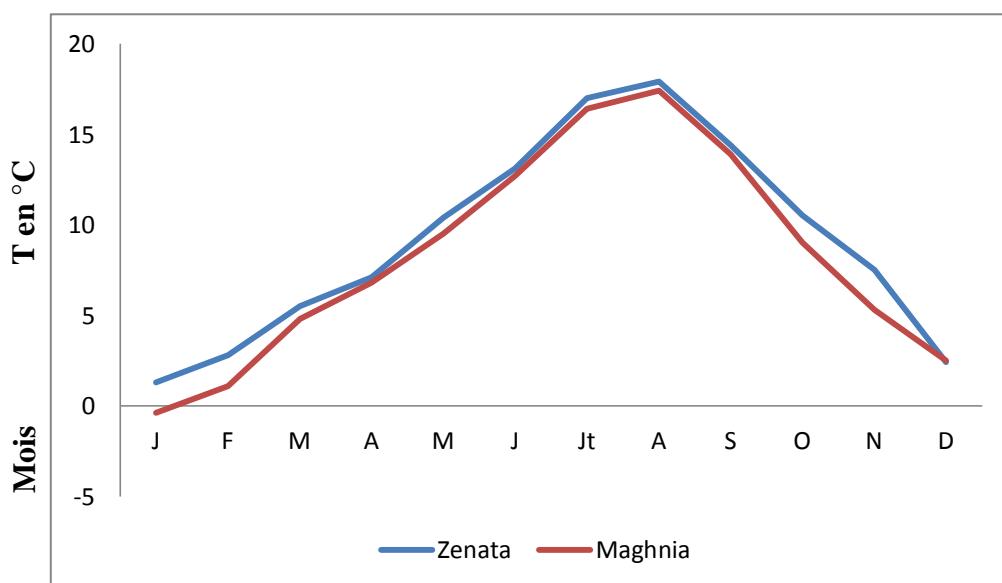


Figure 3.9 – Valeurs mensuelles de la température des minima absolus (1976-2013)

### 3. 2. 2. Température moyenne annuelle

Les températures moyennes vraies mensuelles s'obtiennent selon différentes méthodes, (HALIMI, 1980) en particulier :

1. La méthode de planimétrage et de sommation des températures horaires en dépouillant les diagrammes des thermographes à rotation quotidienne ou hebdomadaire.
2. La méthode de la sommation des extrêmes (moyenne des maxima plus la moyenne des minima) et du calcul de leur moyenne arithmétique, c'est-à-dire la demi-somme des deux moyennes des extrêmes.

La première méthode est très longue dans ses calculs, aussi elle nécessite patience et instrument automatique (thermographe). De ce fait, elle sert surtout à l'étude des microclimats, ou bien à des analyses très détaillées des températures qui s'effectuent normalement soit dans les laboratoires, soit dans les endroits destinés à des fins particulières.

En pratique la deuxième méthode est plus usuelle en climatologie ; nous l'avons adopté dans notre étude. Alors les températures moyennes vraies mensuelles dans notre région d'étude ont été calculées à partir des températures extrêmes des observations de l'ONM.

Les graphiques de la figure 3. 10. Montrent que le minimum se situe en mois de janvier pour les deux stations, on voit aussi que la différence de la température entre janvier et décembre est faible ; par ailleurs, le maximum a lieu entre juillet et août.

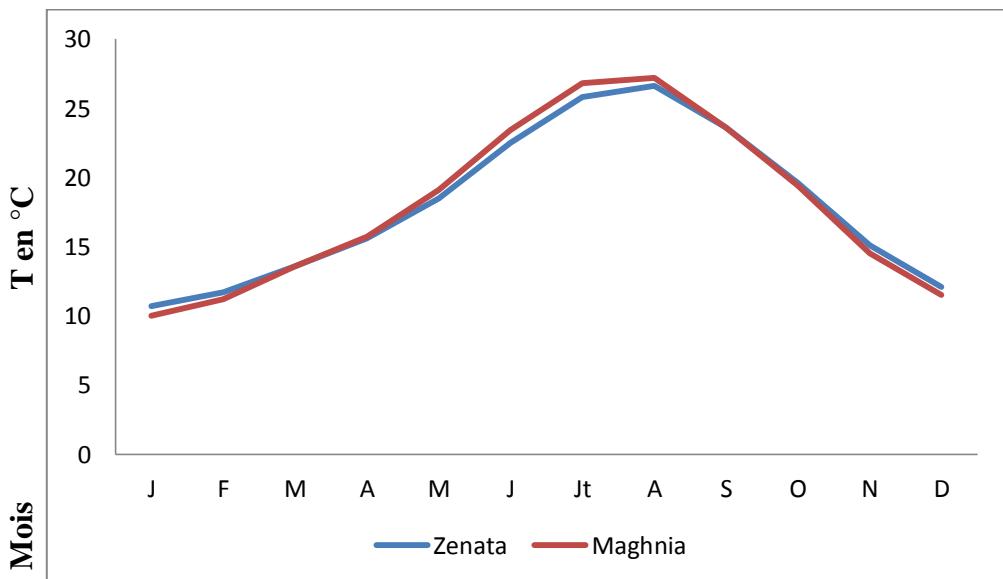


Figure 3. 10 – Températures moyennes mensuelles (1976-2013)

### 3. 2. 3. Température annuelle

C'est la moyenne des moyennes mensuelles qui peuvent être les moyennes des extrêmes ou les moyennes des moyennes vraies. Nous n'aborderons ici que ces dernières, c'est-à-dire la température moyenne annuelle calculée à partir des températures moyennes vraies mensuelles.

Le tableau 3. 10. porte les résultats de calculs pour la période (1976-2013). Il montre que pour les deux stations de la région d'étude, la température moyenne est de Novembre à Avril inférieure la moyenne annuelle ; de Mai à Octobre supérieure à la moyenne annuelle. Ceci permet de diviser l'année en deux semestres : l'hiver ou semestre froid, l'été ou semestre chaud, et chaque semestre correspond à l'une des deux périodes précitées ci-dessus.

### 3. 3. Variabilité des températures moyennes mensuelles

Les valeurs centrales de température maximum, minimum, moyenne vraie ainsi que les nombres que l'on en déduit comme l'amplitude par exemple, ne suffisent pas à caractériser le climat d'une région au point de vue de la température de l'air. Mais, il importe également de voir de combien une température individuelle ou une moyenne mensuelle peut différer de la moyenne générale correspondante. C'est-à-dire que le climat d'une région peut être également caractérisé à l'aide de l'étude des dispersions (HALIMI, 1980). A cet effet, nous avons employé la méthode de l'écart médian ou écart probable «  $e$  » qui est la médiane des écarts pris en valeur absolue et mesurés à partir d'une valeur centrale, ou tout simplement l'écart à la valeur centrale de la série qui a une chance sur deux d'être dépassée en valeur absolue. Cet écart est calculé à l'aide de la formule suivante (HALIMI, 1980) :  $e = +/- 0,6745 \delta = 2/3 \delta$ .  $e$  = écart probable (dans une distribution normale de 50 % des observations sont comprises entre la moyenne qui est la valeur centrale plus ou moins  $0,6745 \delta$ ).

$\delta$  = écart-type de la série par rapport à la moyenne.

Une valeur faible de «  $e$  » indique que les différentes moyennes mensuelles s'écartent peu de leur moyenne générale, et inversement. Donc «  $e$  » est une mesure de la variabilité de la température entre les mois des années successives ; c'est une caractéristique du climat qui est naturellement d'autant mieux déterminée qu'elle est déduite d'une plus longue série d'observations.

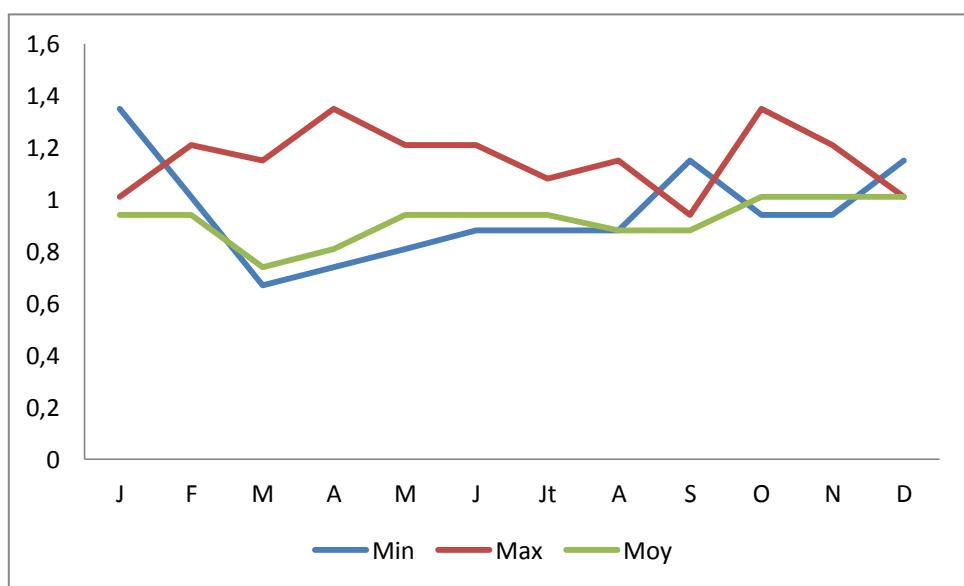
Le tableau 3. 10. Porte les résultats des calculs de l'écart médian des températures moyennes mensuelles : maxima, minima, moyennes vraies d'une période de 37 ans (1976-2013) pour les deux stations de Zenata et Maghnia.

**Tableau 3. 10 – Ecart-médian des températures moyennes mensuelles et annuelles (1976-2013)**

Station	Par.	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Ann.
Zenata	Min	1,35	1,01	0,67	0,74	0,81	0,88	0,88	0,88	1,15	0,94	0,94	1,15	0,94
	Max	1,01	1,21	1,15	1,35	1,21	1,21	1,08	1,15	0,94	1,35	1,21	1,01	1,15
	Moy	0,94	0,94	0,74	0,81	0,94	0,94	0,94	0,88	0,88	1,01	1,01	1,01	0,94
Maghnia	Min	1,21	1,28	0,67	0,94	0,81	0,81	0,81	0,67	0,81	1,15	1,08	1,35	0,94
	Max	0,94	1,28	0,94	1,15	1,42	1,42	1,15	1,15	1,01	1,55	1,42	1,28	1,21
	Moy	0,94	1,21	0,74	1,01	1,21	1,35	1,42	1,08	0,94	1,21	1,21	1,15	1,01

Ces résultats ont été représentés à l'aide des courbes des figures 3. 9. et 3. 10. En comparant entre elles, les 6 courbes relatives à la même période, on peut faire les remarques suivantes :

- 1) L'écart-médian dans les deux stations est faible en été, fort en hiver.
- 2) Les variations annuelles sont très irrégulières dans les deux stations
- 3) Les pointes de variation correspondent presque souvent aux périodes de transition des saisons : la pointe de février correspond à la période de transition entre l'hiver et le printemps, la pointe de septembre correspond à la période de transition entre l'été et l'automne.
- 4) L'analogie entre les courbes des deux stations n'est pas assez forte.



**Figure 3. 11 – Variations mensuelles de l'écart-médian pour la station de Zenata**



**Figure 3. 12 – Variations mensuelles de l'écart-médian pour la station de Maghnia**

#### 4. CONCLUSION

La pluviométrie de la région d'étude se caractérise par son irrégularité qui n'est pas sans n'avoir de conséquences graves pour l'agriculture, l'excès de pluie d'automne retarde et compromet la mise en place des cultures. Le déficit des pluies est, quant à lui, préjudiciable surtout vis-à-vis des céréales de leur épiaison précoce, responsable de rendements très médiocres. Les pluies au niveau des hautes plaines intérieures sont d'environ deux mois plus tardifs qu'au niveau des plaines littorales et sub-littorales (KAZI TANI, 2011).

La période hivernale reste marquée dans la plupart du territoire par des températures relativement clémentes, de ce fait, l'arrêt de la végétation y est peu marqué pour de nombreuses plantes d'automne et même pour les espèces pérennes, la pousse étant presque continue durant toute la période de pluies (KAZI TANI, 2011). Par ailleurs, on constate que nos résultats sont conformes avec ceux de DAGET (1977) qui définit l'été dans un climat méditerranéen, comme la saison la plus chaude et la moins arrosée et qu'il la représente par les mois de Juin, Juillet, et Août.

## CHAPITRE IV

---

# **Climat et prévision saisonnière en agriculture**

---

## CHAPITRE IV

### CLIMAT ET PRÉVISION SAISONNIÈRE POUR L'AGRICULTURE

#### **1. INTRODUCTION**

Réduire l'insécurité alimentaire est un enjeu majeur pour le futur de l'Algérie où l'augmentation de la population et les retombées potentiellement négatives du changement climatique des dernières années menacent l'équilibre fragile du pays. Dans le domaine de l'agriculture, être en mesure d'anticiper les fluctuations climatiques quelques jours à quelques mois à l'avance peut faire une vraie différence dans les stratégies d'adaptation des techniques agricoles face à ces changements. L'information et la prévision climatique sont en mesure d'accompagner une nécessaire augmentation des rendements agricoles pour orienter les choix tactiques (à court terme comme le choix de la variété, date de semis) et/ou stratégiques (à plus long terme comme le choix du système de culture) (SULTAN *et al.*, 2013).

#### **2. ÉTUDE DE LA PERSISTANCE DE LA SÉCHERESSE**

##### **2. 1. Définition de la sécheresse**

La sécheresse se définit par un déficit des disponibilités en eau par rapport à une situation considérée comme normale pour une période donnée et une région déterminée. En réalité, il existe différents types de sécheresse (BENZARTI & HABAIEB, 2001) :

- la sécheresse climatologique essentiellement liée au déficit pluviométrique ;
- la sécheresse agronomique qui fait appel au déficit de la réserve hydrique du sol et à l'état d'avancement de la végétation ;
- la sécheresse hydrologique ou hydrogéologique qui se manifeste par des étiages anormaux et un abaissement prononcé des nappes.

Sous le climat méditerranéen, la sécheresse est récurrente, omniprésente en raison de températures élevées et d'une pluviométrie modeste et surtout très variable (HENIA, 1993 in MEDDI & MEDDI, 2009b). Le niveau du déficit hydrique à partir duquel on peut dire qu'il y a sécheresse a constitué souvent une difficulté pour les chercheurs. Certains auteurs, qui ont étudié la sécheresse à partir de données climatiques, suggèrent des seuils arbitraires de pluviométrie : 10 % de la moyenne (LE GOFF, 1985) ou le dernier décile (MEKO, 1985).

A partir de ce constat, le déficit hydrique de ces trois dernières décennies a affecté négativement la production agricole ainsi que les réserves superficielles et souterraines en eau. Ce qui a posé de nombreux problèmes d'ordre socioéconomiques, spécialement à l'agriculture dans les plaines notamment celle de Maghnia, connue pour la fertilité de ses terres et l'importance de sa production agricole. Pour continuer à produire, les paysans ont eu recours à une utilisation excessive des eaux souterraines, ce qui a provoqué une baisse considérable du niveau des nappes d'eau souterraines (MEDDI & MEDDI, 2009a).

Pour estimer l'intensité du déficit pluviométrique, plusieurs indices ont été déjà mentionnés ; la plupart de ces indices prennent généralement comme référence la moyenne climatologique. L'une des caractéristiques principales de la pluviométrie, dans la région d'étude, est sa grande variabilité interannuelle. La sécheresse peut être considérée à différentes échelles : mensuelle, saisonnière et annuelle. Ces conséquences sont vivement ressenties dès qu'elle persiste deux ou trois années successives. C'est pour cela que nous avons choisi d'axer notre étude sur la persistance de la sécheresse à l'échelle annuelle.

Pour déterminer le seuil de sécheresse, notre choix s'est porté sur la méthode des quintiles (méthode de l'analyse fréquentielle). Les quintiles, notés par  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  et  $V_4$ , divisent une série statistique ordonnée en 5 groupes égaux comprenant chacun 20% des données de la série. On dit que :

- 1) 20 % des données sont inférieures à  $V_1$
- 2) 40 % des données sont inférieures à  $V_2$
- 3) 60 % des données sont inférieures à  $V_3$
- 4) 80 % des données sont inférieures à  $V_4$

Cette méthode tient compte de la loi de distribution de l'échantillon. La distribution statistique des pluies annuelles présente une nette dissymétrie positive. Après plusieurs essais, nous avons trouvé que la loi racine normale donne le meilleur ajustement (LABORDE, 1993 ; CHAUMONT & PAQUIN, 1975). Les seuils calculés par la méthode des quintiles pour la période allant de 1922-23 à 2012-13 sont regroupés dans le tableau 4. 1. Cette méthode, indépendante des valeurs centrales (moyennes ou médianes), est fondée sur un classement des valeurs des plus faibles vers les plus fortes, des années les plus sèches aux années les plus humides, les années du milieu étant considérées comme années normales.

**Tableau 4. 1 - Seuils en millimètres des années sèches, très sèches, humides et très humides ; par la méthode des quintiles.**

Station	Période d'étude	Années très sèches	Années sèches	Années normales	Années humides	Années très humides
Zenata	1853-54 / 1896-97	486	560	560 < X < 645	645	733
	1922-23/2012-13	323	401	401 < X < 560	560	679
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	256	333	323 < X < 389	389	470
	1976-77/2012-13	224	249	249 < X < 278	278	342

Une répartition quasiment équitable attribue 40 % des valeurs aux années extrêmes (sèches ou humides) et 20 % aux années normales. La distinction des classes se présente ainsi :

- les années dont la quintile  $V_2$  est inférieure à 40 % correspondent aux années sèches (parmi lesquelles on peut distinguer les années très sèches, dont la quintile  $V_1$  est inférieure à 20 %) ;
- les années dont la quintile  $V_3$  est comprise entre 40 % et 60 % sont considérées comme années normales ;
- les années dont la quintile  $V_4$  dépasse 60 % correspondent aux années humides (celles dont la quintile est supérieure à 80 % sont considérées comme des années très humides).

La méthode est simple et nous l'avons simplifiée davantage en ne considérant que les années sèches de quintile inférieure à 40 % et les années non sèches pour le reste des années. De ce fait, les seuils de sécheresse calculés par la méthode des quintiles pour les deux stations de Zenata et de Maghnia sont regroupés dans le tableau 4. 2. Sachant que pour la période allant de 1930 à 2003 (\*) relatives à la station de Maghnia, nous avons établi ces résultats à partir des travaux de MEDDI & MEDDI (2009a).

**Tableau 4. 2 - Seuils en mm des années et des saisons sèches (1922-23 /2012-13)**

Station	Période d'étude	Seuil annuel	Seuil d'Automne	Seuil d'Hiver	Seuil de Printemps
Zenata	1853-54 / 1896-97	560	32	69	78
	1922-23 / 2012-13	401	32	52	43
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	333	63	115	112
	1976-77 / 2012-13	249	19	27	25

## 2. 2. Présentation des chaines de MARKOV

Une séquence dans laquelle l'état à un moment donné est partiellement dépendant de l'état précédent est considérée comme chaîne de MARKOV, ainsi dénommée en référence au statisticien russe A. A. MARKOV. Une séquence ayant des propriétés markoviennes est un intermédiaire entre une séquence de type déterministe et celle de type aléatoire (CALOZ & COLLET, 2011). Nous pouvons donc imaginer le potentiel d'une telle méthode dans le cadre d'une approche prévisionnelle ; mais son application exige tout d'abord une phase d'analyse de succession des états dans une période passée mesurable.

La méthode s'applique à décrire le comportement évolutif d'une seule variable, (pour notre cas les précipitations), sur la base d'une série temporelle ; elle traite de variable à l'échelle nominale. Il s'agit précisément d'évaluer la probabilité de transition d'un état à un autre, à l'aide de la matrice de probabilité de transition. Celle-ci fournit ainsi des informations sur la probabilité de transition d'un état A à un état B en fonction de la probabilité d'apparition du premier état. Il s'agit donc d'une probabilité conditionnelle.

Les chaînes de MARKOV se construisent à partir de la matrice de probabilité de transition ; elles rendent compte, de manière plus fouillée, la configuration de ces successions d'états ; elles permettent les opérations suivantes (CALOZ & COLLET, 2011) :

- Estimer la probabilité d'apparition de chacun des états à partir d'un état original donné, ceci après un nombre spécifique  $n$  de successions, de pas, dans la séquence.
- Estimer la probabilité d'apparition de chaque état intermédiaire dans une séquence composée de  $n$  pas.
- Comparer les probabilités de transition d'une séquence observée avec celle d'un modèle de référence particulier : aléatoire, uniforme, spécifique

Dans notre étude l'application de l'analyse de MARKOV permet de déterminer ou de prévoir la probabilité d'avoir une année sèche après une année sèche ou non. Elle tient compte de la liaison entre les années successives ; en effet la pluie de l'année  $k$  dépend de l'état des années passées. Ce modèle sera du premier ordre si la pluie de l'année  $k$  ne dépend que de l'année précédente, c'est-à-dire du passé le plus proche de l'état. Il sera d'ordre  $h$  si la pluie de l'année  $k$  dépend des  $k - 1, k - 2, \dots, k - h$  années passées. Le modèle des chaînes de Markov est un modèle stochastique, itératif.

L'intérêt pratique de l'analyse prévisionnelle de Markov en agronomie réside dans le choix des cultures, des traitements, des façons culturales et le calcul des risques pathologiques des cultures.

Ce processus exprime des probabilités conditionnelles de passage de l'état de la veille (année précédente) à l'état de l'année en cours. Ainsi l'état de l'année  $k$  ne dépend que de l'état de l'année  $k - 1$  pour le processus de Markov d'ordre 1. Il dépend des états  $k - 1$  et  $k - 2$  pour le processus de Markov d'ordre 2.

Une année peut être caractérisée du point de vue pluviométrique par deux états :

- état 0 : présence de la sécheresse (années sèche ou très sèche).
- état 1 : absence de la sécheresse (années normale, humide et très humide).

• Processus de Markov d'ordre 1 : Pour le processus de Markov d'ordre 1, quatre situations sont possibles (BENZARTI & HABAIEB, 2001) à savoir :

- S-S (deux années sèches successives) ;
- S-NS (une année sèche suivie d'une année non sèche) ;
- NS-S (une année non sèche suivie d'une année sèche) ;
- NS-NS (deux années non sèches successives).

• Processus de Markov d'ordre 2 : Dans ce cas, l'état de l'année  $k$  dépend de l'état de l'année  $k - 1$  et de l'année  $k - 2$  (BENZARTI & HABAIEB, 2001). A ce niveau, 8 situations sont possibles à savoir :

- S-S-S (trois années sèches successives) ;
- S-S-NS (deux années sèches successives) ;
- NS-S-S (deux années sèches successives) ;
- NS-S-NS (une année sèche isolée).
- NS-NS-NS (trois années non sèches successives) ;
- NS-NS-S (deux années non sèches successives) ;
- S-NS-NS (deux années non sèches successives) ;
- S-NS-S (une année non sèche isolée).

### **2. 3. Application des chaines de Markov et résultats : Echelle annuelle et saisonnière**

• Processus de Markov d'ordre 1 : La matrice de Markov d'ordre 1 pour l'échelle Annuelle et saisonnière a été calculée. Les résultats sont indiqués dans les tableaux 4. / 6. 10. 14. 18.

Les matrices de fréquences (de transition et relatives) ainsi que les matrices de proportion de transition sont calculés pour les périodes (1853-54 / 1896-97) et (1922-23 / 2012-13) pour la station de Zenata. Ainsi que la période de (1976-77 à 2012-13) pour la station de Maghnia. Alors que la première période de 1930-31 à 2003-04 spécifique à la station de Maghnia est issue des Travaux de MEDDI & MEDDI (2009a).

**Tableaux 4. 3 – Matrices de fréquence de transition produite à partir des séries temporelles hypothétiques des mesures relatives aux stations de Zenata et de Maghnia**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S	10	8	18	S	28	8	36	S	5	9	14
NS	7	18	25	NS	8	46	54	NS	9	13	22
Total	17	26	43	Total	36	54	90	Total	14	22	36

A partir de ces séries, il est possible de construire des matrices de fréquence de transition de taille  $2 \times 2$  qui résument le nombre de fois qu'un état donné est suivi d'un autre. Ces séries contiennent respectivement 44, 91 et 37 mesures successives, donc 43, 90, 36 transitions ( $n - 1$ ). Il faut noter que dans ces matrices de fréquence, deux totaux en ligne et en colonne diffèrent car la série débute et se termine par des états différents ; dans le cas contraire, ces totaux sont identiques. On peut ensuite dériver les matrices de fréquence relative de transition ainsi que celle de proportion de transitions comme présentés aux tableaux 5. 4. et 5. 5.

**Tableaux 4. 4 – Matrices de fréquence relative de transition dérivées des tableaux 4. 3.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S	0,233	0,186	0,419	S	0,311	0,089	0,400	S	0,139	0,250	0,389
NS	0,163	0,419	0,581	NS	0,089	0,511	0,600	NS	0,250	0,361	0,611
Total	0,396	0,604	1	Total	0,400	0,600	1	Total	0,389	0,611	1

**Tableaux 4. 5 – Matrices de proportion de transition dérivées des tableaux 4. 3.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S	0,556	0,444	1,00	S	0,778	0,222	1,00	S	0,357	0,643	1,00
NS	0,280	0,720	1,00	NS	0,148	0,852	1,00	NS	0,409	0,591	1,00

- A partir des tableaux 4. 5. On peut déduire les différentes probabilités pour le processus d'ordre 1 (Annuelle).

- **Échelle Annuelle** : A la suite de l'application de l'hypothèse d'un processus de Markov d'ordre 1, la probabilité, pour les deux stations, varie de 14,8 à 77,8 % pour avoir une année sèche quelle que soit l'année de départ (sèche ou non sèche).

Dans le cas où une année est sèche, la probabilité pour qu'elle soit suivie d'une année sèche est plus élevée à Zenata qu'à Maghnia. La probabilité d'avoir une année sèche après une année non sèche est plus ou moins faible ( $\leq$  à 41 %) pour les deux stations. Si une année est sèche, la probabilité d'avoir une année non sèche l'année suivante est plus importante à Maghnia. Alors que la probabilité d'avoir deux années non sèches successives est élevée pour l'ensemble des périodes des deux stations.

**Tableau 4. 6 - Processus de Markov d'ordre 1 - Annuelle**

Station	Période d'étude	Probabilité (%)			
		S-S	S-NS	NS-S	NS-NS
Zenata	1853-54 / 1896-97	55,6	44,4	28,0	72,0
	1922-23 / 2012-13	77,8	22,2	14,8	85,2
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	54,8	45,2	30,2	67,4
	1976-77 / 2012-13	35,7	64,3	40,9	59,1

- **Échelle Saisonnière :**

+ **Automne** : Le même cheminement a été suivi, ainsi on a pu obtenir les résultats suivants :

**Tableaux 4. 7 – Matrices de fréquence de transition produite à partir des séries temporelles hypothétiques des mesures relatives aux stations de Zenata et de Maghnia**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S	11	7	18	S	15	20	35	S	5	9	14
NS	6	19	25	NS	19	36	55	NS	8	14	22
Total	17	26	43	Total	34	56	90	Total	13	23	36

**Tableaux 4. 8 – Matrices de fréquence relative de transition dérivées des tableaux 4. 7.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S	0,255	0,163	0,418	S	0,167	0,222	0,389	S	0,139	0,250	0,389
NS	0,140	0,442	0,582	NS	0,211	0,400	0,611	NS	0,222	0,389	0,611
Total	0,395	0,605	1	Total	0,378	0,622	1	Total	0,361	0,639	1

**Tableaux 4. 9 – Matrices de proportion de transition dérivées des tableaux 4. 7.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S	0,611	0,389	1,00	S	0,429	0,571	1,00	S	0,357	0,643	1,00
NS	0,240	0,760	1,00	NS	0,345	0,655	1,00	NS	0,364	0,636	1,00

- A partir des tableaux 4. 9. On peut déduire les différentes probabilités pour le processus d'ordre 1 (Automne).

+ **Automne** : Pour la saison d'automne, l'application de l'hypothèse d'un processus de Markov d'ordre 1, a donné les résultats suivants:

- La probabilité, pour avoir un automne sec quelle que soit la nature de cette saison au départ (sèche ou non sèche), est  $\pm$  importante pour les deux stations et varie de 24 à 61,1 %.
- Dans le cas où un automne est sec, la probabilité pour qu'il soit suivi d'un automne sec est plus élevé au niveau de la station de Zenata pour sa première période.
- Pour l'ensemble des stations, la probabilité d'avoir un automne sec après un automne non sec est faible.
- Si un automne est sec au départ, la probabilité d'avoir un automne non sec l'année suivante est moyennement importante pour les deux stations.
- La probabilité d'avoir deux automnes non secs successifs est très élevée et varie entre 63,6 et 76 % pour les deux stations.

**Tableau 4. 10 - Processus de Markov d'ordre 1 - Automne**

Station	Période d'étude	Probabilité (%)			
		S-S	S-NS	NS-S	NS-NS
Zenata	1853-54 / 1896-97	61,1	38,9	24,0	76,0
	1922-23 / 2012-13	42,9	57,1	34,5	65,5
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	54,8	45,2	30,2	67,4
	1976-77 / 2012-13	35,7	64,3	36,4	63,6

+ **Hiver** : Le même cheminement a été suivi, ainsi on a pu obtenir les résultats suivants :

**Tableaux 4. 11 – Matrices de fréquence de transition produite à partir des séries temporelles hypothétiques des mesures relatives aux stations de Zenata et de Maghnia**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S	9	10	19	S	21	17	38	S	5	10	15
NS	10	14	24	NS	17	35	52	NS	10	11	21
Total	19	24	43	Total	38	52	90	Total	15	21	36

**Tableaux 4. 12 – Matrices de fréquence relative de transition dérivées des tableaux 4. 11.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S	0,208	0,233	0,441	S	0,233	0,189	0,422	S	0,139	0,278	0,417
NS	0,233	0,326	0,559	NS	0,189	0,389	0,578	NS	0,278	0,305	0,583
Total	0,441	0,559	1	Total	0,422	0,578	1	Total	0,417	0,583	1

**Tableaux 4. 13 – Matrices de proportion de transition dérivées des tableaux 4. 11.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S	0,474	0,526	1,00	S	0,553	0,447	1,00	S	0,333	0,667	1,00
NS	0,417	0,583	1,00	NS	0,327	0,673	1,00	NS	0,476	0,524	1,00

- A partir des tableaux 5. 13. On peut déduire les différentes probabilités pour le processus d'ordre 1 (Hiver).

+ **Hiver** : Pour la saison d'hiver, l'application de l'hypothèse d'un processus de Markov d'ordre 1, a donné les résultats suivants :

- La probabilité, d'avoir un hiver sec quel que soit l'hiver de l'année de départ (sec ou non sec), est moyennement importante pour les deux stations et elle varie de 32,7 à 55,3 %.
- Dans le cas où un hiver est sec, la probabilité pour qu'il soit suivi d'un hiver sec est plus élevé au niveau de la station de Zenata.
- Pour le cas contraire où un hiver est non sec, la probabilité pour qu'il soit suivi d'un hiver sec est plus élevé à la station de Maghnia.
- Si un hiver est sec au départ, la probabilité d'avoir un hiver non sec l'année suivante est très plus ou moins importante à Maghnia qu'à Zenata.
- La probabilité d'avoir deux hivers non secs successifs est inférieure à 67,3 % pour les deux stations.

**Tableau 3. 14 - Processus de Markov d'ordre 1 - Hiver**

Station	Période d'étude	Probabilité (%)			
		S-S	S-NS	NS-S	NS-NS
Zenata	1853-54 / 1896-97	47,4	52,6	41,7	58,3
	1922-23 / 2012-13	55,3	44,7	32,7	67,3
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	41,2	55,9	50,0	50,0
	1976-77 / 2012-13	33,3	66,7	47,6	52,4

+ **Printemps** : Le même cheminement a été suivi, ainsi on a pu obtenir les résultats suivants :

**Tableaux 4. 15 – Matrices de fréquence de transition produite à partir des séries temporelles hypothétiques des mesures relatives aux stations de Zenata et de Maghnia**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S	10	9	19	S	16	20	36	S	5	9	14
NS	8	16	24	NS	20	34	54	NS	9	13	22
Total	18	25	43	Total	36	54	90	Total	14	22	36

**Tableaux 4. 16 – Matrices de fréquence relative de transition dérivées des tableaux 4. 15.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S	0,233	0,209	0,442	S	0,178	0,222	0,400	S	0,139	0,250	0,389
NS	0,186	0,372	0,558	NS	0,222	0,378	0,600	NS	0,250	0,361	0,611
Total	0,419	0,581	1	Total	0,400	0,600	1	Total	0,389	0,611	1

**Tableaux 4. 17 – Matrices de proportion de transition dérivées des tableaux 4. 15.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S	0,526	0,474	1,00	S	0,444	0,556	1,00	S	0,356	0,643	1,00
NS	0,333	0,667	1,00	NS	0,370	0,630	1,00	NS	0,409	0,591	1,00

- A partir des tableaux 4. 17. On peut déduire les différentes probabilités pour le processus d'ordre 1 (Printemps).

+ **Printemps** : Au printemps, l'application de l'hypothèse d'un processus de Markov d'ordre 1, a donné les résultats suivants :

- La probabilité, pour avoir un printemps sec quelle que soit la nature du printemps de départ (sec ou non sec), varie de 32,6 à 53,0 % entre les deux stations.
- Dans le cas où un printemps est sec, la probabilité pour qu'il soit suivi d'un printemps sec est plus élevé au niveau de la station de Zenata.
- Pour l'ensemble des stations, la probabilité d'avoir un printemps sec après un printemps non sec de l'année précédente est variable dans les deux stations selon les périodes d'observations.
- Si un printemps est sec au départ, la probabilité d'avoir un printemps non sec l'année suivante est faible pour la station de Zenata qu'à celle de Maghnia.
- La probabilité d'avoir deux printemps non secs successifs est supérieure à 59 % pour les deux stations.

**Tableau 4. 18 - Processus de Markov d'ordre 1 - Printemps**

Station	Période d'étude	Probabilité (%)			
		S-S	S-NS	NS-S	NS-NS
Zenata	1853-54 / 1896-97	52,6	47,4	33,3	66,7
	1922-23 / 2012-13	44,4	55,6	37,0	63,0
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	42,9	57,1	32,6	65,2
	1976-77 / 2012-13	35,6	63,4	40,9	59,1

- Processus de Markov d'ordre 2 : La matrice de Markov d'ordre 2 pour l'échelle Annuelle et saisonnière a été calculée. Les résultats sont indiqués dans les tableaux 4. / 22. 26. 30. 34.

**Tableaux 4. 19 – Matrices de fréquence de transition produite à partir des séries temporelles hypothétiques des mesures relatives aux stations de Zenata et de Maghnia**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S-S	4	6	10	S	23	5	28	S	2	3	5
S-NS	2	6	8	NS	2	5	7	NS	2	6	8
NS-NS	5	2	7	NS-NS	5	3	8	NS-NS	3	6	9
NS-S	5	12	17	NS-S	6	40	46	NS-S	8	5	13
Total	16	26	42	Total	36	53	89	Total	15	20	35

A partir de ces séries, il est possible de construire des matrices de fréquence de transition de taille  $4 \times 2$  qui résument le nombre de fois qu'un état donné est suivi d'un autre. Ces séries contiennent respectivement 44, 91 et 37 mesures successives, donc 42, 89, 35 transitions ( $n - 2$ ). Il faut noter que dans ces matrices de fréquence, deux totaux en ligne et en colonne diffèrent car la série débute et se termine par des états différents ; dans le cas contraire, ces totaux sont identiques. On peut ensuite dériver les matrices de fréquence relative de transition ainsi que celle de proportion de transitions comme présentés aux tableaux 5. 20. et 5. 21.

**Tableaux 4. 20 – Matrices de fréquence relative de transition dérivées des tableaux 4. 19.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S-S	0,095	0,143	0,238	S-S	0,258	0,056	0,314	S-S	0,057	0,086	0,143
S-NS	0,048	0,143	0,191	S-NS	0,022	0,056	0,078	S-NS	0,057	0,171	0,228
NS-NS	0,119	0,048	0,167	NS-NS	0,056	0,034	0,090	NS-NS	0,086	0,171	0,257
NS-S	0,119	0,285	0,404	NS-S	0,068	0,450	0,518	NS-S	0,229	0,143	0,372
Total	0,381	0,619	1	Total	0,404	0,596	1	Total	0,429	0,571	1

**Tableaux 4. 21 – Matrices de proportion de transition dérivées des tableaux 4. 19.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S-S	0,400	0,600	1,00	S-S	0,821	0,179	1,00	S-S	0,400	0,600	1,00
S-NS	0,250	0,750	1,00	S-NS	0,286	0,714	1,00	S-NS	0,250	0,750	1,00
NS-NS	0,714	0,286	1,00	NS-NS	0,625	0,375	1,00	NS-NS	0,333	0,667	1,00
NS-S	0,294	0,706	1,00	NS-S	0,130	0,870	1,00	NS-S	0,615	0,385	1,00

- A partir des tableaux 4. 21. On peut déduire les différentes probabilités pour le processus d'ordre 2 (Annuelle).

**- Échelle Annuelle :** La probabilité d'avoir une année sèche après une année sèche précédée par une année non sèche est faible aux deux stations à l'exception de la deuxième période relative à la station de Maghnia. Pour avoir une année sèche après deux années successives sèches, la probabilité est variable aux deux stations selon les périodes. Si deux années successives sont sèches, la probabilité d'avoir une année non sèche est variable pour les deux stations et selon les périodes. La probabilité d'avoir une année non sèche après une année sèche précédée par une année non sèche est importante à l'exception de la deuxième période spécifique à la station de Maghnia.

Par ailleurs, la probabilité d'avoir une année sèche précédée par deux années non sèches successives est plus importante à Zenata qu'à Maghnia. Alors que la probabilité d'avoir une année non sèche après une année non sèche précédée par une année sèche est très importante au niveau des deux stations. Pour avoir trois années non sèches successives, la probabilité est plus faible à Zenata. La probabilité d'avoir une année non sèche isolée reste faible pour les deux stations.

**Tableau 4. 22 - Processus de Markov d'ordre 2 - Annuelle**

Station	Période d'étude	Probabilité (%)			
		S-S-S	S-S-NS	NS-S-S	NS-S-NS
Zenata	1853-54 / 1896-97	40,0	60,0	29,4	70,6
	1922-23 / 2012-13	82,1	17,9	13,0	87,0
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	70,6	29,4	38,5	61,5
	1976-77 / 2012-13	40,0	60,0	61,5	38,5

Station	Période d'étude	Probabilité (%)			
		NS-NS-NS	NS-NS-S	S-NS-NS	S-NS-S
Zenata	1853-54 / 1896-97	28,6	71,4	75,0	25,0
	1922-23 / 2012-13	37,5	62,5	71,4	28,6
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	-	-	-	-
	1976-77 / 2012-13	66,7	33,3	75,0	25,0

**- Échelle Saisonnière :**

**+ Automne :** le même cheminement a été suivi pour le calcul des probabilités à l'échelle saisonnière.

**Tableaux 4. 23 – Matrices de fréquence de transition produite à partir des séries temporelles hypothétiques des mesures relatives aux stations de Zenata et de Maghnia**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S-S	5	6	11	S	8	7	15	S	2	3	5
S-NS	2	4	6	NS	8	12	20	NS	4	5	9
NS-NS	5	1	6	NS-NS	7	12	19	NS-NS	3	6	9
NS-S	4	15	19	NS-S	11	24	35	NS-S	4	8	12
Total	16	26	42	Total	34	55	89	Total	13	22	35

**Tableaux 4. 24 – Matrices de fréquence relative de transition dérivées des tableaux 4. 23.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S-S	0,119	0,143	0,262	S-S	0,089	0,079	0,169	S-S	0,057	0,086	0,143
S-NS	0,048	0,095	0,143	S-NS	0,089	0,135	0,224	S-NS	0,114	0,143	0,257
NS-NS	0,119	0,024	0,143	NS-NS	0,079	0,135	0,214	NS-NS	0,086	0,171	0,257
NS-S	0,095	0,357	0,452	NS-S	0,124	0,270	0,394	NS-S	0,114	0,229	0,343
Total	0,381	0,619	1	Total	0,381	0,619	1	Total	0,371	0,629	1

**Tableaux 4. 25 – Matrices de proportion de transition dérivées des tableaux 4. 23.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S-S	0,455	0,545	1,00	S-S	0,533	0,467	1,00	S-S	0,400	0,600	1,00
S-NS	0,333	0,667	1,00	S-NS	0,400	0,600	1,00	S-NS	0,444	0,556	1,00
NS-NS	0,833	0,167	1,00	NS-NS	0,368	0,632	1,00	NS-NS	0,333	0,667	1,00
NS-S	0,211	0,789	1,00	NS-S	0,314	0,686	1,00	NS-S	0,333	0,667	1,00

- A partir des tableaux 4. 25. On peut déduire les différentes probabilités pour le processus d'ordre 1 (Automne).
  - + **Automne** : La probabilité d'avoir un automne sec après un automne sec précédé par un automne non sec est faible au niveau des deux stations.
  - Pour avoir un automne sec après deux automnes successifs secs, la probabilité est différente pour les deux stations selon les périodes.
  - La probabilité d'avoir un automne non sec après un automne sec précédé par un automne non sec est très importante pour les deux stations.
  - La probabilité d'avoir un automne non sec après deux automnes successifs secs varie au niveau des deux stations entre 36,8 % et 60 %.
  - La probabilité d'avoir un automne non sec après un automne non sec précédé par un autre sec est importante pour les deux stations.
  - Pour les autres résultats qui concernent les années non sèches diffèrent dans les deux stations selon les périodes d'analyse.

**Tableau 4. 26 - Processus de Markov d'ordre 2 – Automne**

Station	Période d'étude	Probabilité (%)			
		S-S-S	S-S-NS	NS-S-S	NS-S-NS
Zenata	1853-54 / 1896-97	45,5	54,5	21,1	78,9
	1922-23 / 2012-13	53,3	46,7	31,4	68,6
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	63,2	36,8	37,5	62,5
	1976-77 / 2012-13	40,0	60,0	33,3	66,7

Station	Période d'étude	Probabilité (%)			
		NS-NS-NS	NS-NS-S	S-NS-NS	S-NS-S
Zenata	1853-54 / 1896-97	16,7	83,3	66,7	33,3
	1922-23 / 2012-13	63,2	36,8	60,0	40,0
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	-	-	-	-
	1976-77 / 2012-13	66,7	33,3	55,6	44,4

+ **Hiver** : le même cheminement a été suivi pour le calcul des probabilités à l'échelle saisonnière.

**Tableaux 4. 27 – Matrices de fréquence de transition produite à partir des séries temporelles hypothétiques des mesures relatives aux stations de Zenata et de Maghnia**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S-S	4	5	9	S	13	8	21	S	1	5	6
S-NS	2	7	9	NS	7	8	15	NS	2	7	9
NS-NS	4	6	10	NS-NS	8	10	18	NS-NS	5	5	10
NS-S	7	7	14	NS-S	10	25	35	NS-S	6	4	10
Total	17	25	42	Total	38	51	89	Total	14	21	35

**Tableaux 4. 28 – Matrices de fréquence relative de transition dérivées des tableaux 4. 27.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S-S	0,095	0,119	0,214	S-S	0,146	0,090	0,236	S-S	0,029	0,143	0,172
S-NS	0,048	0,167	0,215	S-NS	0,079	0,090	0,169	S-NS	0,057	0,200	0,257
NS-NS	0,095	0,143	0,238	NS-NS	0,090	0,112	0,202	NS-NS	0,143	0,143	0,286
NS-S	0,167	0,167	0,334	NS-S	0,112	0,281	0,393	NS-S	0,171	0,114	0,285
Total	0,405	0,595	1	Total	0,427	0,573	1	Total	0,400	0,600	1

**Tableaux 4. 29 – Matrices de proportion de transition dérivées des tableaux 4. 27.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S-S	0,444	0,556	1,00	S-S	0,619	0,381	1,00	S-S	0,167	0,833	1,00
S-NS	0,222	0,778	1,00	S-NS	0,467	0,533	1,00	S-NS	0,222	0,778	1,00
NS-NS	0,400	0,600	1,00	NS-NS	0,444	0,556	1,00	NS-NS	0,500	0,500	1,00
NS-S	0,500	0,500	1,00	NS-S	0,286	0,714	1,00	NS-S	0,600	0,400	1,00

- A partir des tableaux 4. 29. On peut déduire les différentes probabilités pour le processus d'ordre 2 (Hiver).

+ **Hiver** : La probabilité d'avoir un hiver sec après un hiver sec précédé par un hiver non sec est plus ou moins importante sauf pour la seconde période spécifique à la station de Zenata.

- Pour avoir un hiver sec après deux hivers successifs secs, la probabilité est nettement plus élevée pour la station de Zenata.

- La probabilité d'avoir un hiver non sec après un hiver sec précédé par un hiver non sec est remarquablement importante pour les deux stations.

- La probabilité d'avoir un hiver non sec après un hiver sec précédée par un autre sec varie entre 38,1 et 57,1 % pour les deux stations.

- La probabilité d'avoir un hiver non sec après deux autres non secs est remarquablement importante pour les deux stations. De même pour la probabilité d'avoir un hiver non sec après un hiver non sec précédé par un hiver sec.

**Tableau 4. 30 - Processus de Markov d'ordre 2 - Hiver**

Station	Période d'étude	Probabilité (%)			
		S-S-S	S-S-NS	NS-S-S	NS-S-NS
Zenata	1853-54 / 1896-97	44,4	55,6	50,0	50,0
	1922-23 / 2012-13	61,9	38,1	28,6	71,4
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	42,9	57,1	45,0	55,0
	1976-77 / 2012-13	16,7	43,3	60,0	40,0

Station	Période d'étude	Probabilité (%)			
		NS-NS-NS	NS-NS-S	S-NS-NS	S-NS-S
Zenata	1853-54 / 1896-97	60,0	40,0	77,8	22,2
	1922-23 / 2012-13	55,6	44,4	53,3	46,7
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	-	-	-	-
	1976-77 / 2012-13	50,0	50,0	77,8	22,2

+ **Printemps** : le même cheminement a été suivi pour le calcul des probabilités à l'échelle saisonnière.

**Tableaux 4. 31 – Matrices de fréquence de transition produite à partir des séries temporelles hypothétiques des mesures relatives aux stations de Zenata et de Maghnia**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S-S	3	7	10	S	7	7	14	S	2	3	5
S-NS	2	7	9	NS	12	7	19	NS	2	6	8
NS-NS	6	2	8	NS-NS	9	12	21	NS-NS	3	6	9
NS-S	5	10	15	NS-S	8	27	35	NS-S	7	6	13
Total	16	26	42	Total	26	53	89	Total	14	21	35

**Tableaux 4. 32 – Matrices de fréquence relative de transition dérivées des tableaux 4. 31.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S-S	0,070	0,167	0,237	S-S	0,079	0,079	0,158	S-S	0,057	0,086	0,143
S-NS	0,048	0,167	0,215	S-NS	0,135	0,079	0,214	S-NS	0,057	0,171	0,228
NS-NS	0,143	0,048	0,191	NS-NS	0,101	0,135	0,236	NS-NS	0,087	0,171	0,258
NS-S	0,119	0,238	0,357	NS-S	0,090	0,302	0,392	NS-S	0,200	0,171	0,371
Total	0,380	0,620	1	Total	0,405	0,595	1	Total	0,401	0,599	1

**Tableaux 4. 33 – Matrices de proportion de transition dérivées des tableaux 4. 31.**

	S	NS	Total		S	NS	Total		S	NS	Total
S-S	0,300	0,700	1,00	S-S	0,500	0,500	1,00	S-S	0,400	0,600	1,00
S-NS	0,222	0,778	1,00	S-NS	0,632	0,368	1,00	S-NS	0,250	0,750	1,00
NS-NS	0,750	0,250	1,00	NS-NS	0,429	0,571	1,00	NS-NS	0,333	0,667	1,00
NS-S	0,333	0,667	1,00	NS-S	0,229	0,771	1,00	NS-S	0,400	0,600	1,00

- A partir des tableaux 4. 33. On peut déduire les différentes probabilités pour le processus d'ordre 2 (Printemps).
  - + **Printemps** : La probabilité d'avoir un printemps sec après un printemps sec précédé par un printemps non sec est  $\leq 40\%$  pour les deux stations.
  - Pour avoir un printemps sec après deux printemps successifs secs, la probabilité varie entre 30,0 et 66,7 % pour les deux stations.
  - La probabilité d'avoir un printemps non sec après un printemps sec précédé par un printemps non sec est très importante au niveau des deux postes.
  - La probabilité d'avoir un printemps non sec précédé par deux printemps successifs secs est plus importante à Zenata qu'à Maghnia.
  - Pour les autres résultats qui concernent les années non sèches diffèrent dans les deux stations selon les périodes d'analyse.

**Tableau 4. 34 - Processus de Markov d'ordre 2 - Printemps**

Station	Période d'étude	Probabilité (%)			
		S-S-S	S-S-NS	NS-S-S	NS-S-NS
Zenata	1853-54 / 1896-97	30,0	70,0	33,3	66,7
	1922-23 / 2012-13	50,0	50,0	22,9	77,1
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	66,7	33,3	26,7	73,3
	1976-77 / 2012-13	40,0	60,0	40,0	60,0

Station	Période d'étude	Probabilité (%)			
		NS-NS-NS	NS-NS-S	S-NS-NS	S-NS-S
Zenata	1853-54 / 1896-97	25,0	75,0	77,8	22,2
	1922-23 / 2012-13	57,1	42,9	36,8	63,2
Maghnia	1930-31 / 2003-04 *	-	-	-	-
	1976-77 / 2012-13	66,7	33,3	75,0	25,0

## CONCLUSION

L'agriculture transforme la nature avec des moyens techniques à l'intérieur d'une organisation sociale et territoriale dont les visages multiples dans le monde reflètent l'action des contraintes qui peuvent être statiques en provenance du climat (année sèche ou inondations) ; mais ces contraintes sont en fait de plus en plus dynamiques, c'est le cas de la rupture climatique qui a affectée notre région autour de la fin des années 1970. Cependant les stratégies de prévision climatiques à long échéances s'avèrent de plus en plus indispensables pour une agriculture durable. De ce fait, l'étude de la persistance de sécheresse, en utilisant les chaînes de MARKOV, a permis de montrer ce constat et de révéler différents scénarios que ce soit à l'échelle annuelle ou saisonnière.

## CHAPITRE V

---

### Rapports climat - végétation

---

## CHAPITRE V

### RAPPORTS CLIMAT-VÉGÉTATION

#### **1. LA PLANTE ET SON MILIEU ATMOSPHÉRIQUE**

La vie des plantes dépend de différents facteurs notamment ceux liés aux conditions du milieu, ou tout simplement l'environnement. Ce dernier, est attribué à tout ce qui entoure un végétal : sol, atmosphère, éléments biotiques, et qui influe sur l'existence de ce végétal, comme il est influencé par lui. On peut classer l'environnement en deux composantes principales et fondamentales : milieu atmosphérique qui englobe tous les éléments climatiques, et le milieu du substratum qui fait entrer les facteurs édaphiques, topographiques et biotiques (HALIMI, 1980).

Dans notre introduction, nous allons exprimer seulement le milieu atmosphérique en expliquant d'abord l'influence réciproque entre la plante et l'atmosphère ; nous essayons de déterminer ensuite les situations favorables et défavorables des facteurs climatiques par rapport aux plantes, en nous attachant particulièrement à ce qu'il est convenu d'appeler les facteurs limitant (PÉGUY, 1970).

##### **1. 1. Influence de la végétation sur le climat**

Les influences de la végétation sur le climat se manifestent par la modification de l'effet de la radiation solaire parvenant au sol, par l'atténuation des variations de la température, par la réduction de la vitesse du vent, et par l'augmentation de l'hygrométrie de l'air. Ces influences sur le milieu atmosphérique sont indiscutables mais reste locale. La rugosité des arbres modifie le couche limite atmosphérique ; elle peut influencer le climat à plus de 500 mètres de la lisière quand il y a du vent, et d'après certains auteurs, à 500 m d'altitude pour les températures (HALIMI, 1980). Néanmoins, cette influence de la végétation sur le climat est moins importante et moins remarquable que l'influence du climat sur la végétation.

##### **1. 2. Influence du climat sur la végétation.**

Le développement de la plante est sous la dépendance étroite de la température qui agit sur la vitesse du déroulement des phases phénologiques. L'eau et la lumière, agissent surtout sur la croissance et notamment sur le rendement final (HALIMI, 1980).

En fait, certaines conditions du milieu peuvent rompre l'interdépendance entre la croissance et le développement, soit en arrêtant les deux, tel est le cas de la dormance, soit en donnant une nouvelle orientation au développement tel est le cas de la vernalisation ou du photopériodisme.

Ces influences du climat sur le développement et la croissance de la végétation ont amené certains auteurs à conclure que la végétation n'est en dernier ressort qu'un reflet du climat. Mais l'explication quantitative de ce reflet est compliquée, du fait que les facteurs climatiques agissent en combinaison et chaque espèce végétale exige des optimums climatiques qui diffèrent dans le temps et dans l'espace (HALIMI, 1980).

### **1. 2. 1. Les pluies**

Le régime pluvial joue un rôle essentiel non seulement dans le rythme des phases de développement des plantes : germination, bourgeonnement, feuillaison, floraison, épiaison, maturation, etc. mais également sur l'abondance ou la croissance végétale, ce qui est important surtout dans le cas des plantes cultivées. Dans notre région, l'effet de la sécheresse sur le rendement est bien connu par les paysans qui sont arrivés à prédire d'après leurs expériences la quantité récoltable de leurs céréales en observant simplement le régime pluvial durant la saison végétative.

Etant donné que le facteur eau joue le rôle le plus dominant dans le développement et la croissance des végétaux. Alors, nous allons aborder ici l'action du manque ou de l'excès d'eau sur la croissance et le développement des plantes.

Au cours des phases de développement, on trouve que dans quelques cas un certain besoin de sécheresse favorise la mise à fleurs. C'est le cas par exemple des arbres fruitiers ou la sécheresse de l'été favorise l'induction florale. Cet effet favorable d'une période sèche serait dû à un ralentissement de la croissance végétative favorisant le passage à l'état reproducteur. Un excès d'eau en période de floraison se traduit aussi par la coulure, ou mauvaise fécondation des fleurs.

Mais très souvent le manque d'eau agit défavorablement sur la mise à fleurs, en limitant le nombre de fleurs fécondées. La période ou la sécheresse peut perturber le plus la mise à fleurs, la fécondation, donc le rendement est dite période critique. Elle est d'autant plus courte que la période n'émet qu'une seule inflorescence ou épis (le cas du maïs) et d'autant plus longue que sa floraison est plus étagée (sorgho, soja, etc.).

En ce qui concerne la croissance végétale, on constate à partir des expériences menées dans certains travaux pour le calcul de l'évapotranspiration maximale réelle de différentes cultures que la consommation d'eau est très différente en quantité selon les cultures ; et puis elle se répartit à des périodes différentes de l'année selon qu'il s'agit de cultures à courte ou longue saison de végétation. Donc, d'une façon générale, ces besoins en eau pour la croissance sont moins élevés durant le stade de la croissance rapide, c'est-à-dire durant la phase où la plante commence à entrer dans le stade de la fructification. Une fois que le poids maximum de la croissance est acquis, la demande en eau commence à diminuer graduellement jusqu'à la maturation totale.

### **1. 2. 2. Les températures**

Les plantes sont le siège de réactions chimiques complexes dans le cadre de la multiplication cellulaire, de la respiration et de la photosynthèse. Ces deux types de phénomènes caractéristiques du développement des êtres vivants sont dépendants de la température. L'action de la température sur les plantes présente un optimum et des limites extrêmes. L'optimum varie au cours de la vie du végétal selon l'état de différentiation, d'où l'importance du thermopériodisme de grande période (saisonnier ou annuel). Il varie aussi au cours de la journée (thermopériodisme nycthéméral) (DE PARCEVAUX & HUBER, 2007). De ce fait, on note ci-dessous les actions de la température qui affectent le développement et la croissance des cultures (SOLTNER, 1999 ; DE PARCEVAUX & HUBER, 2007) à savoir :

- Les alternances de température nycthémérale ou annuelle provoquent une action biologique que l'on appelle le thermopériodisme. En effet, on sait depuis longtemps par expérience que beaucoup de plantes ne peuvent fleurir et donc fructifier que si elles ont été soumises à une température suffisamment basse pendant un temps suffisamment long, elles sont sensibles à l'alternance période froide-période chaude. C'est le thermopériodisme annuel, qui joue un rôle essentiel dans les phénomènes de vernalisation, de dormance et d'hibernation.
- La vernalisation ou jarovisation est un traitement par le froid des semences des céréales d'hiver pour les faire épier rapidement en cas de semis de printemps pour éviter le problème d'échaudage de fin de printemps ou début d'été. Ce procédé, consiste à humidifier les semences, ce qui amène un très léger démarrage de la germination, puis à les soumettre à une certaine durée de froid. Les normes varient selon le type de blé et surtout selon les variétés.

- Une plante soumise à la même température nuit et jour pousse moins bien que si la température nocturne est plus basse que celle du jour. C'est le thermopériodisme journalier.
- La température agit sur la vitesse de croissance, autrement dit sur le temps mis pour atteindre la taille finale du végétal.
- La croissance est faible ou nulle tant que la température n'atteint pas un seuil appelé « zéro de végétation » (il est d'environ 0°C pour le blé et les autres céréales d'hiver, 5°C pour les céréales de printemps, 14°C pour le coton, etc.) ; au-dessus de ce seuil la plante croît d'autant plus vite que la température monte, jusqu'à un plafond au-delà duquel la croissance est stoppée par réaction de la plante à l'excès de chaleur (35°C pour les céréales).

- Entre ce seuil et ce plafond, la croissance est proportionnelle à la température. Si bien qu'il est apparu très commode, pour suivre la croissance et le développement de certaines cultures, d'additionner la température moyenne de chaque jour de la manière suivante :  $S(T_m - T_0)$

$S$  = somme de températures d'une période ;

$T_m$  = température moyenne de la journée ;

$T_0$  = Zéro de végétation de la culture ;

Si le zéro de végétation est 9°C, on dit que l'on est en base 9 ; et de même pour d'autres températures. On peut ainsi mesurer :

- Les exigences totales en chaleur d'une culture ou d'une variété ;
- L'état d'avancement de la culture en cours par rapport à son besoin total de température.

Par ailleurs, les autres paramètres climatiques tels que la nébulosité, le vent, le rayonnement, etc., ne manquent pas d'influence sur la croissance et le développement de la végétation. Malheureusement les données de ces paramètres ne sont pas disponibles dans les deux stations de la région d'étude qui sont d'ordre secondaire, de ce fait on a été contraint de travailler surtout avec les températures et les précipitations.

## 2. ESTIMATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION

De ce fait, selon HALIMI (1980), l'évapotranspiration est la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre, quel que soit sa nature (sols, végétaux, eaux libres), à l'atmosphère. Donc cette notion englobe, la lame d'eau évaporée à partir du substratum terrestre ou transpire des végétaux. Ainsi, selon la disponibilité en eau et le type de la couverture herbacée considérée (agricole ou forestière), on distingue différentes valeurs de l'évapotranspiration (LEBOURGEOIS, 2010) :

\* ETP : évapotranspiration potentielle pour laquelle le seul facteur limitant correspond à une donnée climatique.

\* ETM : évapotranspiration potentielle maximale pour laquelle le seul facteur limitant correspond à une donnée climatique. Cependant, même en l'absence de stress en eau, un couvert végétal offre une certaine résistance au transfert de la vapeur d'eau.

Par définition,  $ETM \leq ETP$ .

\* ETR : évapotranspiration réelle pour laquelle le seul facteur limitant est le système surface évaporante – liaison de l'eau. Par définition  $ETR < ETM \leq ETP$ .

Les formules d'estimation de l'évapotranspiration ont été établies soit à partir des ajustements statistiques de mesures directes (BLANEY et CRIDDLE, THORNTHWAITE, TURC), soit sur une analyse physique des phénomènes d'évapotranspiration (PENMAN). Seules les formules les plus courantes sont présentées (LEBOURGEOIS, 2010).

## 2. 1. Evapotranspiration potentielle de TURC (1954, 1961)

L'estimation de l'évapotranspiration, telle que définit par TURC, combine plusieurs variables telles que ; l'insolation, les pluies, les températures, ... cette formule s'exprime de la

manière suivante :  $ETP = 0,40 \frac{t}{t+15} (Ig + 50)$  où :

- ETP : Evapotranspiration en mm.
- t : Température moyenne mensuelle en ( $^{\circ}$ C).
- Ig : Bilan du rayonnement solaire en calories par centimètre carré ( $cal/cm^2$ ).
- 0,40 est une constante qui est le résultat de la multiplication d'une autre constante (0,013) par le nombre de jours de chaque mois.
- 50 : est la limite entre l'humidité et la sécheresse de l'air.

Pour les stations où Ig n'est pas mesuré, on utilise la formule d'ANGSTRÖM qui est la suivante :  $Ig = Ig_a \times 0,18 + 0,62 \left( \frac{h}{H} \right)$

- $Ig_a$  = radiation théorique maximale au lieu considéré
- $h$  = durée d'insolation effective (en heure)
- $H$  = durée d'insolation théorique (en 1/10 d'heure)
- $Ig_a$  et  $H$  dépendent de la latitude et de la saison. Ils sont donnés dans des tables.
- Le rapport  $h/H$  est appelé la fraction d'insolation.

Lorsque l'humidité est égale ou supérieure à 50 %, nous n'utilisons pour le calcul de l'évapotranspiration que les températures et le rayonnement solaire.

La formule prend, alors la forme suivante :  $ETP = 0,40 \frac{t}{t+15} (Ig)$ .

Lorsque l'humidité est inférieure à 50 %, le résultat doit être multiplié par le facteur de

correction suivant :  $(1 + \frac{50-hr}{70})$  où : hr est l'humidité relative.

Pour application, considérons-les données de la station de Zenata pour l'année 2012-13 située dans l'hémisphère nord à 35°02' de latitude. Les valeurs de (Ig) sont tirées du Tableau 3. de l'Annexe C.

Pour le mois de Janvier :  $t = 11,7$  ;  $Ig = 436 \text{ cal/cm}^2/\text{jr}$ .

En reprenant la formule relative au calcul de l'ETP, et après avoir remplacé chacune des variables par sa valeur correspondante, nous obtenons pour le mois de janvier :

$$ETP = 0,40 \frac{11,7}{11,7+15} 436 = 76,42 \text{ mm}$$

De la même manière nous pouvons le faire pour l'ensemble des mois de l'année.

## 2. 2. Evapotranspiration potentielle BLANEY-CRIDDLE

Pour calculer l'évapotranspiration, BLANEY-CRIDDLE, ont utilisé la force évaporante. Cette dernière est le résultat de la combinaison des températures et de l'ensoleillement. Les deux auteurs proposent pour le calcul de l'évapotranspiration une formule qui s'écrit de la manière suivante :  $ETP = F \cdot K$  avec :

\*  $F$  = force évaporante. Elle est égale au produit des températures moyennes mensuelles en degré Fahrenheit et l'éclairement en (%).

\*  $K$  = coefficient cultural (il est égale selon les auteurs à 0,60) qui est calculé selon la formule

suivante :  $K = \frac{E}{F(114-H)}$  où : -  $E$  : Résultats de mesures multiples.

-  $F$  : force évaporante.

-  $H$  : humidité relative.

Les étapes à suivre :

1. Reconvertir les températures Fahrenheit en (°C).
2. Calculer  $F$  qui est le produit de  $(t^{\circ}\text{F} \times p\%)$ .
3. Calculer l'ETP en pouce qui est le produit de  $K \times F$ .
4. Reconvertir l'ETP en mm (1 pouce = 25,4 mm).

En utilisant la première formule, et en supposant les données suivantes pour la station de Zenata (2012-2013) (Tableau 5. 1.).

**Tableau 5. 1 – Eléments pour le calcul de l'évapotranspiration (BLANEY-CRIDDLE).**

	Octobre	Janvier	Avril	Juillet
Températures en Fahrenheit	94,86	78,66	84,96	102,24
Durée d'éclairement en (%)	7,73	6,90	8,95	9,96
Force évaporante	733,27	542,75	760,39	1018,31
Coefficient cultural (K)	0,60	0,60	0,60	0,60
ETP en pouces	4,40	3,26	4,56	6,11
ETP en mm	112	83	116	155

Une autre formule a été développée par BLANEY et CRIDDLE dans les années 1950 pour les zones arides ou semi-arides de l'ouest des Etats-Unis. Elle est très souvent utilisée pour estimer le besoin en eau des cultures car elle ne nécessite que deux informations : la température moyenne de l'air et la durée relative du jour exprimée en (%). Dans des conditions extrêmes (vent, sécheresse, fort ensoleillement), l'ETP est sous-estimée (> 60%) tandis que pour un temps calme, humide et nuageux, l'ETP est surestimée (> 40%).

$$\text{ETP (mm/jour)} = p (0,46 T + 8,13) \text{ où :}$$

- ETP = Evapotranspiration (mm/jour)
- T = température moyenne journalière (°C)
- p = pourcentage journalier d'heures diurnes par rapport au nombre d'heures diurnes annuelles (fonction de latitude) ; les valeurs de p, sont présentées dans le tableau 5-Annexe C.

L'application de cette seconde formule pour la station de Zenata pour le mois de juillet 2013 nous révèle les résultats suivants :  $\text{ETP} = 0,23 \times (0,46 \times 25,8 + 8,13) = 4,6 \text{ mm / jour.}$

Le tableau 4. 2. présente les valeurs journalières de l'ETP selon la formule de BLANEY et CRIDDLE dans différentes zones climatiques et selon différents niveaux de température moyenne journalière.

**Tableau 5. 2 - Valeurs journalières de l'ETP selon la formule de BLANEY-CRIDDLE**

Zone climatique	faible (< 15°C)	moyenne (15-25°C)	élevée (>25°C)
Désert-Aride	5-6	7-8	9-10
Semi-aride	4-5	6-7	8-9
Subhumide	3-4	5-6	7-8
Humide	1-2	3-4	5-6

### 2. 3. Evapotranspiration potentielle THORNTHWAITE

THORNTHWAITE estime que l'évapotranspiration est en fonction des températures.

Pour son calcul, il propose la formule suivante :  $ETP = 16 \times \left[ \frac{10T}{I} \right]^a \times C$  où :

- ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.
- C : coefficient de correction relatif aux données temporelles et spatiales. La valeur de F se lit à partir d'un tableau spécifique (Tableau 2 – Annexe C.).
- T : température mensuelle moyenne en ( $^{\circ}$ C).
- a : fonction complexe de l'Indice I. Elle s'écrit de la manière suivante :  $a = 0,018 (I) + 0,5$  où : I = indice thermique annuel, somme des 12 indices mensuels.

Il est égale à :  $I = \sum_{j=janvier}^{décembre} I_j \rightarrow I_j = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514}$  (Tableau 1 – Annexe C.)

Où : t : est la moyenne mensuelle des températures en ( $^{\circ}$ C).

Par application sur la station de Zenata (moyenne 1976-77 /2012-13) ( $35^{\circ}02'N$  de latitude), Les ETP sont exprimées en mm (valeurs arrondies).

I (janvier à décembre) = 85,86.

$$a = 0,018 \times 85,84 + 0,5 = 2,04.$$

Pour le mois de janvier, nous obtenons :  $I_j = \left( \frac{10,8}{5} \right)^{1,514} = 3,21 ; C = 0,87$

$$ETP = 16 \times \left[ \frac{10 \times 10,8}{85,84} \right]^{2,04} \times 0,87 = 22 \text{ mm /mois.}$$

Les valeurs de l'ETP de la station de Zenata sont portées au tableau ci-dessous :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
T ( $^{\circ}$ C)	23,4	19,6	15,0	12,2	10,8	11,7	13,6	15,5	18,5	22,5	25,8	26,6
I <sub>j</sub>	10,34	7,91	5,27	3,86	3,21	3,62	4,55	5,54	7,25	9,75	12,0	12,56
C	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16
ETP (mm)	127	84	43	28	22	26	42	58	93	138	186	187

Les valeurs de l'ETP de la station de Maghnia sont portées au tableau ci-dessous :

$$I = 85,36 \text{ a} = 2,03$$

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
T ( $^{\circ}$ C)	23,1	18,9	14,2	11,4	9,9	11,3	13,1	15,2	20,8	22,8	26,2	26,7
I <sub>j</sub>	10,14	7,48	4,85	3,48	2,81	3,43	4,30	5,38	8,65	9,94	12,27	12,63
C	1,03	0,97	0,86	0,86	0,88	0,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16
ETP (mm)	128	78	39	25	19	24	39	56	117	141	190	188

## 2. 4. Evapotranspiration potentielle PENMAN

L'élaboration de cette formule procède d'une démarche scientifique, mais elle intègre aussi une certaine part d'empirisme. C'est une formule complexe nécessitant la prise en compte de nombreux paramètres à un pas de temps court (journalier). Elle fournit les valeurs les plus proches de la réalité mais est peu « accessible » au forestier de terrain. Elle est beaucoup utilisée dans la recherche car elle tient compte de la source d'énergie à disposition et modélise le déplacement de la vapeur depuis les surfaces évaporatives. Des modifications ont été apportées afin de tenir compte, entre autres, de la résistance aérodynamique du couvert (LEBOURGEOIS, 2010).

$$ETP = \frac{\Delta Rn + \gamma L Ea}{(\Delta + \gamma) \times L}$$

$$Rn = Ig_a (1 - a) (0,18 + 0,62 \left(\frac{h}{H}\right)) - \sigma T^4 (056 - 0,08 \sqrt{e}) (0,10 + 0,90 \left(\frac{h}{H}\right))$$

- $Rn$  = rayonnement net de la surface (en  $J/cm^2/mm$ ) qui peut être mesuré ou calculé
- $Ig_a$  = rayonnement global en l'absence d'atmosphère ( $cal/cm^2$ )
- $a$  = albedo, qui peut varier en gros de 0,1 à 0,4 et même en dehors de cet intervalle.
- $h/H$  = fraction d'insolation = rapport de la durée réelle d'insolation et de la durée théorique (en heure et 1/10).
- $\sigma$  = constante de Stefan-Bolzman =  $5.6698 \times 10^{-8} W/m^2/K^4$
- $T$  = température de l'air en degré Kelvin ;
- Les valeurs de  $\sigma T^4$  sont portées au tableau 6 – Annexe C.
- $e$  = tension de vapeur d'eau.

\*  $\Delta$  = pente de la courbe de tension de vapeur saturante à la température de l'air (en  $mb/C$ )  
(Tableau 8 – Annexe C.)

- \*  $Ea$  = pouvoir évaporant de l'air :  $Ea = 0.26 (ew - e) \phi (v)$
- $ew$  = tension de vapeur saturante à la température de l'air
- $e$  = tension de vapeur d'eau, pour son calcul en sachant l'humidité relative et la tension de vapeur saturante. On a :  $hr = e/ew$ , donc :  $e = hr \times ew$ .
- $ew - e$  = déficit de saturation de l'air
- $\phi (v)$  = fonction de la vitesse du vent. Si la mesure est faite à deux mètres de hauteur alors on a  $\phi (v) = 1 + 0.54 V$  (en  $m/s$ ).
- \*  $L$  = chaleur latente de vaporisation de l'eau ( $2.56 \times 10^6 J/kg$ )
- \*  $\gamma$  = constante psychrométrique de Bowen =  $0.665 mb/^\circ C$

En revanche, la formule de PENMAN est considérée, d'après certains auteurs, comme la plus satisfaisante et la plus rigoureuse, qui peut fournir, avec une certaine certitude, des valeurs aussi sûres que celles provenant des cases lysimétriques, c'est pourquoi quelques chercheurs l'ont prise comme référence d'étalonnage de formules plus simples (HALIMI, 1980).

Etant donné que la formule de PENMAN exige les données de quatre éléments (température, humidité relative, insolation, vitesse du vent) ; Malheureusement, en absence des données d'insolation et de la vitesse du vent pour les deux stations de la région d'étude nous n'avons pas parvenu à appliquer cette formule.

#### **- Formule de PENMAN-MONTEITH (1965)**

La formule de PENMAN donne l'évaporation potentielle théorique d'une nappe d'eau. Cette valeur est une valeur limite maximale qui dépend principalement des facteurs climatiques, et dans une moindre mesure, de l'état de surface par l'intermédiaire du coefficient d'échange convectif  $f$  ( $V$ ) qui entre dans la définition de  $Ea$ . Quand on passe à un couvert végétal, il faut alors introduire deux résistances aux transferts convectifs :

- la résistance aérodynamique  $ra$  à la diffusion de la vapeur d'eau dans la couche limite au-dessus du couvert ( $s / m$ )
- la résistance aérodynamique interne  $rc$  du couvert ( $s / m$ )

C'est la modification la modification de la formule de PENMAN la plus citée. Elle est apportée par MONTEITH (1981) et porte le nom de PENMAN-MONTEITH.

$$ETP = \frac{\Delta Rn + \gamma L Ea}{(\Delta + \gamma \left( \frac{ra+rc}{ra} \right) \times L)}$$

#### **2. 5. Evapotranspiration réelle annuelle de TURC**

Il faut faire la distinction entre l'évapotranspiration potentielle, qui est généralement calculée, et l'évapotranspiration réelle, qui est au contraire est souvent mesurée. Néanmoins, TURC a mis au point après plusieurs expériences, une formule qui permet de calculer l'évapotranspiration réelle. Elle s'écrit de la manière suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \text{ où :}$$

- ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm
- P : Pluies annuelles en mm.
- L : Force évaporante. Elle se calcule à l'aide d'une autre formule qui s'écrit comme suit :  

$$L = 300 + 24 t + 0,05 t^3$$
 où : t : température moyenne annuelle en ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Pour la station de Zenata, nous avons les données suivantes pour l'année 2012-2013 :

$$P = 557 \text{ mm} ; t = 17,9 \text{ }^{\circ}\text{C} ; L = 300 + 24 (17,9) + 0,05 (17,9)^3 = 1016,36$$

En utilisons la première formule et en remplaçant chaque variable par sa valeur, nous

obtenons :  $\text{ETR} = \frac{557}{\sqrt{0,9 + \frac{310\,249}{1\,032\,987,65}}} = 587,43 \text{ mm.}$

Nous pouvons calculer l'évapotranspiration réelle en procédant par déduction. Cette méthode suppose les données suivantes :

- L'évapotranspiration potentielle à l'échelle mensuelle.
- Les quantités pluviométriques mensuelles.
- Estimation de la réserve utile (R.U). Elle est souvent estimée à 100 mm. Elle peut prendre d'autres valeurs telles 150 ou 200 mm.

**Tableau 5. 3 – Calcul de l'évapotranspiration réelle (2012-2013).**

Mois	P (mm)	ETP (mm)	P - ETP	RU	ETR (mm)
Septembre	37	185	-148	0	37
Octobre	36	138	-102	0	36
Novembre	155	95	+60	60	95
Décembre	19	72	-53	7	26
Janvier	103	74	+29	36	74
Février	47	131	-84	0	47
Mars	44	140	-96	0	44
Avril	68	172	-104	0	68
Mai	46	204	-158	0	46
Juin	0	226	-226	0	0
Juillet	1	238	-237	0	1
Août	1	223	-222	0	1
Année	557	1898			

Sachant que la réserve utile est estimée à 100 mm. L'application de cette méthode pour la station de Zenata à partir des données du tableau 5. 3. est comme suit :

Pour calculer la réserve utile et l'évapotranspiration réelle, il faut suivre les étapes suivantes :

- 1- Calcul du terme  $P - ETP$ .
- 2- Pour le calcul de la réserve utile, il faut commencer par le mois qui suit la période non pluvieuse. Pour notre cas, il s'agit du mois de novembre. Car c'est au cours de ce mois que la réserve commence à se constituer.

Notons que la réserve utile passe par quatre étapes :

- a- L'étape de la constitution.
- b- L'étape de la saturation.
- c- L'étape de la décharge.
- d- L'étape du déficit.

Pour notre exemple, ces étapes correspondent aux mois suivants :

- d- septembre et octobre.
- a- novembre.
- b- janvier.
- c- Absence de l'état de décharge et passage direct à l'état de déficit.
- d- février, mars, avril, mai, juin, juillet et août.

On remarque qu'au niveau du mois de décembre, il y a eu une décharge alors qu'en principe doit suivre le mois de novembre dans l'étape de constitution. Ceci est dû à la forte irrégularité que subit le climat de la région depuis les trois dernières décennies.

En ce qui concerne les mois de septembre et octobre, ils représentent la continuité de l'étape du déficit de l'année précédente (2011-2012).

3- Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, deux cas se présentent :

a- Quand  $P$  est supérieur à  $ETP$ , l' $ETR$  est égale à  $ETP$ . C'est le cas, dans notre exemple pour les mois de novembre, janvier et avril.

b- Quand  $P$  est inférieur à  $ETP$ , on est devant trois cas :

1. Le terme  $P + RU$  est supérieur à  $ETP$ , l' $ETR$  est égale à  $ETP$ . C'est le cas pour décembre, février et mars.
2. Le terme  $P + RU$  est inférieur à  $ETP$ , l' $ETR$  est égale à  $P + RU$ . C'est le cas de mai.
3. Quand  $RU$  est égale à 0, l' $ETR$  est égale à  $P$ . C'est le cas de septembre, octobre (2012) ; juin, juillet et août (2013).

## 2. 6. Comparaison entre les méthodes

Une fois connues les quatre formules précitées, il reste utile de faire la comparaison afin de déceler s'il existe une différence significative entre ces différentes méthodes. Ensuite, chercher la formule la plus convenable à l'estimation de l'ETP au niveau de notre région d'étude.

Pour le praticien de terrain, les formules de TURC, de THORNTHWAITE et de BLANEY-CRIDDLE sont les plus facilement accessibles mais la formule de PENMAN reste la meilleure estimation de l'ETP (à partir d'une formule) qui est considérée d'ailleurs comme une méthode de référence, mais vu la non disponibilité des données de l'insolation et de la vitesse du vent nous n'avons pas pu la calculer.

Les tableaux suivants rassemblent les résultats des différentes formules : THORNTHWAITE, TURC et BLANEY-CRIDDLE, ainsi que les valeurs de l'ETP mesurée relatives aux stations de Zenata et de Maghnia.

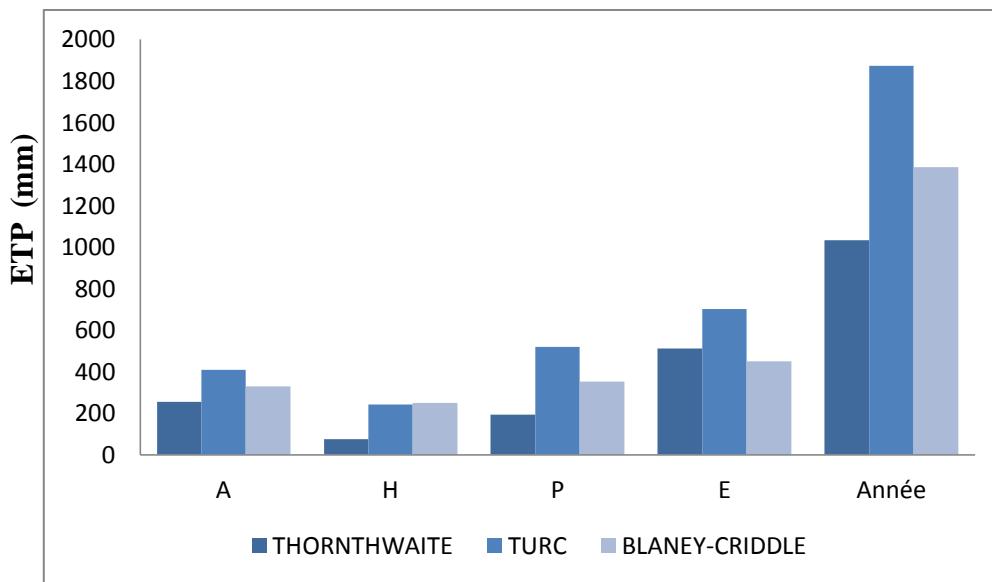
**Tableau 5. 4 – Données spécifiques à la station de Zenata**

Formule / Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Année
THORNTHWAITE	254	76	193	511	1034
TURC	410	242	520	701	1873
BLANEY-CRIDDLE	329	251	353	451	1 384

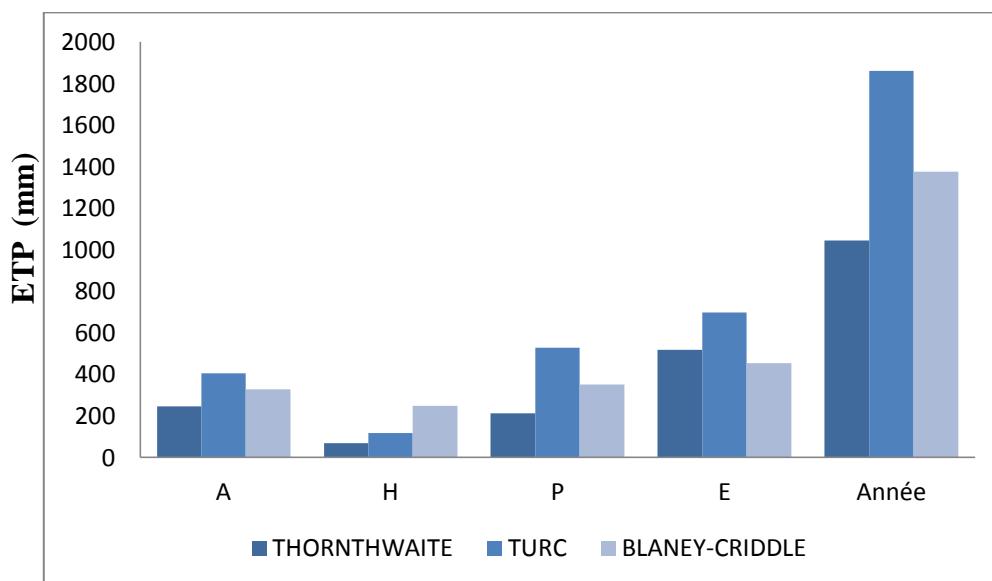
**Tableau 5. 5 – Données relatives à la station de Maghnia**

Formule / Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Année
THORNTHWAITE	245	68	212	519	1044
TURC	404	117	526	698	1861
BLANEY-CRIDDLE	326	247	350	453	1 376

Les figures ci-dessous présentent les comparaisons des valeurs moyennes pour la période (1976-77 /2012-2013) des ETP tirées à partir des tableaux 5. 4. et 5. 5. pour les deux stations de la région d'étude.



**Figure 5. 1 – Figure de comparaison entre trois formules de l’ETP pour la station de Zenata (1976-1977 /2012-2013)**



**Figure 5. 2 – Figure de comparaison entre trois formules de l’ETP pour la station de Maghnia (1976-1977 /2012-2013)**

Sachant que cette comparaison à l'échelle annuelle et saisonnière sur les moyennes pour la période (1976-77 / 2012-13) peut-être trompeuse car des variations mensuelles interannuelles peuvent être masquées. En revanche, Ces résultats nous permettent de faire les remarques suivantes :

- Les trois méthodes donnent des valeurs inégales, du fait que chaque formule a été élaborée dans un lieu différent, et en dehors de notre région d'étude.

Par exemple, celle de BLANEY-CRIDDLE convient aux régions sub-humides et semi-arides, celle de THORNTHWAITE convient aux régions humides de la région tempérée, celle de TURC a un caractère presque universel, ensuite celle de PENMAN donne des résultats très sûrs à condition que les relevés aient été pris sur des faces gazonnées sous un climat sub-humide (HALIMI, 1980).

- En comparant les valeurs de BLANEY-CRIDDLE avec les deux autres, il paraît que la formule de BLANEY-CRIDDLE surestime l'ETP en hiver et la sous-estime en été.
- Les valeurs de TURC surestiment l'ETP par rapport aux valeurs de BLANEY-CRIDDLE ou bien celle de THORNTHWAITE en automne, au printemps et en été
- Selon COUTAGNE, la formule de THORNTHWAITE sous-estime l'ETP dans les régions où la température annuelle varie entre 15 °C et 20 °C comme c'est le cas de notre région d'étude (Zenata = 18°C, Maghnia = 17,6°C). En effet, cette sous-estimation est marquante d'après notre analyse au niveau des saisons d'Automne, d'hiver et de printemps.
- En région méditerranéenne, SEGUIN (1975) a montré que la formule de THORNTHWAITE sous-estime l'ETP de 40% de novembre à mai et de 25% en été. En appliquant cette démonstration, nous obtenons pour notre analyse sur les valeurs de THORNTHWAITE les résultats portés sur le tableau suivant :

**Tableau 5. 6 – Valeurs de THORNTHWAITE par applications des résultats de SEGUIN (1975) relatives aux stations de Zenata et de Maghnia**

THORNTHWAITE	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Année
Zenata	271	106	270	640	1287
Maghnia	261	96	297	704	1358

- A partir de ces nouveaux résultats, on constate que les valeurs de THORNTHWAITE s'approchent de celles de BLANEY-CRIDDLE pour les saisons d'automne et de printemps, alors que la sous-estimation pour la saison d'hiver reste encore marquante, ainsi que la surestimation pour la saison d'été s'accentue encore un peu plus.
- Enfin, disons que la formule de BLANEY-CRIDDLE est la plus convenable à l'estimation de l'ETP dans la région d'étude. Alors que nous allons l'utilisée dans nos prochains calculs pour l'analyse de certains indices climatologiques.

### 3. INDICES & COEFFICIENT CLIMATOLOGIQUES

En raison de la variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques et de la nécessité de description synthétique, de classement et de comparaison des types de climat et de végétation à travers le monde, de nombreux auteurs ont proposé diverses formules, indices et expressions graphiques, tenant compte d'un nombre plus ou moins élevé de facteurs (LEBOURGEOIS, 2010). Ces derniers ont une valeur numérique qui concerne un espace, un point ou une date. Ces valeurs servent à des applications spécifiques. Celles-ci peuvent porter sur des valeurs quotidiennes, mensuelles, saisonnières, annuelles ou périodiques (ANSER, 2012). Les éléments les plus couramment analysés sont les précipitations, les températures et L'évapotranspiration.

On peut distinguer deux grands types d'indices selon leur finalité (LEBOURGEOIS, 2010) :

- **Les indices climatiques globaux** fournissent des variables synthétiques qui combinent généralement des données climatiques moyennes calculées à partir de séries climatologiques correspondant à un poste d'observation. Ces indices sont valables globalement pour la zone de représentativité du poste considéré. Ils ont été tout d'abord utilisés pour classer et cartographier les climats selon leur aridité par les hydrologues et les géomorphologues (KOPPËN, DE MARTONNE, GAUSSEN et BAGNOULS, MORAL...) puis par les botanistes et écologues (EMBERGER, THORTHWHAITE...). A l'échelle macro-climatique, ces indices permettent d'expliquer la répartition biologique des essences, de définir les limites d'aire biotique coïncidant avec celle d'un facteur climatique précis.
- **Les indices climatiques de production** sont destinés à permettre une estimation de la production d'un type de culture pour une période et dans une zone donnée. Dans ces indices, il existe un modèle climatique sous-jacent nécessitant l'introduction des principaux facteurs qui affectent la croissance des plantes (T, P, durée du jour, rayonnement global, ETP ...).

Les indices et coefficients que nous avons pu regrouper à partir des travaux de PÉGUY (1970), HALIMI (1980), VILLENEUVE (1980), LEBOURGEOIS (2010) et ANSER (2012) ; concernent le domaine de la pluviométrie (coefficient du régime pluviométrique, coefficient pluviométrique relatif d'ANGOT, indice saisonnier de PÉGUY...), ainsi que les températures (indice de chaleur, indice de COUTAGNE, coefficient d'océanité de KERNER...), d'autres combinent les deux paramètres à la fois (indice pluiothermique, indice de DE MARTONNE)

Alors que certains s'intéressent au calcul de croissance / décroissance verticale des températures et des pluies.

A ce niveau, pour des raisons de commodités et de compréhension, nous étions contraints de rapporter, intégralement, certaines notions, nous nous excusons auprès des auteurs concernés.

Dans cette partie nous avons adopté une classification établie par ANSER (2012) qui repose sur le nombre de paramètres utilisés par chaque indice et coefficient, on obtient ainsi :

### 3. 1. Indices et coefficients à une seule variable climatique

#### 3. 1. 1. L'indice de continentalité pluviométrique d'ANGOT (1906)

Cet indice ne fait intervenir que les précipitations mensuelles et caractérise le degré de Continentalité pluviale des sites.

$$I_A = \frac{\sum P (6 \text{ mois les plus chauds})}{\sum P (6 \text{ mois les plus froids})}$$

En appliquant cet indice pour les données de la station de Zenata relatives à l'année 2012-2013, on obtient :  $I_A = \frac{121}{436} = 0,28$

De même pour la station de Maghnia :  $I_A = \frac{107}{164} = 0,65$ .

#### 3. 1. 2. L'indice de continentalité thermique de GORCZINSKI (1920)

Il caractérise la continentalité thermique des sites par la concentration estivale des températures. On peut l'utiliser avec le coefficient d'ANGOT pour avoir une idée des variations pluvio-thermiques selon le degré de continentalité. Il s'exprime comme suit :

$$K' = \frac{1,7 A}{\sin(\gamma + 10 + 9h)} - 14 \quad \text{où :}$$

- A = amplitude thermique annuelle moyenne en ( $^{\circ}\text{C}$ ) ; -  $\gamma$  = latitude en ( $^{\circ}$ )

- h = altitude en kilomètres

Un climat est continental ou semi-continental quand  $I_A$  est supérieur à 1 et  $K'$  supérieur à 25.

L'application de cet indice au niveau sur les données des deux stations de la région d'étude, nous dévoile les résultats suivants :

- Pour la station de Zenata :  $K' = \frac{1,7 \times 11,9}{\sin(35,02 + 10 + 9 \times 0,247)} - 14 = 13,55 ; I_A = 0,28.$

- Pour la station de Maghnia :  $K' = \frac{1,7 \times 13,1}{\sin(34,82 + 10 + 9 \times 0,426)} - 14 = 15,66 ; I_A = 0,65.$

En climat méditerranéen, la continentalité pluviale est toujours inférieure à 1 en raison de la forte sécheresse estivale. Par contre, au niveau thermique, ce climat étant par nature contrasté, les amplitudes annuelles sont importantes mais, comme elles dépendent avant tout de l'importance des températures estivales, elles sont peu déterminantes pour la végétation en tant que facteur thermique. En revanche, elles jouent un rôle important dans l'accentuation de l'aridité comme a pu le montrer EMBERGER avec son quotient pluvio-thermique.

### 3. 1. 3. Coefficient pluviométrique relatif d'ANGOT

Le coefficient pluviométrique relatif d'ANGOT (C.P.R.) permet de faire la distinction entre les mois pluvieux et les mois non pluvieux. Il s'exprime par le rapport de la moyenne pluviométrique mensuelle réelle (M.P.M.R) et la moyenne pluviométrique mensuelle fictive (M.P.M.F). Cette dernière est égale au rapport du total pluviométrique annuel par 365 jours.

Le résultat est multiplié par le nombre de jours du mois considéré. Ce coefficient s'écrit

comme suit :  $CPR = \frac{MPMR}{MPMF}$  où :

- MPMR : est la moyenne pluviométrique mensuelle réelle.

- MPMF : est la moyenne pluviométrique mensuelle fictive.

Cette moyenne pluviométrique mensuelle fictive est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$MPMF = \frac{TPA}{365} nj \text{ où :}$$

- TPA : est le total pluviométrique annuel en mm.

- nj : est le nombre des jours du mois considéré.

Pour le calcul du coefficient pluviométrique d'ANGOT (C.P.R), il faut en premier lieu calculer la moyenne pluviométrique mensuelle fictive (M.P.M.F), qui varie selon le nombre de jours de chaque mois.

Nous allons appliquer la formule relative au calcul de la M.P.M.F pour trois types de mois :

- Pour les mois de 31 jours dont la moyenne pluviométrique mensuelle réelle est égale (pour janvier 2013 à Zenata par exemple) à 103 mm.

$$MPMF = \frac{557}{365} \times 31 = 47,3$$

- Pour les mois de 30 jours et dont la moyenne pluviométrique mensuelle réelle est égale (pour Avril 2013, toujours à Zenata) à 68 mm.

$$MPMF = \frac{557}{365} \times 30 = 45,78$$

- Pour le mois de février deux scénarios peuvent se présenter :

\* Si ce mois compte 28 jours (exemple du mois de Février 2013 à la station de Zenata) alors :

$$MPMF = \frac{557}{365} \times 28 = 42,72$$

\* Si ce mois compte 29 jours (exemple du mois de Février 2012 à la station de Zenata) alors :

$$MPMF = \frac{271}{365} \times 29 = 21,53$$

Après cette étape, nous pouvons calculer le coefficient pluviométrique relatif (CPR) pour chaque mois, sachant qu'un mois est considéré pluvieux si le CPR > 1. Alors qu'un mois est considéré non pluvieux si le CPR < 1.

- Pour le mois de janvier :  $CPR = \frac{103}{47,3} = 2,18$ .

- Pour le mois d'avril :  $CPR = \frac{68}{45,78} = 1,49$ .

- Pour le mois de février (28 jours) :  $CPR = \frac{47}{42,72} = 1,1$

- Pour le mois de février (29 jours) :  $CPR = \frac{42}{21,53} = 1,95$ .

Nous constatons que la valeur du CPR obtenue pour ces mois est supérieure à 1, cela signifie qu'ils sont pluvieux.

### 3. 1. 4. Coefficient du régime pluviométrique

A ne pas confondre avec le coefficient pluviométrique relatif (C.P.R), le coefficient du régime pluviométrique (C.R.P) permet de situer, statistiquement le maximum pluviométrique. Il permet aussi de définir le régime des pluies (équatorial, tropical, continental, maritime, ...).

Il s'exprime de la manière suivante :  $CRP = \frac{h}{\frac{H}{365} \times n}$  où :

- CRP : est le coefficient du régime pluviométrique.

- h : est la hauteur mensuelle des pluies en mm.

- H : est la hauteur annuelle des pluies en mm.
- n : est le nombre de jours pluvieux du mois considéré.

Pour la station de Zenata, par exemple, en utilisant les données suivantes pour le mois de

$$\text{Janvier 2013 : } h = 103 \text{ mm ; } H = 557 \text{ mm ; } n = 11. \text{ Nous obtenons : } \text{CRP} = \frac{103}{\frac{557}{365} \times 11} = 6,14$$

La valeur du coefficient du régime pluviométrique croît proportionnellement avec la quantité pluviométrique mensuelle.

### 3. 1. 5. Moyenne pluviométrique relative

La méthode dite la moyenne pluviométrique relative (M.P.R) permet de faire la distinction entre les mois pluvieux et les mois non pluvieux. Elle considère que le total pluviométrique annuel est égal à 100 %. La part de chaque mois vaut  $1/12^{\text{eme}}$ . Le mois est considéré comme pluvieux si sa part est supérieure à  $1/12^{\text{eme}}$ . Par contre, il est non pluvieux si celle-là est inférieure au  $1/12^{\text{eme}}$ . Elle s'écrit de la manière suivante :  $\text{MRP} = P / p$ . où :

- P : est le total pluviométrique annuel en valeur relative, qui est de 100 %.
- p : est le total pluviométrique mensuel en valeur relative.

Deux cas de figures sont probables :

$p > 8,3\%$ , le mois considéré est non pluvieux.

$p < 8,3\%$ , le mois considéré est pluvieux.

L'exemple ci-dessous permettra d'apprécier l'aisance de cette méthode. Pour la station de Zenata, nous avons les données suivantes de l'année agricole 2012-2013 (Tableau 5. 7.)

**Tableau 5. 7 – Pluies moyennes mensuelles à Zenata (2012-13)**

Mois	Pluies en mm	Pluies en %	Mois	Pluies en mm	Pluies en %
Septembre	37	6,64	Mars	44	7,9
Octobre	36	6,46	Avril	68	12,2
Novembre	155	27,8	Mai	46	8,26
Décembre	19	3,41	Juin	0	0
Janvier	103	18,5	Juillet	1	0,18
Février	47	8,44	Aout	1	0,18
					Total : 557 mm

La lecture de cette série statistique permet de formuler les résultats suivants :

- Quatre mois pluvieux (novembre, janvier, février et avril). Ils ont une moyenne pluviométrique relative supérieure à 8,3 %.

- Sept mois sont non pluvieux (septembre, octobre, décembre, mars, mai, juin, juillet, août). Ils ont une moyenne pluviométrique relative inférieure à 8,3 %.

### 3. 1. 6. Indice saisonnier de PEGUY

L'indice saisonnier de PEGUY permet de vérifier la pertinence des saisons. Il permet de faire ressortir, pour la pluviométrie, les trois mois les plus pluvieux (ANSER, 2012).

La plus simple est de venir rechercher quels sont les trois mois consécutifs dont la somme des hauteurs d'eau soit la plus grande possible, indépendamment de toute définition à priori d'une saison et à exprimer le rapport de ce total trimestriel au total annuel (HALIMI, 1980). Donc, il s'agit de faire la somme des mois trimestre par trimestre, de manière à avoir un classement décroissant de ces trimestres (tableau 5. 8.).

Cette méthode permet de classer ces trimestres en fonction de leur total pluviométrique, en utilisant la première lettre de chaque saison. à titre d'exemple, HPAE, indique le classement suivant : Hiver, Printemps, Automne, Eté. C'est-à-dire que l'Hiver est le plus pluvieux. Il est suivi du Printemps et de l'Automne. L'Eté vient en dernier. Sachant que ces trimestres peuvent coïncider avec la définition astrologique des saisons, comme ils peuvent être différents. Cet indice peut prendre plusieurs formes. Elles découlent du regroupement des mois trois par trois.

**Tableau 5. 8 – Quantité pluviométrique mensuelle et indice de PEGUY**

Mois	P (mm)	Regroupement des mois trois par trois	Total P (mm)
Septembre	37	Septembre + Octobre + Novembre	228
Octobre	36	Octobre + Novembre + Décembre	210
Novembre	155	Novembre + Décembre + Janvier	277
Décembre	19	Décembre + Janvier + Février	169
Janvier	103	Janvier + Février + Mars	194
Février	47	Février + Mars + Avril	159
Mars	44	Mars + Avril + Mai	158
Avril	68	Avril + Mai + Juin	114
Mai	46	Mai + Juin + Juillet	47
Juin	0	Juin + Juillet + Aout	2
Juillet	1	Juillet + Août + Septembre	20
Août	1	Aout + Septembre + Octobre	19
Septembre	18	Données pluviométriques de la station de Zenata pour l'année agricole 2012-2013	
Octobre	0		

Classement par ordre décroissant en fonction des totaux pluviométriques obtenus :

- 1- (277 mm) trimestre formé par : novembre, décembre et janvier.
- 2- (288 mm) trimestre formé par : septembre, octobre et novembre (Automne).
- 3- (210 mm) trimestre formé par : octobre, novembre et décembre.
- 4- (194 mm) trimestre formé par : janvier, février et mars.
- 5- (169 mm) trimestre formé par : décembre, janvier et février (Hiver).
- 6- (159 mm) trimestre formé par : février mars et avril.
- 7- (158 mm) trimestre formé par : mars, avril et mai (Printemps).
- 8- (114 mm) trimestre formé par : avril, mai et juin.
- 9- (47 mm) trimestre formé par : mai, juin et juillet.
- 10- (20 mm) trimestre formé par : juillet, août et septembre.
- 11- (19 mm) trimestre formé par : août, septembre et octobre.
- 12- (2 mm) trimestre formé par : Juin, juillet et août (Eté).

L'arrangement des quatre totaux pluviométriques qui coïncident avec les trimestres astrologiques permet de définir l'indicatif saisonnier de cette station. Il est formé par les quatre initiales de ces quatre totaux pluviométriques. Il est du type AHPE. Autrement dit, l'Automne est le plus arrosé pour cette année agricole de 2012-2013, il est suivi de l'Hiver et du Printemps. L'Eté vient en dernier.

- Les trimestres astrologiques sont un groupement des mois trois par trois.
- Nous constatons que l'Hiver n'est pas le trimestre le plus pluvieux, il est devancé par le trimestre formé par novembre, décembre et janvier. Ceci montre les limites de cet indice.

### 3. 1. 7. Gradient pluviométrique

La pluviométrie varie d'un point à un autre, le gradient pluviométrique permet de saisir cette variation. Il est, notamment, utilisé pour saisir la croissance de la pluie avec l'altitude en prenant en compte deux points différents. Il s'écrit de la manière suivante :  $GP = \frac{\Delta P}{\Delta H}$  où :

- $GP$  : est le gradient pluviométrique exprimé en millimètre pour 100 m ( $X$  mm / 100 m)
- $\Delta P$  : est la différence pluviométrique entre les deux points en mm.
- $\Delta H$  : est la différence altitudinale entre les deux points en mètres.

Pour le calcul de ce gradient, il faut prendre en considération certaines précautions qui sont d'ordre géographique notamment :

- La distance séparant les deux stations. Celle-ci ne doit pas dépasser 80 Kms.
- La différence altitudinale et l'exposition.

Pour illustration, nous avons pris un exemple relatif aux stations de Zenata et Maghnia. Les données qui servent à calculer ce gradient sont portées sur le tableau 5. 9.

**Tableau 5. 9 - Altitude et pluviométrie à Zenata et Maghnia**

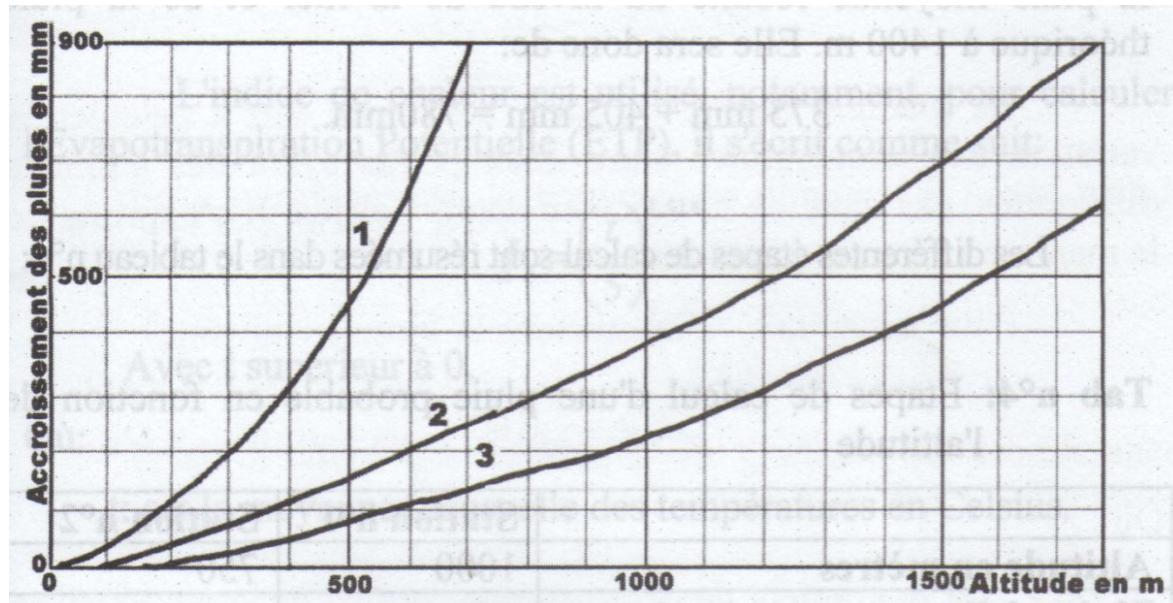
	Zenata	Maghnia
Altitude en m	247	426
Pluviométrie en mm	377	430

- La différence altitudinale est de 179 m.
- La différence pluviométrique (exemple de l'année 2009-2010) est de 53 mm.

$$GP = \frac{\Delta P}{\Delta H} = \frac{53}{179} = 0,3$$

La lecture du tableau 5. 9. révèle que la pluviométrie augmente pour l'année 2009-2010, de Zenata à Maghnia de 0,3 mm pour chaque mètre, ou de 30 mm / 100 m. Cet outil sert à calculer, à partir d'une station de référence, la pluie probable d'une autre station.

En Algérie, SELTZER a proposé des courbes d'accroissement pluviométriques avec l'altitude qui permettent de calculer la pluie en fonction de l'altitude (Figure 5. 3).



**Figure 5. 3 - Courbes d'accroissement de la pluie avec l'altitude (Source : ANSER, 2012)**

Sachant que : 1- Littoral ; 2- Atlas tellien oriental et central ; 3- Atlas tellien occidental, Hautes Plaines, atlas saharien et Sahara.

Ces courbes prennent en considération la situation géographique de la station considérée. SELTZER a fait la distinction entre trois unités physiques à savoir l'Atlas tellien, l'Atlas saharien et le piedmont sud

Si nous devions calculer la quantité de pluie probable à 1 400 m d'altitude. Nous prenons deux stations situées respectivement à 1 000 m et 750 m d'altitude, sachant que la pluie enregistrée est de 660 mm/an pour la première et 500 mm/an pour la seconde.

- Dans une première étape, on se réfère à la courbe de croissance pluviométrique pour réduire la pluviométrie de ces stations au niveau de la mer. Sur la courbe, on lit respectivement 255 mm/an pour la première station et 125 mm/an pour la seconde.
- Dans une seconde étape, on soustrait les pluies au niveau de la mer (lecture sur la courbe) des pluies enregistrées, ce qui nous donne :

$$600 \text{ mm} - 225 \text{ mm} = 435 \text{ mm.}$$

$$500 \text{ mm} - 125 \text{ mm} = 375 \text{ mm.}$$

La moyenne de ces deux dernières valeurs exprime la pluie moyenne réduite au niveau de la mer  $(435 \text{ mm} + 375 \text{ mm}) / 2 = 405 \text{ mm.}$

- Dans une troisième étape, on lit sur la courbe de croissance pluviométrique la pluie à 1 400 m d'altitude. Elle est de 375 mm. C'est ainsi que la pluie probable à 1 400 m est égale à la somme de la pluie moyenne réduite au niveau de la mer et de la pluie théorique à 1 400 m. elle sera donc de :  $375 \text{ mm} + 405 \text{ mm} = 780 \text{ mm.}$

Les différentes étapes de calcul sont résumées dans le tableau 5.10.

**Tableau 5. 10 – Etapes de calcul d'une pluie probable en fonction de l'altitude**

	Station n°1	Station n°2
Altitude en mètres	1 000	750
Pluie réellement enregistrée par an	660	500
Réduction au niveau de la mer de la pluie en mm	225	125
Pluie réduite au niveau de la mer en mm	$660 - 225 = 435$	$500 - 125 = 375$
Pluie moyenne réduite au niveau de la mer en mm	$(435 + 375) / 2 = 405$	
Pluie au niveau de 1 400 m en mm sur la courbe	375	
Pluie probable à 1 400 m en mm	$375 + 405 = 780$	

### 3. 1. 8. Indice de chaleur

L'indice de chaleur est utilisé, notamment, pour calculer l'Evapotranspiration Potentielle (ETP), il s'écrit comme suit :  $I_c = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$  Avec :  $t > 0$

Où :  $t$  est la moyenne mensuelle des températures en Celsius.

On peut relever les valeurs de cet indice à partir du Tableau 1 – Annexe C.

En utilisant à titre d'exemple, la moyenne thermique relative au mois de Septembre 2012, à la station de Zenata, qui est égale à 24,4 °C, nous aurons :  $I_c = \left(\frac{24,4}{5}\right)^{1,514} = 11,02$

Par contre pour le mois de janvier 2013, dont la moyenne thermique mensuelle est de 10,6 °C, pour la même station, l'indice de chaleur est égale à :  $I_c = \left(\frac{10,6}{5}\right)^{1,514} = 3,12$

On déduit que les valeurs de cet indice croît avec l'augmentation des températures.

### 3. 1. 9. Gradient de la décroissance verticale et longitudinale de la température

Le gradient de décroissance thermique sert à calculer la variation des températures entre deux points ayant des altitudes différentes, par unité de distance en degré Celsius. Il s'exprime de la manière suivante :  $X °C / 100 m$ . pour le calculer, nous utilisons la formule suivante :

$$GT = \frac{\Delta T}{\Delta H} \cdot 100 \text{ où :}$$

- GT : est le gradient de décroissance vertical de la température entre deux points.
- $\Delta T$  : est la différence thermique entre les deux points en (°C).
- $\Delta H$  : est la différence altitudinale entre les deux points en (m).

Pour les stations de Zenata et Maghnia, nous disposons des données suivantes (pour le mois de décembre 2012) (Tableau 5. 11.).

**Tableau 5. 11 – Altitude et températures à Zenata et Maghnia**

	Zenata	Maghnia
Altitude en m	247	426
Température en (°C)	12,3	11,9

- La différence altitudinale est de 179 m.
- La différence thermique est de 0,4 °C.

$$GT = \frac{0,4}{179} \cdot 100 = 0,22 °C.$$

En d'autres termes, la température diminue pour le mois de décembre 2012, de Zenata à Maghnia, de 0,22 °C / 100 m.

Il est évident que le calcul du gradient de décroissance altitudinale des températures doit obéir à certains paramètres (distances, exposition, altitude, ...). Ce gradient sert, à partir d'une station de référence, à calculer la température probable d'une autre station selon son altitude.

**N.B. :** Il existe un autre gradient, celui de la décroissance longitudinale de la température, qui permet de calculer la décroissance thermique entre deux points ayant la même altitude tout en utilisant la distance horizontale qui les sépare selon la différence thermique et la distance

entre les deux points considérés. On applique la formule suivante :  $GT = \frac{\Delta T}{D}$  où :

- GT : représente le gradient de décroissance thermique qui s'exprime en (°C / Km).
- $\Delta T$  : est la différence thermique, en (°C), entre les deux points.
- D : est la distance entre les deux points en Km.

### 3. 1. 10. Température limite

Il est évident que les températures constituent un facteur vital pour le tapis végétal. En effet, la saison végétatif est limitée à la fois par les valeurs thermiques maximales et minimales. Pour calculer la durée de la saison végétative, les botanistes ont proposé un indice qui permet de calculer cette saison en fonction des moyennes thermiques maximales et minimales. Il s'écrit de la manière suivante :

$$N = 12 \frac{M - 10}{M - m} \quad \text{où :}$$

- N : est la durée de la saison végétative en mois.
- M : Température moyenne du mois le plus chaud en (°C).
- m : Température moyenne du mois le plus froid en (°C).

Pour les stations de Zenata et Maghnia nous avons les données suivantes relatives à l'année agricole 2012-2013 :

- M est égale à 25,8 °C pour Zenata et 28,7 °C pour Maghnia.
- m est égale à 9,7 °C pour Zenata et 10,6 °C pour Maghnia.

L'application de la formule relative à la température limite nous donne les résultats suivants :

$$\text{- Pour Zenata : } N = 12 \frac{25,8 - 10}{25,8 - 9,7} = 11,8 \approx 12$$

$$\text{- Pour Maghnia : } N = 12 \frac{28,7 - 10}{28,7 - 10,6} = 12,4$$

Autrement dit, la saison végétative dure, théoriquement, plus de 11 mois à Zenata (à peu près toute l'année), tandis qu'à Maghnia elle est de 12 mois.

### 3. 1. 11. Indice de continentalité de JOHANSON

Cet indice permet de mesurer l'effet de la continentalité sur une station. Pour cela, JOHANSON utilise l'amplitude thermique annuelle en degré Celsius et la latitude géographique de la station considérée. Cet indice s'écrit de la manière suivante :

$$K = \frac{1,6 A}{\sin \alpha} - 14 \quad \text{où :}$$

- K : est l'indice de continentalité de JOHANSON
- A : est l'amplitude thermique annuelle en (°C). Elle est égale à la différence entre la moyenne thermique du mois le plus chaud et la moyenne thermique du mois le plus froid.
- $\alpha$  : est le degré latitude de la station considérée.

Pour la station de Zenata, nous avons les données suivantes pour l'année 2012-2013 :

- La moyenne thermique du mois le plus chaud = 25,8 °C ; et du mois le plus froid = 9,7 °C.
- L'amplitude thermique (A) est égale à 16,1°C.
- Le degré latitude de la station considérée est de 35°02 nord.
- Le sinus du degré latitude de la station considérée est de 0,57.

En remplaçant les variables chacune par sa valeur, nous aurons :

$$K = \frac{1,6 \times 16,1}{0,57} - 14 = \frac{25,76}{0,57} - 14 = 31,2.$$

Pour la station de Maghnia, nous disposons des données suivantes pour l'année 2012-13 :

- La moyenne thermique du mois le plus chaud = 28,7 °C ; et du mois le plus froid = 10,6 °C.
- L'amplitude thermique (A) est égale à 18,1°C.
- Le degré latitude de la station considérée est de 34°82 nord. Alors que son sinus est de 0,57.

En remplaçant les variables chacune par sa valeur, nous aurons :

$$K = \frac{1,6 \times 18,1}{0,57} - 14 = \frac{28,96}{0,57} - 14 = 36,8.$$

Cet indice est égal à 31,2 à Zenata et est un peu plus élevé à Maghnia où il est de 36,8 ce qui est logique pour deux stations différemment situées. Donc cet indice est d'autant plus élevé lorsque la continentalité est prononcée.

Pour cet indice JOHANSON définit deux seuils, en fonction des valeurs de cet indice :

- Le zéro est synonyme du climat océanique.
- La valeur 100 correspond à un climat hyper continental.

### 3. 1. 12. Indice de COUTAGNE

Tout comme l'indice de continentalité de JOHANSON, l'indice de COUTAGNE permet de saisir l'influence continentale. Il reprend la définition du coefficient pluviométrique relatif (C.P.R) d'ANGOT. Il s'écrit de la manière suivante :

$$R = \frac{\sum \text{CPR 6 mois les plus chauds}}{\sum \text{CPR 6 mois les plus froids}} \text{ où :}$$

- CPR : est le coefficient pluviométrique d'ANGOT. Il définit trois degrés de continentalité :
- 1- Climat non continental, si la valeur de R est inférieure à 1 ( $R < 1$ ).
- 2- Climat semi-continental, si la valeur de R est comprise entre 1 et 1,75 ( $1 < R < 1,75$ ).
- 3- Climat continental, si la valeur de R est supérieure à 1,75 ( $R > 1,75$ ).

Nous allons prendre, pour l'illustration de ce coefficient, les données des deux stations de Zenata et de Maghnia sont illustrées dans le tableau 5. 12.

**Tableau 5. 12 – Pluies et températures mensuelles à Zenata et Maghnia (2012-2013)**

Mois	Zenata		Maghnia	
	P (mm)	T (°C)	P (mm)	T (°C)
Septembre	37	24,4	42	25,4
Octobre	36	20,0	24	21,1
Novembre	155	15,9	25	15,8
Décembre	19	12,3	13	11,9
Janvier	103	10,6	37	11,1
Février	47	9,7	29	10,6
Mars	44	13,8	44	15,1
Avril	68	14,7	16	16,8
Mai	46	16,8	33	19,5
Juin	0	20,5	0	23,8
Juillet	1	23,4	0	27,4
Août	1	25,8	8	28,7
Total	557	-	271	-

Les étapes à suivre sont les suivantes :

1. Définir, à partir des données du tableau 4. 12. pour les deux stations, les mois chauds et les mois froids :

- Les six mois les plus froids sont : Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril.
- Les six mois les plus chauds sont : Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre et Octobre.

2. Calculer le coefficient pluviométrique relatif (CPR) d'ANGOT pour les deux stations.

Pour calculer le CPR d'ANGOT, nous utilisons les deux formules suivantes :

- La première sert à calculer la moyenne pluviométrique mensuelle fictive (MPMF) :

$$MPMF = \frac{TPA}{365} \cdot nj$$

- Tandis que la seconde permet de calculer le CPR :  $CPR = \frac{MPMR}{MPMF}$

Pour illustration, nous donnons un exemple relatif au calcul de la MPMF, du mois de janvier

pour la station de Zenata :  $MPMF = \frac{557}{365} \cdot 31 = 47,3$  alors que le CPR =  $\frac{103}{47,3} = 2,18$ .

Les résultats de la moyenne pluviométrique mensuelle fictive pour les deux stations sont portés sur le tableau 5. 13.

**Tableau 5. 13 – Moyenne pluviométrique mensuelle fictive (mm) des deux stations**

Mois	Zenata	Maghnia
Septembre	45,8	22,3
Octobre	47,3	23,0
Novembre	45,8	22,3
Décembre	47,3	23,0
Janvier	47,3	23,0
Février	42,7	20,8
Mars	47,3	23,0
Avril	45,8	22,3
Mai	47,3	23,0
Juin	45,8	22,3
Juillet	47,3	23,0
Août	47,3	23,0

L'application de la seconde formule relative au calcul du coefficient pluviométrique relatif (C.P.R) nous donne les résultats suivants (Tableau 5. 14.).

**Tableau 5. 14 – Coefficients pluviométriques relatifs des deux stations**

Mois	Zenata	Maghnia
Septembre	0,81	1,88
Octobre	0,76	1,04
Novembre	3,38	1,12
Décembre	0,40	0,57
Janvier	2,18	1,61
Février	1,1	1,39
Mars	0,93	1,91
Avril	1,48	0,72
Mai	0,97	1,43
Juin	0	0
Juillet	0,02	0
Août	0,02	0,35

3- La somme des C.P.R est résumée dans le tableau 5. 15.

**Tableau 5. 15 – somme des CPR pour les deux stations**

Total des C.P.R	Zenata	Maghnia
Des six mois les plus chauds	2,58	4,7
Des six mois les plus froids	9,47	7,32

4- Calcul de l'indice (R) de COUTAGNE, en utilisant la formule suivante :

$$R = \frac{\sum \text{CPR 6 mois les plus chauds}}{\sum \text{CPR 6 mois les plus froids}}$$

- Pour la station de Zenata :  $R = \frac{2,58}{9,47} = 0,27$

- Pour la station de Maghnia :  $R = \frac{4,7}{7,32} = 0,64$

En fonction des résultats de l'indice (R) de COUTAGNE deux remarques s'imposent :

La valeur de l'indice (R) de COUTAGNE augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer. Par ailleurs, en fonction des seuils définis par COUTAGNE, les deux stations appartiennent à un climat continental.

### 3. 1. 13. Coefficient d'océanité de KERNER

Si les indices de JOHANSON et de COUTAGNE permettent de saisir l'influence de la continentalité, le coefficient d'océanité de KERNER permet de nous renseigner sur l'effet des surfaces aquatiques (océans, mers, lacs, etc.) sur les températures.

Il s'exprime de la manière suivante :  $O = 100 \frac{T_0 - T_a}{A}$  où :

- $T_0$  : est la Moyenne thermique du mois d'octobre.
- $T_a$  : est la moyenne thermique du mois d'avril
- $A$  : amplitude thermique annuel

Pour illustrer le coefficient d'océanité de KERNER, utilisons les mêmes données des stations de Zenata et de Maghnia pour l'année 2012-2013 qui sont portées sur le tableau 5. 16.

**Tableau 5. 16 – Données thermiques relatives aux stations de Zenata et de Maghnia**

	Zenata	Maghnia
$T$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) d'octobre	20,0	21,1
$T$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) d'avril	14,7	16,8
Amplitude thermique	16,1	18,1

L'application de la formule du coefficient d'océanité de KERNER pour la station de Zenata nous donne :  $O = 100 \frac{20 - 14,7}{16,1} = 32,92$

Pour la station de Maghnia, le coefficient d'océanité de KERNER est égale à :

$$O = 100 \frac{21,1 - 16,8}{18,1} = 23,76$$

En fonction des résultats du coefficient de KERNER, nous constatons que la valeur du coefficient d'océanité de KERNER diminue avec l'éloignement de la mer. Elle traduit l'effet de la diminution de la mer méditerranée au fur et à mesure qu'on s'éloigne de cette surface aquatique.

### 3. 1. 14. Indice végétatif

Cet indice permet de saisir les relations qui existent entre la végétation et les températures quotidiennes. Il se présente sous deux formes :

1- Annuelle, elle s'écrit de la manière suivante :  $I = 2 \frac{t_i - 4}{10} = \frac{t_i - 4}{5}$  où :

- $I$  : est l'indice végétatif.
- $t_i$  : est la température quotidienne.
- 4 : constante qui représente le seuil thermique des herbacées.

2- Mensuelle, elle s'écrit de la manière suivante :  $I_m = n_i 2 \frac{t_i - 4}{10}$  où :

- $n_i$  : représente le nombre de jours du mois considéré.

Pour la station de Zenata, nous avons pour les mois de janvier et juillet (2012-2013) :

- $t_i = 18^\circ\text{C}$  et  $31^\circ\text{C}$  respectivement en janvier et juillet.
- $n_i = 31$  = nombre de jours pour chaque mois.

L'application de ces données révèle les résultats suivants :

- Pour le mois de Janvier :  $Im = 31 \times 2 \frac{18,1 - 4}{10} = 87,42$
- Pour le mois de Juillet :  $Im = 31 \times 2 \frac{31 - 4}{10} = 167,4$

### 3. 1. 15. Méthode des rapports

La méthode des rapports sert à faire la distinction entre les mois en fonction de leur pluviosité. Elle nécessite pour son application une série de données. Il s'agit de calculer le rapport entre la quantité pluviométrique d'un mois et la moyenne pluviométrique de celui-ci.

Elle s'écrit de la manière suivante :  $R = \frac{X_i}{\bar{X}}$  où :

- $X_i$  : est la quantité pluviométrique d'un mois donnée en mm.
- $\bar{X}$  : est la moyenne pluviométrique du mois considéré en mm.

Au vu des résultats obtenus, la méthode définit quatre degré de pluviosité :

- 1-  $R > 0,60$  : le mois est peu pluvieux.
- 2-  $0,60 < R < 1,00$  : le mois est mi- pluvieux.
- 3-  $1,00 < R < 2,00$  : le mois est pluvieux.
- 4-  $R > 2,00$  : le mois est hyper-pluvieux.

Pour illustration, nous utilisons les données suivantes de la station de Zenata (Tableau 5. 17.) :

**Tableau 5. 17 – Données pluviométrique spécifique à la station de Zenata**

Mois	Moyenne pluviométrique mensuelle en mm. (1975-76 / 2012-13)	Quantité pluviométrique mensuelle en mm (2012-2013)
Septembre	16	37
Octobre	28	36
Novembre	52	155
Décembre	38	19
Janvier	44	103
Février	46	47
Mars	44	44
Avril	39	68
Mai	29	46
Juin	6	0
Juillet	2	1
Août	4	1
Total	348	557

L’application de la formule relative à la méthode des rapports donne les résultats

suivants : Pour le mois de Septembre :  $R = \frac{Xi}{\bar{X}} = \frac{37}{16} = 2,3$

De la même manière nous calculons R pour les autres mois, les résultats sont portés sur le tableau 5.18.

**Tableau 5. 18 – Valeur mensuelle de R pour la station de Zenata**

Mois	R	Mois	R
Septembre	2,31	Mars	1,00
Octobre	1,29	Avril	1,74
Novembre	2,98	Mai	1,59
Décembre	0,50	Juin	0
Janvier	2,34	Juillet	0,50
Février	1,02	Août	0,25

En fonction des degrés de pluviosité définis auparavant, les mois se répartissent de la manière suivante :

- 1- Les mois où  $R > 0,60$  sont : Juin, juillet, août, décembre. Ces mois sont peu pluvieux.
- 2- Les mois où la valeur de R varie de 0,60 à 1,00 est le mois de Mars.
- 3- Les mois où la valeur de R varie de 1,00 à 2,00 sont : octobre, février, avril et mai. Ils sont pluvieux.
- 4-  $R > 2,00$  caractérise les mois de septembre, novembre et janvier. Ils sont hyper pluvieux.

### 3. 1. 16. Indice d'évaporation de DUBIEF

Cet indice permet de calculer la durée d'évaporation d'une pluie. Il s'exprime de la

$$\text{manière suivante : } D = \frac{P}{ej} \quad \text{où :}$$

- P : est la hauteur annuelle des pluies en mm.
- ej : l'évaporation journalière moyenne mesurée grâce à l'évaporomètre de PICHE, en mm.
- D : est le nombre de jours que mettrait une pluie, reçue pendant une année, pour s'évaporer.

DUBIEF définit trois seuils :

- 1- D = 28, marque la limite supérieure du désert.
- 2- D = 100, correspond aux cultures non irriguées.
- 3- D = 365, cette valeur est atteinte quand la hauteur des pluies annuelles est supérieure à l'évapotranspiration potentielle.

Pour la station de Zenata, nous avons pour l'année 2012-13 : P = 557 mm ; ej = 2,8 mm.

$$\text{L'application de la formule précédente, nous donne le résultat suivant : } D = \frac{557}{2,8} = 198,9.$$

La valeur de l'indice de DUBIEF, pour la station de Zenata est située entre 100 et 365. La valeur 100 correspond aux cultures non irriguées, tandis que celle de 365 est atteinte quand la hauteur des pluies annuelles est supérieure à l'évapotranspiration potentielle.

Autrement dit, pour la station de Zenata, le résultat obtenu permet de dire que l'agriculture non irriguée peut être pratiquée sans risques.

### 3. 2. Indices et coefficients à deux variables climatiques

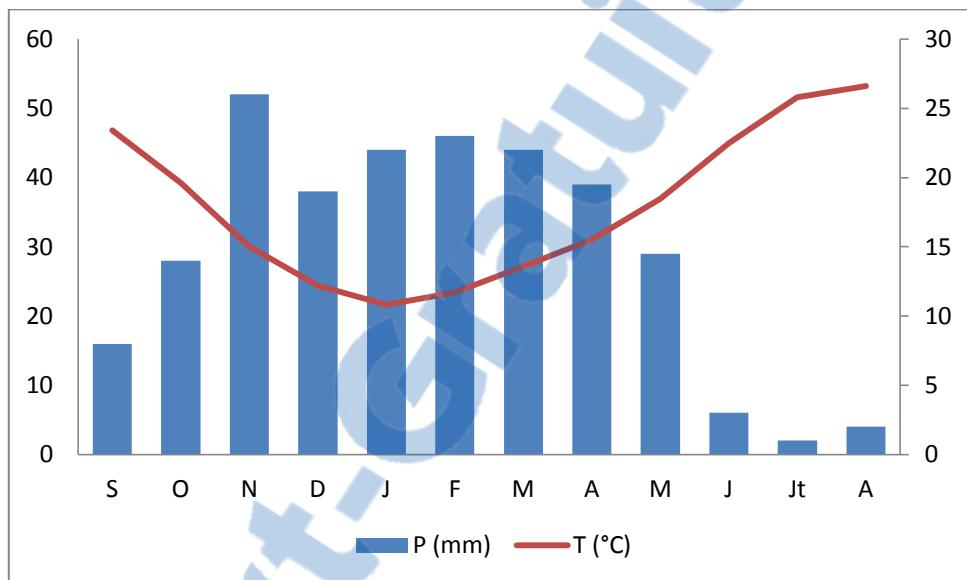
#### 3. 2. 1. Indices de GAUSSEN et BAGNOULS (1953)

BAGNOULS & GAUSSEN (1953) ont élaboré un classement climatique de la région méditerranéenne satisfaisant aux nécessités de l'écologie végétale et mettant en exergue la période xérothème (terme forgé de deux mots grecs signifiant sec et long) (KAZI TANI, 2011). Cet indice tient compte des moyennes mensuelles des précipitations (P en mm) et de la température (T en °C) et donne une expression relative de la sécheresse estivale en durée et en intensité (LEBOURGEOIS, 2010). Celle-ci est appréciée à travers un indice qui associe les moyennes mensuelles des pluies (en mm) et des températures (en °C), pour faire la distinction entre les mois humides et les mois secs (ANSER, 2012). Il est défini de la manière suivante :

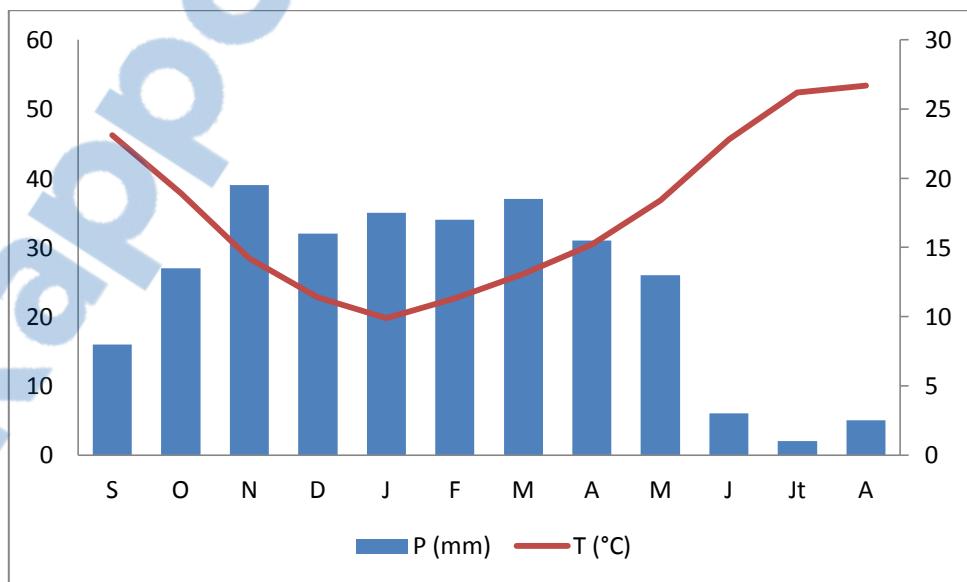
Un mois donné est considéré comme sec quand  $P < 2T$  c'est-à-dire quand l'évapotranspiration potentielle (ETP) est supérieure aux précipitations. Inversement, quand  $P > 2T$ , le mois est considéré comme humide.

Cet indice est souvent illustré par un diagramme appelé « Diagramme ombrothermique de GAUSSEN ». Ce dernier permet de faire la distinction entre la période humide, où  $P > 2T$ , et la période sèche où  $P < 2T$

Les diagrammes ombrothermique des deux stations sont comme suit :



**Figure 5. 4 – Diagramme ombrothermique de GAUSSEN pour la station de Zenata (1976-2012)**



**Figure 5. 5 – Diagramme ombrothermique de GAUSSEN pour la station de Maghnia (1976-2012)**

Les diagrammes ombrothermique de Zenata et Maghnia mettent clairement en évidence la ressemblance de régime climatique avec, en moyenne, une très forte sécheresse estivale (juin–juillet–août) dans un contexte méditerranéen. Ces représentations ne sont que des moyennes et masquent totalement les variations interannuelles qui peuvent être localement fortes et avoir des répercussions sur l'agriculture et les écosystèmes forestiers. Globalement, on constate que la saison sèche est assez longue au niveau de notre région d'étude et s'étale sur une durée moyenne d'environ (6) mois, de Mai à Octobre.

En outre, GAUSSEN définit quelques seuils de sécheresse en fonction des quantités pluviométriques mensuelles. Selon GAUSSEN, un mois est sec, lorsque :

- $P < 10$  mm pour une température moyenne  $T < 10^{\circ}\text{C}$ .
- $P < 25$  mm pour une température moyenne  $10^{\circ}\text{C} < T < 20^{\circ}\text{C}$ .

### 3. 2. 2. Indice d'aridité annuelle de DE MARTONNE (1926)

L'indice d'aridité annuelle de MARTONNE, permet de calculer le degré d'aridité annuelle d'une station quelconque. DE MARTONNE utilise, pour une station donnée, la moyenne annuelle des températures et le total annuel des pluies. Il s'écrit de la manière

$$\text{suivante : } IM = \frac{P}{T+10} \text{ où :}$$

- $IM$  : est l'indice d'aridité annuelle.
- $P$  : est le total annuel des pluies en mm.
- $T$  : est la moyenne thermique annuelle en ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- Sachant que la valeur de 10 a été ajoutée aux moyennes thermométriques pour éviter les valeurs négatives de l'indice.

DE MARTONNE a proposé six grands types de climats selon les valeurs de l'indice annuel :

Valeur de IM		Signification
$< 5$	aridité absolue	Désert sans culture
$5 < IM < 10$	désert (Aride)	Désert et steppe ; aucune culture sans irrigation
$10 < IM < 20$	semi-aride	Formations herbacées, steppes ou savanes. Irrigation nécessaire pour les cultures exigeant de l'humidité
$20 < IM < 30$	semi-humide	Prairie naturelle ; irrigation généralement non nécessaire
$30 < IM < 40$	humide	Les arbres jouent un rôle de plus en plus grand dans le paysage.
$IM > 40$	humide	La forêt est partout la formation climatique. Les cultures de céréales tendent à être remplacées par les herbages

A titre d'exemple, nous calculons l'indice d'aridité pour les deux stations de Zenata et de Maghnia. Les données de la station de Zenata pour l'année 2012-2013 sont :

- Le total annuel des pluies est de 557 mm
- La moyenne thermique annuel est égale à 17,9 °C.

En reprenant la formule relative à l'indice annuel des DE MARTONNE, et en remplaçant les variables chacune par sa valeur nous obtenons :  $I_m = \frac{557}{17,9 + 10} = 19,96 \approx 20$

L'indice d'aridité annuel de DE MARTONNE se situe entre 10 et 20. En fonction de ce résultat, la station de Zenata appartient au domaine semi-aride.

Un deuxième exemple concernant la station de Maghnia, dont les données sont relatives à l'année 2012-2013 :

- Le total annuel des pluies est de 271 mm.
- La moyenne thermique annuelle est égale à 18 °C

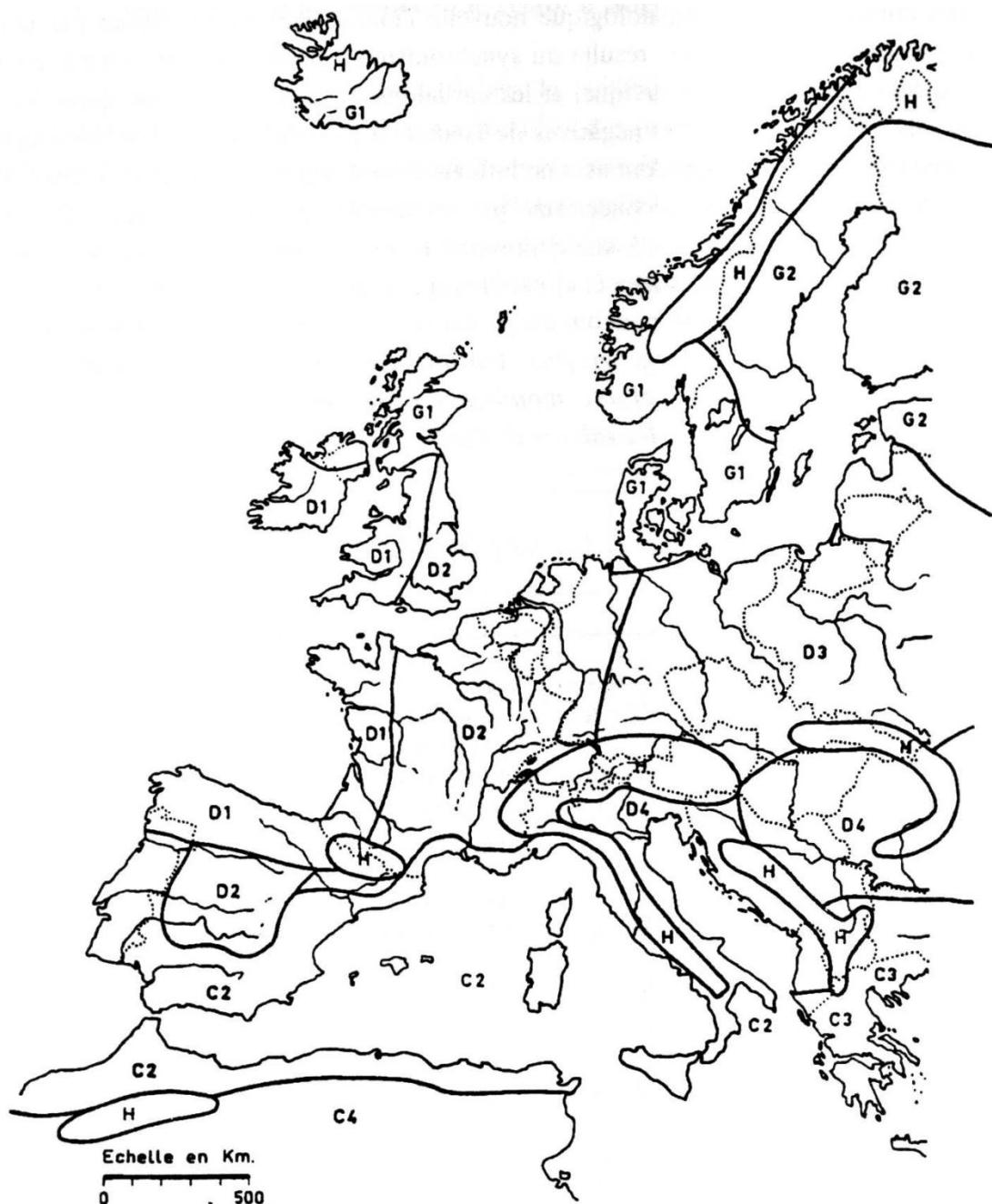
L'indice annuel de DE MARTONNE, pour la station de Maghnia est égale à :

$$I_m = \frac{271}{18 + 10} = 9,68$$

L'indice d'aridité annuel de DE MARTONNE se situe entre 10 et 20. En fonction de ce résultat, la station de Maghnia appartient au domaine semi-aride.

Les valeurs d'aridité annuelle de DE MARTONNE augmentent inversement à l'aridité. Autrement dit, lorsque les valeurs de cet indice sont importantes, l'aridité est moins prononcée. Par contre, si elles ne sont pas élevées, l'aridité est plus prononcée.

Cet indice ne doit être utilisé que pour un découpage en grandes zones climatiques. DE MARTONNE a ainsi établi en 1934, une carte des climats dans le domaine atlantique d'Europe (Figure 5. 6.). L'importance du degré d'océanité et de continentalité des climats apparaît nettement. Les climats sont tout d'abord parfaitement ordonnés selon leurs caractères thermiques, en fonction de la latitude croissante, climats méditerranéens, tempérés et froids puis polaires et alpin.



#### Climats méditerranéens

- C2 : Climat méditerranéen océanique (portugais)
- C3 : Climat méditerranéen continental (hellène)
- C4 : Climat méditerranéen steppique (syrien)

#### Climats tempérés

- D1 : Climat océanique (breton)
- D2 : Climat de transition (parisien)
- D3 : Climat continental (polonais)
- D4 : Climat sub-méditerranéen (danubien)

#### Climats froids

- G1 : Climat froid océanique (norvégien)
- G2 : Climat froid continental (sibérien)
- H : { Climat polaire  
Climat alpin

Figure 5. 6 – Carte des climats de DE MARTONNE (Source : LEBOURGEOIS, 2010)

### 3. 2. 3. Indice d'aridité mensuelle de DE MARTONNE

L'indice d'aridité de DE Martonne a été exprimé par d'autres chercheurs à l'échelle mensuelle. Il s'écrit comme suit :  $I_m = \frac{12 p}{(t + 10)}$  où :

- p : est le total mensuel des pluies d'un mois donné.
- t est la moyenne thermique mensuelle du même mois en ( $^{\circ}$ C).
- La pluviométrie est multipliée par 12 de façon à obtenir une valeur de l'indice comparable à celle de l'indice annuel.

L'application de cet indice au niveau mensuel (exemple du mois de février 2013), en fonction des données suivantes :

- p = 47 mm à Zenata et 29 mm à Maghnia.
- t = 10,6  $^{\circ}$ C à Zenata et 10,1  $^{\circ}$ C à Maghnia.

Nous obtenons les résultats suivants :

$$\text{Pour Zenata : } I_m = \frac{12 \times 47}{(10,6 + 10)} = \frac{564}{20,6} = 27,4$$

$$\text{Pour Maghnia : } I_m = \frac{12 \times 29}{(10,1 + 10)} = \frac{348}{20,1} = 16,5$$

Tout comme à l'échelle annuelle, les valeurs de cet indice augmentent inversement à l'aridité.

Cet indice présente un grand intérêt local pour caractériser une année particulière par rapport à l'année moyenne calculée sur 30 ans ou plus. A titre d'exemple nous avons les normales de deux périodes différentes au niveau de la station de Zenata (Figure 5. 7.).

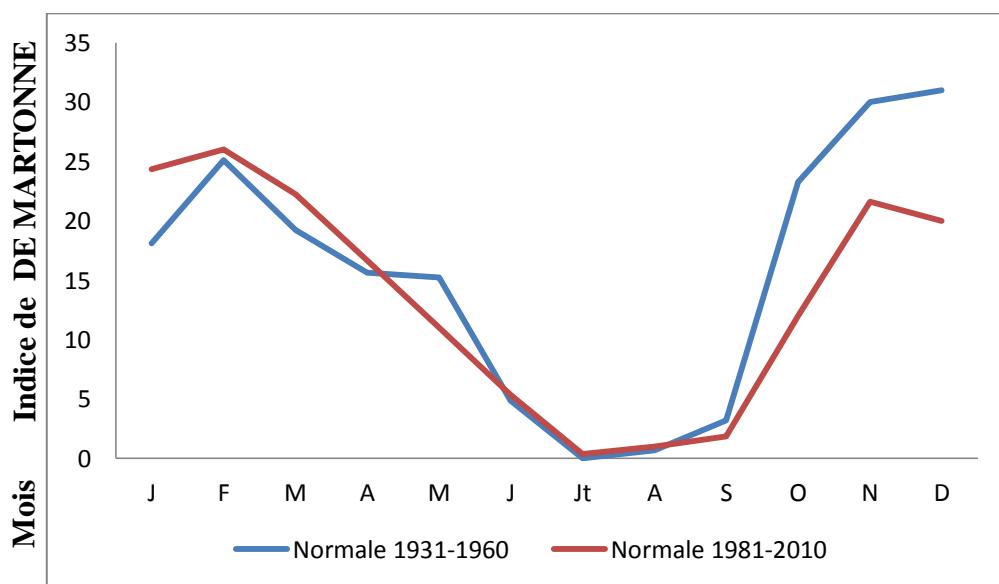


Figure 5. 7 – Caractérisation de deux périodes au niveau de la station de Zenata

Ces procédés expriment la sécheresse mais ne permettent pas de savoir à partir de quel moment une saison est sèche. Dans l'impossibilité de résoudre ce problème, différents seuils plus ou moins arbitraires ont été proposés (LEBOURJOIS, 2010).

Rapport $I_m$	T (°C)	P (mm)
< 1	$25 < T < 30$	$35 < P < 40$
	T = 30	P < 66
< 1,66	T = 25	P < 58
	T = 20	P < 50

Pour certains auteurs le mois pour lequel  $P / (T + 10) < 1$  est sec quant à la température de 25-30 °C, le mois considéré reçoit 35 à 40 mm de pluie. Pour d'autres, ce rapport doit être inférieur à 1,66 c'est-à-dire que pour une température de 30°, il faut, pour qu'un mois soit sec, moins de 66 mm de pluie ; pour 25°, moins de 58 mm; pour 20°, moins de 50 mm... En règle générale, des valeurs proches de 20 caractérisent des mois particulièrement secs (possibilité de sécheresse).

### 3. 2. 4. Indice d'aridité d'ANGSTRÖM (1936-1937)

En 1936, ANGSTRÖM suggéra une modification de l'indice de DE MARTONNE. Il montra que l'indice d'aridité était proportionnel à la durée des pluies, ce qui en retour était directement proportionnel à la somme des pluies et inversement proportionnel à une fonction exponentielle de la température (LEBOURGEOIS, 2010).

Il définit son coefficient comme :  $I = \frac{P}{1,07^T}$

Dans cette fonction, le dénominateur double pour chaque augmentation de 10°C.

L'application de cet indice pour les mois de janvier et juillet à la station de Zenata nous révèle les résultats suivants :

$$- \text{Pour le mois de janvier : } I = \frac{44}{1,07^{10,8}} = 21,2$$

$$- \text{Pour le mois de Juillet : } I = \frac{2}{1,07^{26,2}} = 0,33$$

### 3. 2. 5. Coefficient d'aridité de GORCZYNSKI

Le coefficient de GORCZYNSKI permet de quantifier le déficit hygrométrique d'un lieu. Il prend en compte les températures et les précipitations. Ce coefficient s'écrit de la manière suivante :

$$A = c (tw - tc) \frac{(Pw - Pd)}{Pa} \cos ec \varnothing \text{ où :}$$

- c : est une constante. Elle est égale à 100 en milieu saharien.
- tw : Température du mois le plus chaud en ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- tc : Température du mois le plus froid en ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- Pw : Quantité annuelle maximale des pluies en mm.
- Pd : Quantité annuelle minimale des pluies en mm.
- Pa : quantité annuelle moyenne des pluies en mm.
- $\varnothing$  : Cosécante du degré latitude du lieu considérée. Elle est égale à l'inverse du sinus.

Sachant que Pw et Pa, se calculent sur une durée de 50 ans.

Appliquons cet indice aux valeurs de la station de Zenata.

- tw = 25,8  $^{\circ}\text{C}$  ; tc = 9,7  $^{\circ}\text{C}$ .
- Pw = 986 mm ; Pd = 193 mm ; Pa = 590 mm.
- $\varnothing$  : 35°02' pour la station de Zenata. Elle est égale à 1,74.

L'application de la formule relative à l'indice de sécheresse de GORCZYNSKY à ces données, nous donne les résultats suivants (en supposant que la constante C = 10) :

$$A = 10 (25,8 - 9,7) \frac{(986 - 193)}{590} 1,74 = 376,52$$

Nous constatons que la valeur de cet indice est d'autant plus élevée que la sécheresse est prononcée.

### 3. 2. 6. Quotient pluviométrique d'EMBERGER et Climagramme (1930)

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER, appelé aussi l'indice pluviométrique d'EMBERGER, définit le degré d'humidité du climat. Il prend en compte les précipitations annuelles P, la moyenne des maxima de température du mois le plus chaud (M) et la moyenne des minima de température du mois le plus froid (m). Comme pour l'indice xérothermique de Gaussen, il est plus particulièrement adapté aux régions méditerranéennes dans lesquelles il permet de distinguer différents étages climatiques (LEBOURGEOIS, 2010). Dans ces régions, EMBERGER a remarqué que l'amplitude thermique (M-m), donc l'évaporation, est un facteur important de la répartition des végétaux. On sait en effet que, à température moyenne égale, l'évaporation est d'autant plus grande que l'amplitude thermique est élevée. Le facteur de pluie pris en compte est le produit du nombre de jours de pluie par an (n) par le cumul moyen annuel (P).

Le quotient s'exprime ainsi :

$$Q_E = \frac{nP}{365(M+m)(M-m)} \times 100$$

Si on ne connaît pas le nombre de jours de précipitations, EMBERGER a proposé une forme

simplifiée :  $Q'_E = \frac{2000P}{(M+m)(M-m)}$

L'interprétation du quotient pluvio-thermique nécessite l'emploi d'un abaque du à SAUVAGE utilisant une échelle logarithmique pour l'axe des  $Q$  et qui permet de placer une station dans l'une des cinq classes de climat méditerranéen qui ont été définies.

Ce quotient a subi des améliorations par plusieurs auteurs, dans le sens d'une simplification. LE HOUÉROU (1969) considère que la valeur de  $(M - m)$  est peu variable et l'assimile à une constante  $K' = 43,6$  et proposent la formule suivante :  $Q = P / 10$ .

STEWART (1969) a remarqué la stabilité en Algérie du rapport  $P / M$  et a mis au point une nouvelle formule applicable pour notre pays :  $Q_3 = 3,43 \frac{P}{M-m}$

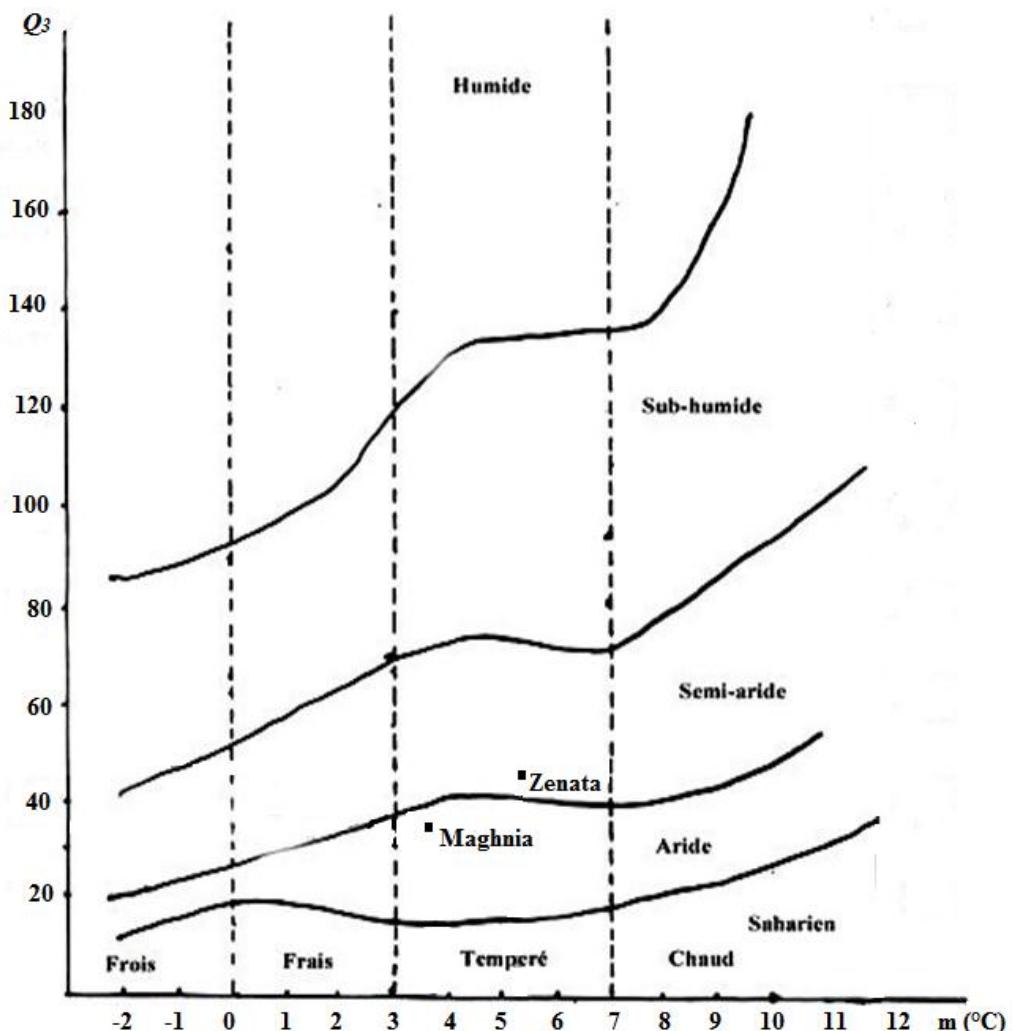
Bien que ces quotients pluvio-thermiques donnent des valeurs très voisines les unes des autres, nous adapterons pour la présente étude la formule de STEWART. Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 5.19 :

**Tableau 5. 19 – Quotients pluvio-thermiques de STEWART ( $Q_3$ ) et étages bioclimatiques des stations météorologiques de la zone d'étude**

Station	$P$	$M$	$m$	$Q_3$	Étage et sous-étage bioclimatique
Zenata	347	33,3	5,2	42,35	Semi-aride inférieur à hiver tempéré
Maghnia	292	34,3	3,8	32,83	Aride supérieur à hiver tempéré

Le Quotient pluviométrique d'EMBERGER nous aide à déterminer l'étage bioclimatique (aride, semi-aride, subhumide, humide ou hyper humide), tandis que la valeur de  $m$ , détermine le sous étage (à hiver froid, frais, doux ou chaud). C'est ainsi que les deux stations appartiennent à l'aride supérieure à hiver tempérée.

Les valeurs du Quotient pluviométrique d'EMBERGER  $Q$  et de  $m$ , permettent de situer les deux stations sur le climagramme d'EMBERGER.



**Figure 5. 8 – Position des stations au niveau du climagramme d'EMBERGER**

Les deux stations météorologiques étudiées (Zenata et Maghnia) évoluent respectivement au niveau du Semi-aride inférieur à hiver tempéré et de l'Aride supérieur à hiver tempéré.

Pour conclure, le territoire balayé par cette étude présente un climat méditerranéen du type Aride supérieur à semi-aride inférieur avec une variante thermique tempérée, ainsi qu'une période sèche s'échelonnant sur (6) mois. L'irrégularité dans la répartition des pluies selon les années s'ajoute au facteur quantitatif qui varie de 300 à 500 mm/an pour désavantager l'agriculture. Les valeurs de (m) enregistrés permettent de conclure qu'il n'y a pas de présence d'un repos hivernal rigoureux.

### 3. 2. 7. Indice de sécheresse estivale de GIACOBBE

C'est une formule simple qui caractérise la sécheresse estivale en faisant le rapport des pluies estivales PE sur la moyenne des maxima du mois le plus chaud. En région méditerranéenne, on considère que l'été est sec quand le rapport est  $< 7$ .

### 3. 2. 8. Indice climatique de BIROT

Rapporté à une échelle mensuelle, cet indice nous permet de faire, à l'échelle mensuelle, la relation entre les températures et les pluies. Il s'exprime de la manière suivante :

$$I_c = \frac{P \times J}{T} \text{ où :}$$

- P : la moyenne mensuelle des pluies en mm.
- J : la fréquence des jours de pluies.
- T : la moyenne mensuelle des températures en ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Pour la station de Zenata, examinons les données du mois de septembre 2012 avec :

$$P = 36 \text{ mm} ; j = 4 ; t = 24,3 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

En remplaçant chaque variable par sa valeur nous aurons :  $I_c = \frac{36 \times 4}{24,3} = 5,93$

Quant aux données du mois de Janvier 2013 nous obtenons :

$$P = 103 \text{ mm} ; j = 11 ; t = 11,7 \text{ donc : } I_c = \frac{103 \times 11}{11,7} = 96,84.$$

Autrement dit, la valeur de l'indice climatique de BIROT est élevée pour les mois dont la pluie est importante.

### 3. 2. 9. Indice Pluvio-efficacité

Cet indice sert à mesurer l'efficacité des pluies en fonction de deux paramètres :

- La quantité annuelle des pluies en mm.
- L'évapotranspiration mensuelle et annuelle en mm.

Il s'écrit de la manière suivante :  $I = \frac{100 P/E + 12p/e}{2}$  où :

- P : Hauteur annuelle des pluies en mm.
- p : Hauteur mensuelle des pluies en mm.
- E : Evapotranspiration annuelle en mm.
- e : Evapotranspiration mensuelle en mm du mois le plus humide.

Pour la station de Zenata, nous considérons les données suivantes pour l'année agricole 2012-2013 :  $P = 557 \text{ mm} ; E = 660 \text{ mm}$

- $p = 103 \text{ mm}$  et  $1 \text{ mm}$  respectivement pour les mois de janvier et juillet.
- $e = 44,4 \text{ mm}$  et  $40,2 \text{ mm}$  respectivement pour les mois de janvier et juillet.

- Pour le mois de janvier :  $I = \frac{55700/660 + 1236/44,4}{2} = 56,12$

- Pour le mois de juillet :  $I = \frac{55700/660 + 12/40,2}{2} = 42,34$

Pour la station de Zenata, nous constatons que l'indice de l'efficacité des pluies est légèrement plus élevé au mois de janvier par rapport au mois de juillet. Autrement dit, à la station de Zenata, les pluies sont plus efficaces en janvier qu'en juillet.

### 3. 2. 10. Indice de précipitation effective de THORNTHWAITE

Tout comme l'indice précédent, l'indice de précipitation effective de THORNTHWAITE exprime l'efficacité des pluies en fonction de :

- La hauteur mensuelle des pluies.
- L'évapotranspiration mensuelle. Il s'écrit de la manière suivante :  $I = \sum(p - e)$  où :
- p : Hauteur mensuelle des pluies en mm.
- e : Evapotranspiration mensuelle en mm (on adopte celle de BLANEY-CRIDDLE).

Pour la station de Zenata, nous disposons des données suivantes (tableau 5. 20.).

**Tableau 5. 20 – Pluies et évapotranspiration à Zenata**

Mois	p (mm)	e (mm)	p - e
Septembre	37	131	-94
Octobre	36	112	-76
Novembre	155	93	+62
Décembre	19	82	-63
Janvier	103	83	+20
Février	47	87	-40
Mars	44	104	-60
Avril	68	116	-48
Mai	46	131	-85
Juin	0	143	-143
Juillet	1	152	-151
Août	1	148	-147
Année	557	1382	-825

L'application de la formule précédente donne le résultat suivant :  $I = \sum(p - e) = -825$  mm.

Le déficit hydrique à la station de Zenata pour l'année 2012-2013 est égal à 825mm.

### 3. 2. 11. Indice Pluvio-thermique de THORNTHWAITE

L'indice pluvio-thermique de THORNTHWAITE associe les températures et les pluies.

Cet indice s'exprime de la manière suivante :  $I = \sum_{n=1}^{n=12} 10 \ln$  où :

- I : est l'indice pluvio-thermique de THORNTHWAITE

-  $\ln$  est calculé à l'aide de la formule suivante :  $\ln = 0,165 \left( \frac{pn}{tn+12,2} \right)^{109}$  où :

-  $pn$  : représente la moyenne mensuelle des pluies d'un mois donné.

-  $tn$  : est la moyenne thermique du mois considéré en ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Pour la station de Zenata, nous avons les données suivantes relatives à la période 1976-2013 :

-  $pn = 44$  mm en janvier et 2 mm en juillet.

-  $tn = 10,8$   $^{\circ}\text{C}$  en janvier et 25,8  $^{\circ}\text{C}$  en juillet.

Le remplacement de chaque variable par sa valeur, nous donne les résultats suivants :

- Pour janvier :  $\ln = 0,165 \left( \frac{44}{10,8+12,2} \right)^{109} = 8,4$

- Pour juillet :  $\ln = 0,165 \left( \frac{2}{25,8+12,2} \right)^{109} = 0$

L'indice pluvio-thermique de THORNTHWAITE est nul en juillet. Il est de 8,4 en janvier. Autrement dit, la valeur de cet indice est liée aux températures et aux pluies. Elle croît avec les pluies et inversement avec les températures.

### 3. 2. 12. Indice pluviométrique de MORAL (1954)

MORAL a essayé de calculer la limite qui existe entre la sécheresse et l'humidité. Il estime que le total annuel des pluies peut être pris comme limite. Pour cela, il propose l'équation suivante :  $P = T^2 - 10T + 200$  où :

- P : est le total annuel pluviométrique en mm.

- T : est la moyenne thermique annuelle en ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Il définit, à l'aide de cette équation, des quantités pluviométriques annuelles pour trois seuils thermiques :

1- 200 mm pour 10 $^{\circ}\text{C}$  ; 2- 400 mm pour 20 $^{\circ}\text{C}$  ; 3- 800 mm pour 30 $^{\circ}\text{C}$ .

Les données relatives aux stations de Zenata et de Maghnia sont rappelées dans le tableau 5. 21.

**Tableau 5. 21 – Pluies et températures à Zenata et Maghnia**

	Pluies (mm)	Températures (°C)
Zenata	557	17,9
Maghnia	271	18,0

L’application de cet indice révèle les résultats suivants :

$$\text{Pour Zenata : } P = (17,9)^2 - 179 + 200 = 341,41$$

$$\text{Pour Maghnia : } P = (18)^2 - 180 + 200 = 344$$

Nous constatons que l’indice pluviométrique de MORAL est inférieur à P (577 mm) à Zenata et est supérieur à P (271 mm) à Maghnia.

Il propose un second indice qui s’écrit de la manière suivante :  $I_{(a)} = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$

La définition des paramètres utilisés, pour cet indice, est la même que celle utilisée pour l’équation ci-dessus. Ainsi, l’application des données précédentes permet de calculer l’indice  $I_{(a)}$ . En remplaçant ces variables chacune par sa valeur, nous aurons :

$$\text{Pour Zenata : } I_{(a)} = \frac{P}{T^2 - 10T + 200} = \frac{557}{(17,9)^2 - 179 + 200} = \frac{557}{341,41} = 1,63.$$

$$\text{Pour Maghnia : } I_{(a)} = \frac{P}{T^2 - 10T + 200} = \frac{271}{(18)^2 - 180 + 200} = \frac{271}{344} = 0,79.$$

Pour MORAL,  $I_M < 1$  pour un climat sec et  $I_M > 1$  pour un climat humide. La lecture de ces résultats montre que la valeur de cet indice est de 0,79 à Maghnia et de 1,63 à Zenata. Donc le climat de Maghnia est plus sec que celui de Zenata. Ceci indique aussi que les valeurs de cet indice augmentent inversement à la sécheresse.

### 3. 2. 13. Indice de KOPPËN

En combinant la moyenne thermique annuelle avec le rythme saisonnier des pluies, l’indice de KOPPËN définit des limites entre les différents espaces, pour ce faire, il propose les définitions suivantes :

- $P = 10T$  : maximum d’hiver.
- $P = 10T + 70$  : pluies uniformément réparties à travers les différentes saisons.
- $P = 10T + 140$  : maximum d’été.

Il est évident que la connaissance du rythme saisonnier est un élément essentiel qui permettra des interventions adéquates.



L'application de cet indice, en reprenant les précédentes données relatives aux stations de Zenata et de Maghnia, nous donne les résultats suivants :

- Pour Zenata :  $10 T = 179 \text{ mm}$  ;  $10 T + 70 = 249 \text{ mm}$  ;  $10 T + 140 = 319 \text{ mm}$ .
- Pour Maghnia :  $10 T = 180 \text{ mm}$  ;  $10 T + 70 = 250 \text{ mm}$  ;  $10 T + 140 = 320 \text{ mm}$ .

### 3. 2. 14. Indice Héliothermique

L'indice héliothermique permet de calculer la durée de l'ensoleillement d'une station donnée tout en combinant la température et l'ensoleillement. Il s'écrit de la manière suivante :

$$I = \frac{tm \times dmj}{100} \text{ où :}$$

- $tm$  : est la température moyenne mensuelle en ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $dmj$  : est la durée moyenne de l'ensoleillement par jour en heures.

Considérons les données suivantes de la station de Zenata :

- $tm = 10,8 \text{ } ^{\circ}\text{C}$  en Janvier et  $25,8 \text{ } ^{\circ}\text{C}$  en juillet.
- $dmj = 9 \text{ h}$  et  $11 \text{ h}$  respectivement en Janvier et juillet.

Nous obtenons pour janvier :  $I = \frac{10,8 \times 9}{100} = 0,97$ .

Pour le mois de juillet :  $I = \frac{25,8 \times 11}{100} = 2,84$ .

La valeur de l'indice héliothermique est plus élevée en juillet qu'en janvier. Il traduit fidèlement l'importance de l'ensoleillement qui est plus élevé en juillet qu'en janvier.

### 3. 3. Indices et coefficients à plusieurs variables climatiques

#### 3. 3. 1. Indice d'humidité

Cet indice permet de faire le bilan du surplus d'eau par rapport aux besoins pour une station donnée. Il s'écrit de la manière suivante :  $I_h = 100 S / N$  où :

\*  $S$  : est le surplus d'eau. Il est égal à :  $S = \sum(p - etp)$  avec :

- $p$  : est la hauteur mensuelle des pluies en mm.
- $etp$  : exprime l'évapotranspiration mensuelle en mm.
- $S$  se calcule uniquement pour les mois où  $p > etp$ .

\*  $N$  représente les besoins en eau. Il est égal à :  $N = \sum etp$  avec :

- $etp$  : est la somme des valeurs de l' $etp$  des mois où  $p > etp$ .

Pour la station de Zenata par exemple (2012-2013) :

La  $\sum(p - etp)$  des mois où  $p > etp$  est égale à : 82mm.

La  $\sum etp$  des mois où  $p > etp$  est égale à : 176mm.

$$I_h = 100 \times 82 / 176 = 46,6$$

### 3. 3. 2. Indice C.V.P de PATERSON (1956)

En 1956, Paterson, chercheur forestier Suédois, propose un nouvel indice (C.V.P : Climate -Vegetation -Productivity) permettant d'estimer la productivité potentielle d'une forêt selon des paramètres climatiques qu'il juge déterminant c'est-à-dire la température, l'humidité, la longueur de la saison de végétation et l'intensité des radiations solaires (LEBOURGEOIS, 2010). Plus cet indice est fort et plus la productivité ligneuse potentielle est élevée. Il s'écrit comme suit :

$$IP = \frac{Tv \times P \times G \times E}{Ta \times 12 \times 100} \text{ où :}$$

- $Tv$  : Température moyenne mensuelle du mois le plus chaud, en ( $^{\circ}$ C)
- $Ta$  : Amplitude thermique moyenne annuelle en ( $^{\circ}$ C).
- $P$  : Total pluviométrique annuel en mm.
- $G$  : Longueur de la saison végétale en mois.
- $E$  : Rayonnement solaire local en (%)

L'application de cet indice pour la station de Zenata nous donne les résultats suivants pour la période 1975-2013 :

$TV = 26,6^{\circ}\text{C}$  ;  $Ta = 12,1^{\circ}\text{C}$  ;  $P = 347 \text{ mm}$  ;  $G = 12$  (déduite à partir de l'indice de température limite) ;  $E = 10,18 \%$ .

$$IP = \frac{26,6 \times 347 \times 12 \times 10,18}{12,1 \times 12 \times 100} = 77,65$$

- Pour la station de Maghnia, on dispose des données suivantes pour la même période :

$TV = 26,7^{\circ}\text{C}$  ;  $Ta = 12,8^{\circ}\text{C}$  ;  $P = 292 \text{ mm}$  ;  $G = 12$  (déduite à partir de l'indice de température limite) ;  $E = 10,5 \%$ .

$$IP = \frac{26,7 \times 292 \times 12 \times 10,5}{12,8 \times 12 \times 100} = 63,95$$

On constate que la productivité ligneuse potentielle est plus élevée à Zenata qu'à Maghnia.

### 3. 3. 3. Indice de PAPADAKIS (1975)

Il s'appuie sur une fonction d'action à priori des variables climatiques à l'échelle mensuelle et permet d'estimer les potentialités de production d'une région donnée. Le climat est caractérisé par un jeu de 12 indices mensuels :

$$A = \left[ \left( \frac{12}{DJ} \right)^{0,75} \times \left( \frac{1}{10^{0,1Tx}} + \frac{10^{0,1Tn}}{10^5} + \frac{0,5}{10^{2,5}H} + \frac{1}{10^2} \right) \right]^{-1} \text{ où :}$$

- $Tx$  = moyenne mensuelle des températures maximum journalières
- $Tn$  = moyenne mensuelle des températures minimum journalières
- $H = (P+W)/ETP$
- $P$  = précipitations moyennes mensuelles
- $W$  = eau disponible dans le sol au début du mois et déterminée à partir du bilan hydrique théorique
- $ETP$  = évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle
- $DJ$  = longueur moyenne du jour pour le mois considéré.

### 3. 3. 4. Indice de HUGLIN (1978)

Il a été mis au point pour la vigne et correspond au cumul des températures journalières sur la période allant du premier avril au 30 septembre. Cet indice a été corrélé à des paramètres de qualité du vin et permet ainsi de classer les terroirs viticoles.

$$I_H = [\sum(Tm - 10) + \sum(Tx + 10)] \times \frac{n}{2} \text{ où :}$$

- $Tx$  = température maximum
- $Tm$  = température moyenne
- $n$  = coefficient de longueur du jour (varie de 1.02 à 1.06 en France)

### 3. 3. 5. Indice de potentialité agricole de TURC

Pour connaître les potentialités agricoles d'une station. TURC fait intervenir certains paramètres climatiques. Pour cela, il utilise les températures, l'insolation et l'humidité. Il propose un indice qui s'exprime de la manière suivante :  $CA = ft \times fh \times fs$ . Où :

- $fh$  : est l'insolation.
- $fs$  : est l'humidité.
- $ft$  : est la température en ( $^{\circ}C$ ). Elle se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$ft = \frac{t(60 - t)}{1000} \times \frac{tm-1}{4} \text{ où :}$$

- t : température moyenne mensuelle en ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- tm : moyenne des températures minimales quotidiennes comprises entre 1  $^{\circ}\text{C}$  et 5  $^{\circ}\text{C}$ .
- le terme  $\frac{t(60 - t)}{1000}$  est maximal pour t = 30  $^{\circ}\text{C}$ .
- le terme  $\frac{tm-1}{4}$  est utilisé en tant qu'outil correctif.
- fh se calcule à l'aide de la formule suivante :  $fh = 0,03 (Ig - 100)$ . Où :

- Ig représente le rayonnement global.

Elle se calcule aussi à l'aide de la formule suivante :  $fh = H - 5 \left( \frac{\varphi}{40} \right)^2$  où :

- H : est la durée astronomique du jour.
- $\varphi$  : la latitude du lieu.
- fs, se calcule à l'aide de la formule suivante :  $fs = \frac{ETR}{ETP}$

- Le rapport  $\frac{ETR}{ETP}$  est compris entre 0 et 1.

L'application de cet indice pour le mois de janvier 2013 au niveau de la station de Zenata nous donne les résultats suivants :

$$ft = \frac{11,7(60 - 11,7)}{1000} \times \frac{3,5-1}{4} = 0,3532 ;$$

$fh = 0,03 (436 - 100) = 10,08$  (Ig est calculé à partir du tableau 1 – Annexe C.)

$$fs = \frac{69}{69} = 1. \text{ (ETR est déduite à partir de la méthode de TURC)}$$

$$CA = 0,3532 \times 10,08 \times 1 = 3,56$$

### 3. 3. 6. Estimation de la production végétale maximale annuelle.

L'estimation de la production peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$P = r \sum_{i=1}^{i=12} CA \quad \text{avec :}$$

- P : représente les potentialités contemporaines exprimées en tonne de matière sèche par hectare et par an.
- CA : indice climatique de potentialité agricole.
- r : Rapport entre la récolte et l'indice.

La matière sèche est calculée à l'aide de cette équation :  $MS = 0,6 \times CA \pm (2 + 0,1 CA)$ .

- $P < 50$  mm pour une température moyenne comprise entre  $20^{\circ}\text{C}$  et  $30^{\circ}\text{C}$ .
- $P < 75$  mm pour une température moyenne supérieure à  $30^{\circ}\text{C}$ .

$$MS = 0,6 \times 3,56 \pm (2 + 0,1 \times 3,56) = 2,136 \pm 2,356$$

### 3. 3. 7. Indice d'intensité de sécheresse de GAUSSSEN

Cet indice est défini par le nombre de jours considéré sec biologiquement. Il s'écrit de la manière suivante :  $X_m = j_m - (j_p - j_{br}) \times j_h$  où :

- $X_m$  = Indice d'intensité de sécheresse du mois considéré.
- $J_m$  = Nombre total de jours du mois considéré.
- $J_p$  = Nombre de jours pluvieux du mois considéré.
- $J_{br}$  = Nombre de jours de brouillard ou de rosée de ce mois.
- $J_h$  = L'état hygrométrique moyen du mois considéré.

Avant d'appliquer cette formule, GAUSSSEN apporte les précisions suivantes :

- \* La valeur d'un demi-jour sec pour une journée de brouillard ou de rosée.
- Une valeur qui varie entre  $9/10$  et  $6/10$  d'un jour sec pour un état hygrométrique variant entre 40 et 100 %.
- Une valeur de  $9/10$  d'un jour sec pour un état hygrométrique variant entre 40 et 60 %.
- Une valeur de  $8/10$  d'un jour sec pour un état hygrométrique variant entre 60 et 80 %.
- Une valeur de  $7/10$  d'un jour sec pour un état hygrométrique variant entre 80 et 90 %.
- Une valeur de  $6/10$  d'un jour sec pour un état hygrométrique variant entre 90 et 100 %.

Pour la station de Zenata, nous avons les données suivantes pour le mois d'août 2013 :

- Nombre total de jours du mois considéré = 31.
- Nombre de jours pluvieux du mois considéré = 3
- Nombre de jours de brouillard ou de rosée de ce mois = 2
- Nombre de jours de rosée = 2
- L'état hygrométrique moyen du mois considéré = 63 %

En remplaçant les termes de la formule relative à l'indice d'intensité de sécheresse, chacun par sa valeur, nous aurons :  $X_m = 31 - (3 + 2) \times 0,8 = 20,8$

Cet indice permet de connaitre l'intensité de la saison estivale (somme des indices des trois mois), ainsi on obtient pour la station de Zenata une valeur de  $X_m = 67,2$ . (Sachant que  $X_m = 24$  pour le mois de juin et 22,4 pour le mois de juillet).

Pour GAUSSEN, le climat méditerranéen correspond à l'indice annuel 40 (limite de l'olivier).

Il permet aussi de définir les sous-types de climat :

- Au-dessus de 150, c'est le climat xérothermique méditerranéen.
- Au-dessus de 200, c'est le climat subdésertique.

### 3. 4. Comparaison entre les méthodes

La majorité des méthodes que nous avons précitées ne tiennent compte malheureusement que de deux éléments du climat seulement, soit : la température et les précipitations, soit l'évaporation et les précipitations.

La plupart des méthodes sont basées sur le quotient, qui donne un indice représentatif de ce qu'on appelle facteur limitant. Or, si l'on tient de près ces rapports, on remarque l'ambiguïté de cet indice, en raison qu'une variation du numérateur peut être compensée par une variation proportionnelle du dénominateur, ceci résulte à un risque très grave par une classification relativement aisée, sûre et générale ; puisque des objets très différents ayant des valeurs d'indice voisines sont rangés dans la même classe.

En outre, en ce qui concerne la présentation de l'ensemble de ces indices climatiques, on constate que la définition de l'aridité varie selon les auteurs ainsi que les valeurs seuils des combinaisons P et T.

Si l'on examine sous un autre angle quelques formules séparément, on peut relever les notes suivantes :

- La moins nuancé et celle des diagrammes ombrothermique de GAUSSEN puisqu'elle ne permet de séparer que deux catégories de mois (secs et humides).
- L'indice de MORAL qui tient compte d'une relation en  $T^2$  est nettement meilleur. Si on le compare avec des rapports ETR/ETP calculés d'après le bilan d'eau, on peut voir une très forte corrélation entre l'indice I (a) et ces rapports. Il ne peut évidemment, de part sa formulation même, tenir compte de la réserve d'eau du sol disponible au début de la période sèche et de la reconstitution de cette réserve au début de la période humide. Cependant, les erreurs commises ne doivent pas dépasser un mois pour la plupart des plantes, puisque les réserves de printemps suffisent à peine à assurer une quinzaine de jours d'eau aux graminées et un mois environ aux arbustes.

- L'indice d'EMBERGER ne traduit pas assez correctement le fait que l'évaporation, les besoins en eau, augmentent davantage qu'en proportion directe de la température. Aussi, il ne tient pas compte de l'effet du vent qui peut fausser les résultats données par M-m.
- L'indice mensuel de THORNTHWAIT ne semble pas pouvoir s'appliquer, comme tel ; la relation entre ces indices et les rapports ETR/ETP est beaucoup trop faible. Seul l'indice annuel a un certain intérêt.

Par ailleurs, pour les indices de production si les deux méthodes : C.V.P. de PATERSON et C.A. de TURC apparaissent convenables pour l'estimation de la productivité, il convient cependant de les perfectionner et de les adapter (HALIMI, 1980) :

En ce qui concerne le C.V.P de PATERSON, disons simplement que l'intérêt de la méthode est surtout dans le fait de délimiter avec une certaine probabilité les régions pour lesquelles on peut estimer la productivité ligneuse potentielle. De ce fait, c'est une bonne tentative permettant l'estimation rapide du potentiel de production des forêts existantes.

Mais l'utilité de cette tentative diminue si on sait que la méthode ne tient pas compte du facteur édaphique qui joue un rôle important. Donc, il est utile dans le but de perfectionner la formule, d'introduire le facteur édaphique sous forme de rapport ou de valeur corrective ; par exemple si on multiplie l'indice C.V.P par la valeur 0,5 assignée aux sols de faible fécondité et par la valeur 2 caractérisant les sols de bonne fertilité.

Ajoutons que le terme  $Tv$  dans la formule  $\frac{Tv \times P \times G \times E}{Ta \times 12 \times 100}$  n'explique pas correctement ce qui se passe en réalité. PATERSON pense en effet que  $Tv$  = la température moyenne mensuelle du mois le plus chaud, doit figurer au numérateur, comme si son influence demeurait toujours positive, alors qu'on sait que chaque phase végétative possède aussi bien ses limites de déficience que ses limites d'excès (HALIMI, 1980). D'ailleurs, les expériences de DURAND (1967) ont montré que le phénomène est ainsi : la plante cultivée à température élevée connaît un développement rapide, mais elle bénéficie d'un rayonnement moindre que si son cycle avait été étalé c'est- à-dire elle aura une productivité moindre que si la période d'assimilation chlorophyllienne a été plus longue.

Quant à la méthode de TURC, elle aussi n'a pas pu échapper à l'inconvénient du non introduction du facteur édaphique. Enfin, si la méthode de TURC donne beaucoup d'importance au facteur humidité, elle ne tient pas compte de l'effet néfaste d'excès d'eau, en disant : lorsque  $F_s = 1$ , la déficience est nulle et le facteur sécheresse est nul.

Quant à l'estimation de la valeur du poids de la matière sèche telle est calculée à l'aide de la méthode de TURC, elle n'est en réalité qu'une valeur approximative, due à l'élaboration de la formule qui suppose les meilleures conditions de culture : fumure, choix de variété, lutte contre les ennemis de culture, technique moderne employée, etc. elle ne tient pas compte des conditions réelles. D'autant plus qu'elle a été établie à des fins bien limitées, c'est-à-dire à des fourragères qui ne sont pas forcément vivaces, elle surestime ainsi la masse récoltable des plantes annuelles.

#### 4. CONCLUSION

Dans les recherches en phyto-climatologie, l'utilité de tous les paramètres climatiques n'est pas à démontrer. Ils agissent sur le milieu en combinaison et en forte corrélation (HALIMI, 1980).

Dans notre approche développer au niveau de ce chapitre, nous avons, tout d'abord essayé d'analyser ces paramètres séparément afin de définir leur valeurs quantitatives et qualitatives. Malheureusement, nous ne possédons pas toutes les données de tous les paramètres climatiques des deux stations de la région d'étude.

Les seuls paramètres qu'on possède sont surtout les températures et les précipitations. De ce fait, nous nous sommes penchés sur l'analyse de ces deux paramètres qui semblent avoir la dominance en matière de définition des climats locaux de la région d'étude.

En somme, les températures moyennes annuelles dans l'ensemble de la région varient dans l'intervalle de 16°C à 20°C. Elles sont assez régulières dans l'espace et plus ou moins dans le temps. Par contre, les moyennes annuelles des précipitations qui varient entre 250 mm à 550 mm sont très irrégulières. Ces quantités pluviométriques faibles ne permettent pas de bien mener une agriculture prospère sans recours à l'irrigation. En plus, ce qui complique la situation c'est de ne pas pouvoir profiter intégralement de ces quantités d'eau, à cause de l'écoulement et la forte intensité de l'évapotranspiration qui diminue l'efficacité des précipitations dans la région. Quant aux régimes pluviaux : l'été est la saison la plus sèche de l'année ; l'hiver est en générale la saison la plus humide.

---

## **CONCLUSION GÉNÉRALE**

---

## CONCLUSION GÉNÉRALE

L'approche menée au niveau de la première partie de cette étude sur la physiographie de la région, nous a permis de déterminer la nature du milieu physique comme support de base à toute étude.

D'après l'étude élaborée au niveau de la seconde partie, on constate ce qui suit :

- Les projections du changement climatique prédisent un réchauffement substantiel et une augmentation significative du nombre de sécheresses, de vagues de chaleur et de la longueur des périodes de sécheresse dans la région méditerranéenne (FAO, 2013). L'état de l'environnement dans 50-100 ans ne peut être prédit avec certitude mais, les tendances de ces changements sont claires. Ainsi, à long terme, des stratégies d'adaptation peuvent être considérées en termes de trajectoire. Des pratiques novatrices sont nécessaires et le défi est aujourd'hui de savoir combiner des objectifs immédiats et les enjeux à long terme afin de préserver les ressources naturelles de cette étendue.
- Par ailleurs, l'étude paléo climatique montre que l'écologie des paysages actuellement en place en région méditerranéenne, se sont constitués à la suite des modifications climatiques post-wurmniennes d'une part, et de l'impact progressif des influences anthropiques d'autre part (PONS & QUÉZEL, 1988).
- Enfin, le climat méditerranéen a été depuis le Néolithique un climat prospère pour l'agriculture et la végétation ce qui a incité d'ailleurs les grandes civilisations à s'installer aux bords de ses rives.

Au niveau de la troisième partie nous avons pu déduire que la baisse de la pluviométrie marquée à partir du milieu des années 1970 sur l'ensemble du territoire de notre région, qui a provoqué la fluctuation la plus brutale et la plus significative (au sens statistique du terme) observée autour des années 1975 à Zenata et 1980 à Maghnia, au cours desquelles on note une diminution généralement assez importante de la pluviométrie annuelle. Cette période déficitaire se caractérise depuis lors par son intensité et sa durée. Cette réduction s'élève à plus de 46,8 % dans la région de Zenata et à 35,6 à la plaine de Maghnia.

En ce qui concerne le régime thermique, nous avons constaté qu'il y a un changement climatique significatif affectant cette nouvelle période qui a été réellement observé à partir de la fin des années 1970 et la poursuite de celui-ci jusqu'à nos jours.



Ces résultats sont en conformité avec les conclusions du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat de GIEC (2001) et GIEC (2007), ainsi qu'avec les conclusions du rapport régional des Nations unies sur le changement climatique en Afrique du Nord.

Pour la quatrième partie, L'étude de la persistance de sécheresse, en utilisant les chaînes de Markov, a montré que, pour avoir deux années sèches successives, la probabilité est très importante au niveau de notre région.

Dans la dernière partie, nous avons pu développer la forte cohérence réciproque qui existe entre le végétal et son atmosphère d'une part, et la richesse consentis des résultats à travers la diversité des formules et indices appliquées que ce soit pour le calcul de l'ETP ou pour les différents indices climatologiques.

### **Actions à entreprendre et perspectives d'avenir**

Afin de contourner les problèmes liés à ce type d'étude, nous avons voulu présenter quelques recommandations concernant l'exploitation des données météorologiques, qu'il est aujourd'hui nécessaire de développer des outils informatiques de contrôle destinés aux ingénieurs agronomes et aux chercheurs qui exercent dans ce secteur. Nous citerons ici les méthodes déjà existantes en la matière, tout en soulignant le fait qu'il reste un effort de recherche à faire dans ce domaine notamment en relation avec les spécificités de l'agriculture de notre pays :

- Pour le contrôle des données il s'agit de s'assurer avant toute utilisation, de l'homogénéité statistique des données, de leur stationnarité ainsi que leur indépendance au cas où une analyse fréquentielle est prévue.
- En ce qui concerne les manques dans les séries observées, plusieurs méthodes de comblement ont été développées sous d'autres types de climat. Un travail d'adaptation de ces méthodes reste à faire. A ce titre on peut citer le développement d'un logiciel innovant qui permet de combler les lacunes comme « HYDROLAB » qui a été développée par LABORDE & MOUHOUS en 1998 et qui n'est plus fonctionnel aujourd'hui.
- En ce qui concerne l'extension des séries de courtes durées, un effort de recherche reste à faire pour adapter les modèles de génération des pluies développés aux U.S.A. (YACOUBI & HANCHANE, 1997).

Pour les besoins agricoles, les stations météorologiques sont habilitées à fournir toutes informations relatives au temps et au climat. Une étroite coopération doit être instaurée entre les services techniques du ministère de l'agriculture, la profession agricole et la météorologie en vue de mieux apprécier les besoins des agriculteurs dans le domaine météorologique et de faciliter la diffusion des informations. Ainsi, dans le même sens une augmentation du nombre des stations météorologique est nécessaire afin de mieux gérer les superficies agricoles emblavées.

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

## BIBLIOGRAPHIE

- AIDOUD, A.,** (1997) – Fonctionnement des écosystèmes méditerranéens. Conférence, N° 3, Site Web, MESOE, *Académie de Toulouse*, 38 P. + Annexe.
- AIMÉ, S. & REMAOUN, K.,** (1988) - Variabilité climatique et steppisation dans le bassin de la Tafna (Oranie occidentale). In: Méditerranée, Troisième série, Tome 63, n° 1. pp. 43-51.
- AIMÉ, S.,** (1991) – Etude écologique de la transition entre les bioclimats subhumide, semi-aride et aride dans l'étage thermo-méditerranéen du Tell oranais (Algérie occidentale). *Thèse de Doctorat, Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille III*, 189 P. + annexe + cartes.
- ALCARAZ, C.,** (1970) – Détermination de la limite méridionale de l'influence de la brise marine. Son action sur la répartition de la végétation oranaise. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, Alger, t. 60, fasc. 1 et 2 : 103-115.
- ALCARAZ, C.,** (1982) – La végétation de l'Ouest algérien. *Thèse de Doctorat. Es. Sc., Univ. Perpignan*, 3 vol. Parus ronéotypés : vol.1 : 415 P., vol. 2 : 24 graph. et tab. + 13 cartes dont 1 carte au 1 : 500.000<sup>e</sup> en couleur, vol. 3 : 116 P. tabl. Phyto.
- ANSER, A.,** (2012) – Guide pratique pour l'utilisation des indices et coefficients climatologiques. Éd. Office des Publications Universitaire, Alger, 117 P.
- A.N.A.T (Agence Nationale pour l'Aménagement du Territoire),** (2010) - Plan d'Aménagement du Territoire de la Wilaya de Tlemcen, Phase 1:Evaluation Territoriale, 257 P. + cartes.
- BADRI, W., GAUQUELIN, T., MINET, J. & SAVOIE, J.M.,** (1994) - Données météorologiques nouvelles sur le massif de l'Oukaimeden (2 570 m, Haut Atlas de Marrakech, Maroc) : un exemple de climat de haute montagne méditerranéenne. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, N°7, pp. 190-198.
- BAGNOULS, F. & GAUSSEN, H.,** (1953) - Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse Si* (3-4), pp. 193-239.
- BAGNOULS, F., & GAUSSEN, H.,** (1957) – Les climats biologiques et leurs classification. *Ann. Géog. Fr.* LXVI, 355, p.p.193-220.
- BAIZE, D. & GIRARD, M.-C.,** (2008) - Référentiel pédologique 2008. Association française pour l'étude du sol (A.F.E.S), Collection *Savoir-faire*, Éd. Quae, 405 P.
- BARBERO, M. & QUEZEL, P.,** (1982) – Caractérisation bioclimatique des étages de végétation forestière sur le pourtour méditerranéen. Aspects méthodologiques par la zonation, p.p. 49-56.
- BARBERO, M., BONIN, G., LOISEL, R. & QUÉZEL, P.,** (1988) – Séquences secondaire et matorralisation. Atelier agriculture et transformation des terres dans le bassin méditerranéen (SCOPE), Montpellier, 20 P.
- BARBERO, M., LOISEL, R., MÉDAIL F. & QUÉZEL, P.,** (2001) - Signification biogéographique et biodiversité des forêts du bassin méditerranéen. *Bocconeia*, Vol.13, pp. 11-25.

**BEAULIEU, J.-L. de, & ANDRIEU-PONEL, V.,** (2008) - Forêt méditerranéenne et changement climatique : le regard du passé. *Forêt méditerranéenne*, Etat des connaissances : situations et perspectives, t. 29, n° 2, p.p. 139-144.

**BENMOUSSAT, F. Z.,** (2004) - Relations bioclimatiques et phisonomiques des peuplements halophytes. Th. de Magister, *Univ. Abou Bekr BELKAID, Tlemcen*, 161 P. + Annexes.

**BENABDELI, K.,** (1996) – Aspects phisonomico-structural et dynamique des écosystèmes forestiers face à la pression anthropozoogène dans les Monts de Tlemcen et les Monts de Daya (Algérie septentrionale occidentale). *Th. Doct. D'Etat*, Univ. Djilali Liabès, Sidi Bel Abbès, Algérie, 2 tomes + annexes, 356 P., 126 tab.

**BENZERTI, Z. & HABAIEB, H.,** (2001) - Étude de la persistance de la sécheresse en Tunisie par utilisation des chaînes de Markov (1909-1996). *Sécheresse*, Vol. 12, p.p. 215-220.

**BETHEMONT, J.,** (2001) – Le monde méditerranéen. Thèmes et problèmes géographiques. Éd. SEDES, Paris, 320 P.

**BOUANANI, A.,** (2004) - Hydrologie, Transport solide et modélisation : Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie). *Th. de Doct. d'état*, Univ. Abou Bekr BELKAID, Tlemcen, 225 P. + Annexes.

**BOUCHET, R. J.,** (1968) – Techniques rurales en Afrique, p.117.

**BOUHASSOUN, S.,** (2013) – Ecologie et biologie des populations : Bioécologie et régime alimentaire d'*Hirundo rustica L.* 1758 (Aves *hirundinidae*) dans la station de Zenata (Tlemcen). Th. de Magister, *Univ. Abou Bekr BELKAID, Tlemcen*, P. + Annexes.

**BOUZAIANE, S., LAFOURGUE, A.,** (1986) - Monographie hydrologique des oueds Zéroud et Merguellil. Tunis, DGRE-ORST.

**BOYER, J. F.,** (1998) – KhronoStat - Statistical time series analyses software. Montpellier, UMR 5569 Hydro sciences, IRD-Maison des Sciences de l'eau.

**BRAUN-BLANQUET, J., ROUSSINE, N., NEGRE, R. & EMBERGER, L.,** (1952) – Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. C.N.R.S., Montpellier, 297 P.

**BUISHAND, T. A.,** (1982) - Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology* 58, pp. 11-27.

**BUISHAND, T. A.,** (1984) - Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series. *Journal of Hydrology* 73, pp. 51-69.

**CALOZ, R. & COLLET, C.,** (2011) – Analyse spatiale de l'information géographique. *Presses polytechniques et universitaires romandes*, Lausanne, 383 P.

**CHAABANE, A.,** (2010) - Flore et Végétations Méditerranéennes. Université Virtuelle de Tunis, 74 P.

**CHARRE, J.,** (1997) – Dessine-moi un climat. Que pensez du diagramme ombrathermique ? *Mappemonde*, n°2, p.p. 29-31.

**CHAUMONT, M., & PAQUIN, C.,** (1971) – Carte pluviométrique de l'Algérie au (1/500 000) et notice explicative. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, Alger. 4 feuilles.

**CHEVALIER, A.**, (1939) - Les origines et l'évolution de l'agriculture méditerranéenne. Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale. 19e année, bulletin n°217-218, Septembre-octobre 1939, p.p. 613-662.

**COUDERC, R.**, (1974) – Le climat dans l'économie de l'Algérie : Essai de synthèse et de recherche géographiques. *Univ. d'Oran, Faculté des Sciences*, 56 P. + Annexes.

**DAGET, Ph.**, (1977) – Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux, modes de caractérisation. *Revue Vegetatio*, Vol. 34, n° 1, p.p. 1-20.

**DAGET, Ph. & GODRON, M.**, (1982) – Analyse de l'écologie des espèces dans les communautés. Coll. d'écologie 18, Ed. Masson, Paris, 163 P.

**DAGNÉLIE, P.**, (1970) - Théorie et méthodes statistiques. Vol. 1 et 2. Gembloux : Duculot éditions.

**DAHMANI, M.**, (1984) – Contribution à l'étude des groupements à chêne vert dans les monts de Tlemcen (Ouest Algérien). Approche phyto-sociologique et phytoécologique.

*Th. Doct. 3<sup>e</sup> cycle, Univ. H. BOUMEDIENNE*, Alger, 238P. + Annexes.

**DALLEL, J. & SAKKA, M.**, (2010) - Pluviométrie en Méditerranée occidentale et oscillation nord-atlantique (NAO). In : Risques et changement climatique... en hommage à Jean MOUNIER, Actes du XXIII<sup>e</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie (Rennes), p.p. 501-507.

**DEMANGEOT, J.**, (1986) - Les milieux "naturels" du globe. Collection Géographie, Éd. Masson, Paris, 250 P.

**DELECOLLÉ, R., BALANDIER, P. & RIVET, P.**, (1996) – Conséquences des changements climatiques globaux sur l'agriculture. Séminaire INRA, T.2, p.p. 463-474.

**DE PARCEVAUX, S. & HUBER, L.**, (2007) – Bioclimatologie : Concepts et applications. Éd. Quæ, Paris, 324 P.

**DIMÉGLIO, T. & RIMAUD, J.**, (2008) - Les cycles climatiques de Dansgaard-Oeschger et les Heinrich associés. Introduction à la Biogéochimie, *Université de la Méditerranée - Aix-Marseille II, Centre d'Océanologie de Marseille*, 15 P.

**D.S.A.**, (2013) – Présentation du secteur de l'agriculture de la wilaya de Tlemcen. Direction des services agricoles, 18 p.

**DUBREUIL, P.**, (1974) – Initiation à l'analyse hydrologique. *Éd. Masson et CIE ORSTOM*, Paris, 216 P.

**DUBREUIL, V. & PLANCHON, O.**, (2008) - Y aura-t-il encore un climat breton en 2030? *Bretagne(s)*, n°10, p.p. 36-41 (ISSN : 1779-1693).

**DUCHAUFOUR, P.**, (2001) – Introduction à la science du sol. Sol, végétation, environnement. Éd. Dunod, Paris, 331 P.

**DURAND, R.**, (1967) – Action de la température et du rayonnement sur la croissance. *Ann. Physiol. veg.* 9 (1), pp. 5-27.

**EMBERGER, L.**, (1930) – La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Revue générale de botanique* (42), p.p. 705 - 721.

**EMBERGER, L.**, (1955) - Une classification biogéographique des climats. Travaux du Laboratoire de Botanique et de Zoologie, Faculté des Sciences Montpellier, 7, p.p. 1- 47.

**EWING, B., MOORE, D., GOLDFINGER, S., OURSLER, A., REED, A., & WACKERNAGEL, M.** (2010) - *The Ecological Footprint Atlas 2010*. Oakland, Global Footprint Network.

**FAO**, (2013) - Etat des forêts méditerranéennes 2013. *Groupe de travail n°3 du Comité Silva Mediterranea de la FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & Plan Bleu*, n° 1, 207 P.

**FARAOUN, F. & BENABDELI, K.**, (2010) - Cartographie et caractérisation physico-chimique des sols de la plaine de Sidi Bel Abbés (Algérie occidentale). *Afrique SCIENCE, Revue internationale des sciences et technologie*, Vol. 6, N° 3, p.p. 18-26.

**FOUCAULT, A.**, (2007) - A propos d'un bicentenaire : les débuts de la paléoclimatologie. *Revue Sciences*, 3e trimestre 2007, p.p. 15-19.

**GAOUAR, A.**, (1980) – Hypothèses et réflexions sur la dégradation des écosystèmes forestiers dans la région de Tlemcen (Algérie). *Revue Forêt Méditerranéenne*, Tome II, n°2, pp. 131 -146.

**GAUSSSEN, H.**, (1953) – Saison sèche et indice xérothermique. *Doc. Cart. Prod. Veg. Art. N°8*, Toulouse, 47 P. + 1 Carte.

**GIANNAKOPOULOS, C., LE SAGER, P., BINDI, M., MORIONDO, M., KOSTOPOULOU, E., & GOODESS, C. M.**, (2009) - Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global warming. *Global and Planetary Change*, doi:10.1016/j.gloplacha.2009.06.001, 16 P.

**GIEC**, (2001) – Bilan 2001 des changements climatiques. Rapport de synthèse. Résumé à l'intention des décideurs, Contribution des Groupes de travail I, II et III au troisième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, [Équipe de rédaction principale, Albritton *et al.*], GIEC, Genève, Suisse, 97 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 P.

**GIRARD, M.-C., SCHVARTZ, C. et JABIOL, B.**, (2011) – Etude des sols. Description, cartographie, utilisation. Ed. Dunod, Paris, 404 P.

**GUILLEMOT, H.**, (2000) - Oscillation Nord-Atlantique. Le yo-yo météo, *Science et vie*, p. 997.

**GOUNOT, M.**, (1958) – Contribution à l'étude des groupements végétaux messicoles et rudéraux de la Tunisie, Ann. Serv. Bot. Agron. Tunisie, N° 31, pp. 1-282.

**GUYOT, G.**, (1997) – Climatologie de l'environnement. De la plante à l'écosystème. Ed. Masson, Paris, 505 P.

**HALIMI, A.**, (1980) – L'Atlas Blidéen, climats et étages végétaux. *Ed. Office des publications universitaires (OPU)*, Alger, 523 P.

**HALIMI, A.**, (1986) - Rayonnement solaire et observations météorologiques. *Ed. Office des publications universitaires (OPU)*, Alger, 264 P.

**HALPERT, M. S. & ROPELEWSKI, C. F.**, (1992) - Surface temperature patterns associated with the Southern Oscillation. *J. Climate*, n°5, p.p. 577-593.

**HASNAOUI, O.**, (2008) - Contribution à l'étude de la Chamaeropae de la région de Tlemcen : Aspects écologiques et cartographie. Thèse Doct. *Univ. Abou Bakr Belkaid Tlemcen – Algérie*, 204 P. + Annexes.

**HEINO, R.**, (1996) – Meta data and their role in homogenisation. *Proceedings Seminar on Homogenization of Surf. Instrum. Data*, Budapest, 1996. p.p. 5-8.

**HIEZ, G.**, (1977) - L'homogénéité des données pluviométriques. Cnh. ORSTOM, Série Hydrologie, vol. XIV, n° 2, Brésil, p.p. 129-160. + Annexes.

**HUBERT, P., CARBONNEL, J.P. & CHAOUCHE, A.**, (1989). Segmentation des séries hydrométéorologiques : Application à des séries de précipitations et de débits en Afrique de l'ouest. *Journal of Hydrology*, N°110, p.p. 349-367.

**HUFTY, A.**, (2001) – Introduction à la climatologie. *Ed. De Boeck Université*, Québec, Canada, 542 P.

**KAZI TANI, Ch.**, (2011) – Contribution à l'étude des communautés d'adventices des cultures du secteur phytogéographique oranais (Nord-Ouest algérien) : Aspects botanique, agronomique et phytoécologique. *Th. de Doct., Univ. Abou Bekr BELKAID, Tlemcen*, 226 P. + Annexes + Planches.

**KHEMIES, F.**, (2013) - Inventaire des variétés locales d'arboriculture fruitière et leurs biotopes réceptifs dans la wilaya de Tlemcen. *Th. de Magister, Univ. Abou Bekr BELKAID, Tlemcen*, 185 P. + Annexes.

**KETROUCI, K., MEDDI, M. & MATARI, A.**, (2003) - La variabilité de la pluviométrie dans le nord-ouest Algérien. Séminaire national sur l'eau et l'environnement, Bechar, 12 et 13 octobre 2003.

**LABORDE, J. P.**, (1993) - Cartes pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle du 1/500 000, notice explicative. Projet PNUD/ALG/88/021). Agence nationale des ressources hydrauliques, Alger, 1 carte et sa notice de 54 P.

**LABORDE, J.-P. & MOUHOUS, M.**, (1998) - *Logiciel Hydrolab*, version 98.2, équipe Gestion et valorisation de l'environnement de l'UMR 5651 « Espace » du CNRS.

**LACOSTE, A. & SALANON, R.**, (1999) - Eléments de biogéographie et d'écologie. Coll. Fac., Éd. Nathan, Paris, 300 P.

**LEBOURGEOIS, F.**, (2010) - Cours de bioclimatologie à l'usage des forestiers. Agro Paris Tech, ENGREF, Nancy, 250 P.

**LEE, A.F.S. & HEGHINIAN, S. M.**, (1977) - A shift of the mean level in a sequence of independant normal random variables. A bayesian approch. *Technometrics*, 19, pp. 503-506.

**LE HOUÉROU, H.-N.**, (1971) – Les Atriplex en Tunisie et en Afrique du Nord. Div. Ress. Forest. FAO, Rome, 249P.

**LE HOUÉROU, H.-N.**, (1991) – La Méditerranée en l'an 2050 : Impacts respectifs d'une éventuelle évolution climatique et de la démographie sur la végétation, les écosystèmes et l'utilisation des terres : étude perspective. *La Météorologie*, VII, séries 36, p.p. 4-37.

**LE GOFF, Y.**, (1985) - Variabilité interannuelle des précipitations au Maroc (1913-1985), Étude de la DMN. In: SEDRATI, M., ETTALIBI, M., eds. *Sécheresse, gestion des eaux et production alimentaire*. Actes de la conférence d'Agadir, 21-24 novembre 1985, p.p. 37-51.

**LUBÈS H., MASSON J-M., SERVAT E., PATUREL J-E., KOUAME B.**, (1994) - Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par applications de tests statistiques, étude bibliographique. *Programme ICCARE, ORSTOM*, rapport n° 3, 21 P.

**LUBÈS, H., MASSON, J.M., SERVAT, E., PATUREL, J.E.**, (1998) - Variabilité climatique et statistique : étude de simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue Sciences Eau*, 3, pp. 383-408.

**MAIRE, R.**, (1952-1987) – Flore de l'Afrique du Nord. P. Le Chevallier, Paris, Vol. I à Vol. XIV.

**MEDDI, M. & HUMBERT, J.**, (2001) - Variabilité pluviométrique dans l'ouest algérien durant les cinq dernières décennies. Publication de l'Association internationale de climatologie, vol. 13, p.p.66-74.

**MEDDI, M., HUBERT, P. & BENDJOURDI, H.**, (2002) - Evolution du régime pluviométrique du Nord-Ouest de l'Algérie. Actes du colloque international sur l'eau dans le Bassin Méditerranéen (WATMED) « Ressources et développement durable », Monastir Tunisie, p.p. 482-487.

**MEDDI, M. & HUBERT, P.**, (2003) - Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord-ouest de l'Algérie. *Hydrology of the Mediterranean and semiarid Regions. IAHS*, 278, p.p. 1-7.

**MEDDI, H. & MEDDI, M.**, (2009a) – Etude de la persistance de la sécheresse au niveau de sept plaines algériennes par utilisation des chaines de MARKOV (1930-2003). *Courrier du Savoir*, N°09, pp.39-48.

**MEDDI, H. & MEDDI, M.**, (2009b) – Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, Vol. 20, n°1, p.p. 57-65.

**MÉDAIL, F. & QUÉZEL, P.**, (1999) - Biodiversity Hotspots in the Mediterranean Basin : Setting Global Conservation Priorities. *Conservation Biology*, Vol. 13, n° 6, p.p.1510–1513.

**MÉDAIL, F. & QUÉZEL, P.**, (2003) - Conséquences écologiques possibles des changements climatiques sur la flore et la végétation du bassin méditerranéen. *Bocconeia*, Vol. 16, n° 1, p.p. 397–422.

**MEKO, D. M.**, (1985) - Temporal and spacial variabilization of drought in Marocco. Proceedings of Conference on drought, water management and food production, Agadir (Maroc), 21-24 November 1985, p.p. 55-82.

**MICHALET, R.**, (1991) - Nouvelle synthèse bioclimatique des milieux méditerranéens. Application au Maroc septentrional. *Rev. Ecol. Alp.*, Grenoble, I : 45-60.

**NAHAL, I.**, (1977) – Le pin brutia (*Pinus brutia Ten. ssp. Brutia*) et les facteurs climatiques. *Res. J. Aleppo Univ.*, 2, pp. 19-60.

**OMM-WMO**, (2000) - Detecting trend and other changes in hydrological data. In : KUNDZEWICZ, Z.W., ROBSON, A., eds. World Climate Programme Data and Monitoring. WCDMP-45. WMO /TD-n° 1013. Genève, OMM, 2000.

**OMM** (2012) - Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial en 2011. Organisation météorologique mondiale, N° 1085, Genève, 22 P.

**OMM** (2014) - Déclaration provisoire sur l'état du climat en 2013: Les températures continuent d'être élevées et l'on observe de nombreux extrêmes climatiques de par le monde. *Communiqué de presse*, Organisation météorologique mondiale, N° 981, Genève, 08 P.

**PATUREL, J. E., SERVAT, E. & DELATTRE, M. O.**, (1998) - Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. *Journal des Sciences Hydrologiques*, Vol. 43, n° 6, p.p. 937-946.

**PETTITT, A. N.**, (1979) – A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Statist.* 28 (2), pp.126-135.

**PÉGUY, Ch. P.**, (1970) - Précis de climatologie. *Éd. Masson & Cie*. 108 P.

**PLANTON, S. & BESSEMOULIN, P.**, (2000) - Le climat s'emballe-t-il ? *Recherche*, n° 335, p.p. 46-49.

**PLANTON, S.**, (1997) – Modélisation climatique et environnement. Conférence, N° 2, Site Web, MESOE, *Académie de Toulouse*, 19 P.

**Plan Bleu**, (2008) - Changement climatique et énergie en Méditerranée. Centre d'Activités Régionales, Sophia Antipolis, Nice, 578 P.

**PONS, A. & QUEZEL, P.**, (1988) – The history of flora and vegetation and past and present human disturbances in the mediterranean region. In GOMEZ, Ed. Compo., Plant conservation in mediterranean area, Jung publischer, p.p. 25-43.

**QUÉZEL, P. & SANTA, S.**, (1962-1963) – Nouvelle Flore de l'Algérie et des Régions Désertiques Méridionales. Éd. C.N.R.S, Paris, Tome 1 (1962) : 565 P., Tome 2 (1963) : 571-1170 P.

**QUÉZEL, P.**, (1974) - *Les forêts du pourtour mdditerranen*. Notes tech. M.A.B. 2, U.N.E.S.C.O. Paris, p.p. 9-34.

**QUÉZEL, P.**, (1979) – La région méditerranéenne française et ses essences forestières. Signification écologique dans le contexte Circumméditerranéen. *Forêt méditerranéenne*, t. I, n° 1, p.p. 7-18.



**QUÉZEL, P.**, (1985) - Definition of the Mediterranean region and the origin of its flora. In C. Gomez-Campo (éd.). *Plant conservation in the Mediterranean area. Geobotany 7*, W. Junk, Dordrecht, Pays-Bas. pp. 9-24.

**QUÉZEL, P. & MÉDAIL, F.**, (2003a) – Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Éd. Elsevier, Paris, 571 P.

**QUÉZEL, P. & MÉDAIL, F.**, (2003b) - La forêt méditerranéenne : espace naturel ? Quelles situations ? Que faut-il entendre par « forêts méditerranéennes »? *Forêts méditerranéennes*, t. 24, n° 1, p.p. 11-31.

**R.G.P.H.**, (2008) – 5<sup>e</sup> Recensement Général de la Population et de l’Habitat. Office National des Statistiques, Collections Statistiques N° 163/2011, Série S : Statistiques Sociales, Algérie, 213 P.

**RODWELL M. J. & HOSKINS, B. J.**, (1996) - Monsoons and the dynamics of deserts. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 122, p.p. 1385-1404.

**ROUCHÉ, N., MAHÉ, G., ARDOIN-BARDIN, S., BRISSAUD, B., BOYER, J.-F., CRÈS, A., DIEULIN, C., BARDIN, G., COMMELARD, G., DEZETTER, A., PATUREL, J.-E. & SERVAT, É.**, (2010) - Constitution d'une grille de pluies mensuelles pour l'Afrique (période 1900-2000). *Revue Sécheresse*, Vol. 21, n° 1e, p.p. 1-6.

**ROUSSEL, G.**, (2012) - Quelles sont les connaissances actuelles sur le changement climatique de l'échelle globale aux échelles régionales ? Rapport d'étude du Conseil Scientifique de l'Environnement de Bretagne, Tome 2, Rennes, 210 P.

**SAUVAGE, Ch.**, (1963) – Etages bioclimatiques. Atlas du Maroc. Notices applicatives. Physio. du Glob. et météor., N° 6b, 31 P.

**SEBBAR, A., BADRI, W., FOUGRACH, H., HSAINE, M. & SALOUI, A.**, (2011) - Étude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935-2004). *Sécheresse*, vol. 22, n° 3, p.p. 139-148.

**SEBBAR, A., HSAINE, M., FOUGHRACH, H., & BADRI, W.**, (2012) - Étude des variations climatiques de la région centre du Maroc. In : *Les climats régionaux : observation et modélisation*, Actes du XXV<sup>ème</sup> Colloque de l'Association Internationale de Climatologie (Grenoble), S. BIGOT et S. ROME édit., p. 709-714.

**SÉGUIN, B.**, (1975) - Etude comparée des méthodes d'estimation d'ETP en climat méditerranéen du sud de la France (région d'Avignon). *Annales Agronomiques*, Vol. 26, n°6, pp. 671-691.

**SELTZER, P.**, (1946) – Le climat de l'Algérie. Travaux de l'Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie, Univ. d'Alger, 219 P.

**SKOURI, M.**, (1994) - Les ressources physiques de la région méditerranéenne. *Equilibre alimentaire, agriculture et environnement en Méditerranée*. Montpellier, CIHEAM, (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n° 24), p.p. 15-30.

**SOLTNER, D.**, (1999) – Les bases de la production végétale. T. II, Le Climat. Ed. Sciences et techniques agricoles, 8<sup>e</sup> édition, Sainte-Gemmes-sur-Loire, France, 320 P.

- STEWART, Ph.**, (1969) – Quotient pluviométrique et dégradation atmosphérique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, (59), Alger, p.p. 23-36.
- STEWART, Ph.**, (1975) - Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application au barrage vert. *Bull Soc Hist Afr Nord*, n°65, pp. 239-345.
- SUC, J.-P.**, (1984) - Origin and evolution of the Mediterranean vegetation and climate in Europe. *Nature* 307 (5950), p.p. 429- 432.
- SUC, J.-P., BERTINI, A., COMBOURIEU-NEBOUT, N., DINIZ, F., LEROY, S., RUSSO-ERMOLLI, F., ZHENG, Z., BESSAIS, E. & FERRIER, J.**, (1995) - Structure of West Mediterranean vegetation and climate since 5.3 Ma. *Acta Zoologica Cracoviense* 38, p.p. 3-16.
- SULTAN, B., ROUDIER, Ph. & QUIRION, Ph.**, (2013) - Les bénéfices de la prévision saisonnière pour l'agriculture en Afrique de l'Ouest. *Sécheresse*, Vol. 24, N° 4, p.p. 304–313.
- TASSIN, C.**, (2012) – Paysages végétaux du domaine méditerranéen. Éd. IRD, Marseille, 421 P.
- THINTOIN, R.**, (1948) - Les Aspects physiques du Tell oranais. Éd. L. Fouque, Oran, 638 P.
- VÉLA, E. & BENHOUHOU, S.**, (2007) - Évaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord). *C. R. Biologies*, n° 330, p.p. 589–605.
- VENNETIER, M. & RIPERT C.**, (2010) - Impact du changement climatique sur la flore méditerranéenne: théorie et pratique. in Barbault R., Foucault A. coordinateurs "Changement climatique et biodiversité", Éd. Vuibert. Paris, p.p. 75-87.
- VILLENEUVE, G. O.**, (1980) – Glossaire de météorologie et de climatologie. Les presses de l'université Laval, Québec, 645 P.
- VISBECK, M., HURRELL, J., POLVANI, L. & CULLEN, H. M.**, (2001) - The North Atlantic Oscillation: Past, present, and future. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 98, pp. 12876-77.
- WALTER, H. & LIETH, H.** (1960) - *Klimadiagram-Weltatlas*. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena (DE) (in German).
- WANNER, H.**, (1999) - Le balancier de l'Atlantique-Nord. *Recherche*, N° 321, pp. 72-73.
- YACOUBI, M. & HANCHANE, M.**, (1997) - Importance de la pluviométrie en milieu aride et semi-aride Marocain. *Hommes, Terre et Eaux, Revue Marocaine des Sciences et Techniques du développement Rural*, n°3, p.p. 21-22.

## SITES WEB

- <http://www.infoclimat.fr> – Site web français de météorologie.
- <http://www.tutiempo.net/en/climate> – Site web espagnol de météorologie.
- <http://www.onm.org.dz> – Site web de l'office nationale de météorologie.
- <http://www.wmo.int> – Site web de l'Organisation météorologique Mondiale.
- [http://www.notre-planete.info/terre/climatologie\\_meteo/elnino.php](http://www.notre-planete.info/terre/climatologie_meteo/elnino.php) : Explication du Phénomène El Nino.
- <http://www.conservation-nature.fr> - Encyclopédie en ligne 2008-2010.
- <http://www.pedagogie.ac-toulouse.fr> - Site web de l'Académie de Toulouse.
- [http://agriculture.gouv.fr/histoire/2\\_histoire/index\\_histoire\\_agriculture.htm](http://agriculture.gouv.fr/histoire/2_histoire/index_histoire_agriculture.htm) - Histoire de l'agriculture
- <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.231391598> - North Atlantic Oscillation: Past, present, and future.

---

## **ANNEXES**

---

**ANNEXE A. – Les superficies et les productions agricoles pour la campagne 2012/2013 (D.S.A, 2014).**

**1/ Les Céréales d'hiver.**

Commune	Secteur	Blé Dur		Blé Tendre		Orge		Avoine		Total	
		Superficie moissonnée (ha)	Production récoltée (Qx)								
Zenata	Privé	800	16 000	600	12 000	900	18 000	100	1 500	2 400	47 500
Maghnia	Privé	2 400	48 800	2 250	40 700	2 350	37 600	300	3 600	7 300	130 700
Total wilaya	Public	710	10 500	640	7 235	1 502	21 350	70	650	2 922	39 735
Total wilaya	Privé	43 622	694 300	43 198	640 965	74 012	1 179 250	4 630	55 750	165 462	2 570 265
Total général	-	44 322	704 800	43 838	648 200	75 514	1 200 600	4 700	56 400	168 384	2 610 000

**2/ Les légumes secs.**

Commune	Secteur	Fèves ou Féveroles		Pois secs		Pois chiche		Autres légumes secs		Total	
		Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)
Zenata	Privé	150	1 200	100	700	100	1 400	0	0	350	3 300
Maghnia	Privé	40	400	0	0	0	0	0	0	40	400
Total wilaya	Public	0	0	0	0	87	650	0	0	87	650
Total wilaya	Privé	4 570	43 680	4 030	36 000	5 263	72 350	235	2 150	14 098	154 180
Total général	-	4 570	43 680	4 030	36 000	5 350	73 000	235	2 150	14 185	154 830

### 3/ Les cultures maraîchères.

Commune	Secteur	Pommes de terre		Carottes		Tomates		Oignons		Haricots verts	
		Superficie (ha)	Production (Qx)								
Zenata	Privé	56	18 300	0	0	4	1 800	0	0	0	0
Maghnia	Privé	2 415	745 600	50	6 000	146	36 500	66	145 00	20	1 200
Total wilaya	Public	16	2 510	0	0	0	0	0	0	0	0
Total wilaya	Privé	5 175	1 504 490	490	41 930	923	288 400	1 050	174 100	490	25 430
Total général	-	5 191	1 507 000	490	41 930	923	288 400	1 050	174 100	490	25 430

Melons & Pastèques		Piments		Poivrons		Concombre		Courgettes		Aubergines	
Superficie (ha)	Production (Qx)										
10	2 000	0	0	2	1 000	0	0	0	0	0	0
450	112 500	10	800	85	8500	20	4 000	80	14 400	20	3 600
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 680	355 630	144	13 230	630	80 580	248	667 80	359	65 980	102	15 110
1 680	355 630	144	13 230	630	80 580	248	667 80	359	65 980	102	15 110

Navets		Ails		Fèves vertes		Petits pois		Autres légumes		Total	
Superficie (ha)	Production (Qx)										
0	0	0	0	80	4 200	165	7 590	1	80	318	34 970
50	4 000	11	770	140	8 400	150	8 000	77	3 030	3 790	971 800
0	0	0	0	0	0	0	0	10	400	26	2 910
426	38 970	150	9 000	2 450	94 020	3 450	118 490	1 007	55 650	18 774	2 947 790
426	38 970	150	9 000	2 450	94 020	3 450	118 490	1 017	56 050	18 800	2 950 700

**4/ La Pomme de terre.**

Commune	Secteur	Arrière-Saison		Primeur		Saison		Total	
		Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)
Zenata	Privé	0	0	0	0	56	18 300	56	18 300
Maghnia	Privé	1 204	299 800	0	0	1 211	44 5800	2 415	745 600
Total wilaya	Public	16	2 510	0	0	0	0	16	2 510
Total wilaya	Privé	2 067	459 490	85	17 000	3 023	1 028 000	5 175	1 504 490
Total général	-	2 083	462 000	85	17 000	3 023	1 028 000	5 191	1 507 000

**5/ Les cultures maraîchères protégées (cultures sous-serres).**

Commune	Secteur	Tomates		Poivrons		Autres cultures		Total	
		Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)
Zenata	Privé	2	1 000	2	1 400	0	0	4	2 400
Maghnia	Privé	0	0	0	0	0	0	0	0
Total wilaya	Public	0	0	0	0	0	0	0	0
Total wilaya	Privé	83	66 400	73,28	50 600	59,23	45 800	215,51	162 800
Total général	-	83	66 400	73,28	50 600	59,23	45 800	215,51	162 800

### 6/ Les cultures fourragères.

Commune	Secteur	Fourrages consommés en vert ou ensilés						Fourrages consommés en secs		Total général	
		Mais - Sorgho		Orge, Avoine et seigle		Luzerne					
		Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)
Zenata	Privé	0	0	0	0	0	0	500	17 500	500	17 500
Maghnia	Privé	10	5 000	600	130 000	50	25 000	1 400	560 00	2 060	216 000
Total wilaya	Public	0	0	100	15 950	0	0	100	3 400	200	19 350
Total wilaya	Privé	14	6 900	2 500	504 050	52	25 120	13 050	477 600	15 616	1 013 670
Total général	-	14	6 900	2 600	520 000	52	25 120	13 150	481 000	15 816	1 033 020

### 7/ Jachère.

Commune	Secteur	Jachère fauchée		Jachère travaillée au printemps		Total
		Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	
Zenata	Privé	0	0	595	595	595
Maghnia	Privé	120	30 000	8 492	8 612	8 612
Total wilaya	Public	0	0	1 447	1 447	1 447
Total wilaya	Privé	500	125 000	103 000	103 500	103 500
Total général	-	500	125 000	104 447	104 947	104 947

### 8/ Vignobles.

Commune	Secteur	Vignes de cuve				Vignes de table			Pieds mères et pépinières (ha)	Superficies totales (ha)		
		Superficie plantée (ha)	Superficie en rapport (ha)	Productions		Superficie plantée (ha)	Superficie en rapport (ha)	Productions (Qx)				
				Raisins (Qx)	Vins (hl)							
Zenata	Privé	0	0	0	0	130	95	6 650	0	130		
Maghnia	Privé	0	0	0	0	160	113	18 450	0	160		
Total wilaya	Public	703	621	11 950	563	11	11	470	4	718		
Total wilaya	Privé	718	636	28 050	812	2 860	2 614	159 530	0	3 578		
Total général	-	1 421	1 257	40 000	1 375	2 871	2 625	160 000	4	4 296		

### 9/ Oléiculture.

Commune	Secteur	Oliviers cultivés (plantés ou greffés) (Nombre)				Productions totales			
		Surfaces occupées (ha)	Oliviers en masses	Oliviers isolés	Total d'oliviers cultivés	Nombre d'oliviers en rapport	Pour la conservation (Qx)	Pour l'huile (Qx)	En l'huile (hl)
Zenata	Privé	68	6 800	6 450	13 250	11 400	530	3 100	558
Maghnia	Privé	990	135 520	9 200	144 720	103 100	11 920	17 500	3 150
Total wilaya	Public	325	36 760	10 070	46 380	38 180	5 430	4 190	755
Total wilaya	Privé	8 437	1 018 310	227 680	1 245 990	876 820	90 770	119 610	21 545
Total général	-	8 762	1 055 070	237 750	1 292 820	915 000	96 200	123 800	22 300

### 10/ Figuiers.

Commune	Secteur	Figuiers en masse		Nombre de figuiers isolés	Nombre total de figuiers	Nombre de figuiers en rapport	Productions					
		Surfaces occupées (ha)	Nombre de figuiers en masse				En figues fraîches		En figues sèches			
							Consommés (Qx)	Soumises au séchage (Qx)				
Zenata	Privé	0	0	0	0	0	0	0	0			
Maghnia	Privé	7	700	800	1 500	1 000	640	0	0			
Total wilaya	Public	0	0	0	0	0	0	0	0			
Total wilaya	Privé	384	39 900	16 420	56 320	54 900	27 150	300	120			
Total général	-	384	39 900	16 420	56 320	54 900	27 150	300	120			

### 12/ Les Agrumes (Superficies en rapport).

Commune	Secteur	Orangers		Mandariniers		Clémentiniers		Citronniers		Total Agrumes	
		Superficie (ha)	Production (Qx)								
Zenata	Privé	4	400	0	0	0	0	0	0	4	400
Maghnia	Privé	340	71 120	0	0	78	13 260	8	2 000	426	86 380
Total wilaya	Public	47	5 720	0	0	5	400	2	300	54	6 420
Total wilaya	Privé	1 583	188 480	20	2 500	243	28 600	130	18 700	1 976	238 280
Total général	-	1 630	194 200	20	2 500	248	29 000	132	19 000	2 030	244 700

## 12/ Les cultures fruitières (Superficies en rapport).

Commune	Secteur	Pommes		Poires		Coings		Abricots		Pêches	
		Superficie (ha)	Production (Qx)								
Zenata	Privé	6	420	0	0	2	60	6	560	4	320
Maghnia	Privé	35	7 000	42	6 000	0	0	25	4 500	45	70 00
Total wilaya	Public	0	0	0	0	0	0	20	70	30	50
Total wilaya	Privé	894	94 620	460	49 310	251	19 240	717	73 970	1940	183 870
Total général	-	894	94 620	460	49 310	251	19 240	737	74 040	1970	183 920

Amandes			Prunes		Grenades		Autres prod. fruitières		Total	
Superficie (ha)	Production fraiche(Qx)	Production sèche (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Superficie (ha)	Production (Qx)
53	0	530	6	360	6	210	0	0	88	2 810
34	40	680	20	1 600	0	0	0	0	201	26 820
0	0	0	20	200	4	520	0	0	74	840
7 868	360	122 640	1707	127 980	353	29 910	500	17 190	14 695	719 220
7 868	360	122 640	1727	128 180	357	30 430	500	17 190	14 769	720 060

**ANNEXE 1/ 8. 6 – Recensement du matériel agricole (en fonction) pour la campagne 2012/2013 (D.S.A, 2014).**

**1/ Matériels de traction.**

Commune	Tracteurs pneumatiques	Tracteurs à chenilles	Motoculteurs	Total
Zenata	44	4	0	48
Maghnia	402	6	0	408
Total wilaya	4 328	200	48	4 708

**2/ Matériels aratoires.**

Commune	Charrees à socs trainées	Charrees à socs portées non réversibles	Charrees à socs portées	Charrees à disques	Charrees à disques portées non réversibles	Charrees à disques portées	Cover-crop trainés	Cover-crop portés	Déchaumeuses	Cultivateurs
Zenata	5	5	0	23	0	2	18	5	0	7
Maghnia	113	0	0	0	320	0	260	0	0	60
Total wilaya	1 241	882	541	641	1 467	12	2 247	287	36	246

**3/ Matériels spécialisés.**

Commune	Rouleaux × Crosskills	Hereses	Bineuses / Buteuses	Groupe électrogène	Autres
Zenata	2	2	0	0	0
Maghnia	0	4	85	20	0
Total wilaya	29	305	113	217	129

**4/ Matériels de semis et d'épandage.**

Commune	Semoirs à grains	Epandeurs d'engrais centrifuge	Epandeurs d'engrais par gravité
Zenata	1	0	0
Maghnia	11	30	0
Total wilaya	137	131	23

**5/ Matériels de traction mécanique.**

Commune	Pulvérisateurs mécaniques	Atomiseurs	Poudreuses mécaniques
Zenata	1	8	0
Maghnia	51	47	0
Total wilaya	339	183	11

**6/ Matériels des traitements manuels**

Commune	Pulvérisateurs à dos	Poudreuses à dos	Rampes de champs
Zenata	20	0	0
Maghnia	350	0	0
Total wilaya	3 302	152	6

**7/ Matériels de récolte des céréales**

Commune	Moissonneuses batteuses automotrices
Zenata	0
Maghnia	26
Total wilaya	253

### 8/ Matériels de fenaison.

Commune	Faucheuses	Râteaux faneurs	Ramasseuses presses	Ensileuses	Broyeurs mélangeurs	Arracheuse P. de terre
Zenata	12	8	13	0	3	0
Maghnia	85	80	80	0	4	0
Total wilaya	866	588	620	12	32	2

### 9/ Matériels de transport

Commune	Remorques					Camions		
	- 5 Tonnes	5 Tonnes et plus	Portes engins	Citernes	Total	- 5 Tonnes	5 Tonnes et plus	Total
Zenata	17	0	0	18	17	2	0	2
Maghnia	0	365	0	175	365	0	0	0
Total wilaya	2 322	958	10	2 383	3 280	414	128	533

### 10/ Matériels d'irrigation.

Commune	Moteurs thermiques	Pompes verticales	Pompes immergées	Groupes motopompes	Kit d'aspersion	Kit gouttes à gouttes
Zenata	6	1	4	9	1	80
Maghnia	0	0	1 210	830	720	1 843
Total wilaya	110	214	2 575	3 554	1 250	3 742

**ANNEXE 1/ 8. 7 – Situation des différents élevages (Nombre) pour la campagne agricole 2012/2013 (D.S.A, 2014).**

**1/ Espèce Bovine.**

Commune	Secteur	Vaches laitière	Génisses	Taureaux reproducteurs	Taurillons (12 - 18 mois)	Veaux (- 12 mois)	Velles (- 12 mois)	Total du Cheptel bovin
Zenata	Privé	270	30	6	15	20	19	360
Maghnia	Privé	1 500	170	68	170	482	450	2 840
Total wilaya	Public	0	0	0	0	0	0	0
Total wilaya	Privé	18 900	3 030	920	1 940	4 841	4 869	34 500
Total général	-	18 900	3 030	920	1 940	4 841	4 869	34 500

**2/ Espèce Ovine.**

Commune	Secteur	Brebis	Béliers	Antenaises	Antenais (6 à 12 mois)	Agneaux (- de 6 mois)	Agnelles (- de 6 mois)	Total (Cheptel ovin)
Zenata	Privé	3 000	300	600	600	500	500	5 500
Maghnia	Privé	13 370	580	2 100	1 900	2 000	2 100	22 050
Total wilaya	Public	0	0	0	0	0	0	0
Total wilaya	Privé	300 000	20 900	53 500	46 200	49 300	50 100	520 000
Total général	-	300 000	20 900	53 500	46 200	49 300	50 100	520 000

**3/ Espèce Caprine.**

Commune	Secteur	Chèvres	Boucs	Chevreaux	Chevrettes	Total
Zenata	Privé	200	20	40	40	300
Maghnia	Privé	380	70	200	200	850
Total wilaya	Public	0	0	0	0	0
Total wilaya	Privé	27 000	3 210	5 460	5 830	41 500
Total général	-	27 000	3 210	5 460	5 830	41 500

#### 4/ Espèces Équines.

Commune	Secteur	Espèce Chevaline			Espèce Mulassière	Espèce Asine
		Adultes	Jeunes (- 2 ans)	Total		
Zenata	Privé	8	4	12	2	4
Maghnia	Privé	70	20	90	15	1 300
Total wilaya	Public	0	0	0	0	0
Total wilaya	Privé	810	240	1 050	860	8 200
Total général	-	810	240	1 050	860	8 200

#### 5/ Poules Pondeuses.

Commune	Secteur	Bâtiment (Nombre)	Superficie totale (m <sup>2</sup> )	Capacité instantanée (tête)	Effectif mis en place (tête)	Production d'œufs (10 <sup>3</sup> unités)
Zenata	Privé	19	12 900	86 000	110 000	29 000
Maghnia	Privé	1	500	4 800	9 400	2 170
Total wilaya	Public	3	1 560	19 200	0	0
Total wilaya	Privé	149	85 500	1 286 510	870 000	207 500
Total général	-	152	87 060	1 305 710	870 000	207 500

#### 6/ Dindes et Poulets de chair.

Commune	Secteur	Bâtiment (Nombre)	Superficie totale (m <sup>2</sup> )	Capacité instantanée (tête)	Effectif mis en place (tête)		Effectif commercialisé (Sujet)	
					Poulets de chair	Dindes	Poulets de chair	Dindes
Zenata	Privé	7	1 600	16 000	24 500	0	33 200	0
Maghnia	Privé	16	3 800	38 000	221 700	0	220 500	0
Total wilaya	Public	39	42 700	565 000	1 340 000	0	1 330 100	0
Total wilaya	Privé	1 441	412 050	3 964 400	12 025 000	23 000	11 044 900	21 000
Total général	-	1 480	454 750	4 529 400	13 365 000	23 000	12 375 000	21 000

**7/ Apiculture.**

Commune	Secteur	Ruches pleines (avec colonies d'abeilles)				Production d'essaims		Production de miel	
		Modernes (Nombre)	Traditionnelles (Nombre)	Total (Nombre)	Taux de mortalité (%)	Nombre de colonies mises à l'essaimage	Production d'essaims (Nombre)	Nombre de colonies mises à la production de miel	Miel (Kg)
Zenata	Privé	150	15	165	20	0	0	147	2 500
Maghnia	Privé	400	70	470	15	90	180	330	4 500
Total wilaya	Public	50	0	50	0	0	0	45	0
Total wilaya	Privé	22 090	2 860	24 950	705	3 690	7 210	18 755	200 000
Total général	-	22 140	2 860	25 000	705	3 690	7 210	18 800	200 000

**8/ Produits d'élevage (Produits d'animaux).**

Commune	Secteur	Production laitière (hl)			Œufs (10 <sup>3</sup> unités)	Miel (Kg)	Laine (Kg)	Peaux et cuir (Qx)
		Lait de vache	Lait de chèvre	Total				
Zenata	Privé	634	48	682	29 000	2 500	6 000	20
Maghnia	Privé	8 840	92	8 932	0	4 500	26 700	200
Total wilaya	Public	0	0	0	0	0	680	0
Total wilaya	Privé	66 600	6 530	73 130	207 500	200 000	599 320	14 200
Total général	-	66 600	6 530	73 130	207 500	200 000	600 000	14 200

## ANNEXE B. – Données météorologiques

**Tableau 1 - Données pluviométriques (en mm) de la station de Zenata pour les périodes (1853-54 / 1896-97) et (1922-23 / 2012-13) (Années agricoles prises en considération)**

Années	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Total
1853-1854	0	10	80	54	195	17	79	21	26	14	0	0	496
1854-1855	43	5	7	6	28	75	91	99	13	0	0	8	375
1855-1856	15	179	129	165	80	49	172	50	29	4	0	0	872
1856-1857	21	15	89	126	132	81	258	19	155	0	0	1	897
1857-1858	2	53	45	9	55	163	25	43	10	11	16	13	445
1858-1859	25	65	88	42	36	122	89	10	79	0	3	22	581
1859-1860	23	5	0	36	56	114	99	165	5	9	9	5	526
1860-1861	17	11	11	128	77	78	46	52	101	7	0	0	528
1861-1862	0	11	12	23	55	32	47	78	50	11	0	0	319
1862-1863	21	72	123	79	40	108	68	100	126	14	2	0	753
1863-1864	57	72	53	26	79	66	138	191	49	33	0	0	764
1864-1865	24	110	119	65	212	64	104	293	18	133	14	0	1156
1865-1866	44	19	67	73	96	41	90	52	46	25	0	7	560
1866-1867	35	87	40	13	45	19	105	0	5	15	0	0	364
1867-1868	52	6	16	31	215	206	41	119	104	173	2	5	970
1868-1869	36	101	123	61	54	86	168	16	49	13	0	11	718
1869-1870	0	3	104	109	66	68	74	124	123	11	0	0	682
1870-1871	32	5	84	168	92	85	96	81	56	27	3	4	733
1871-1872	25	46	66	67	173	57	192	51	16	29	11	0	733
1872-1873	38	59	13	142	27	112	136	45	72	66	11	4	725
1873-1874	7	67	60	7	67	56	144	143	59	0	0	16	626
1874-1875	27	119	103	175	3	140	94	52	122	19	5	0	859
1875-1876	2	55	13	88	132	3	86	60	131	3	1	5	579
1876-1877	0	70	0	107	12	35	83	73	30	6	0	0	416
1877-1878	26	24	128	132	27	51	76	6	67	0	11	2	550
1878-1879	6	33	56	47	37	145	138	87	52	0	0	2	603
1879-1880	16	5	9	29	59	57	250	68	138	0	0	14	645
1880-1881	10	8	4	7	23	25	33	30	25	34	7	0	206
1881-1882	1	100	6	136	38	72	109	32	16	9	1	3	523
1882-1883	30	25	5	129	68	26	73	52	77	2	2	0	489
1883-1884	0	12	36	43	27	102	155	5	27	6	0	6	419
1884-1885	34	29	28	12	174	21	65	210	58	32	2	1	666
1885-1886	33	41	34	0	72	75	112	70	68	24	3	4	536
1886-1887	18	45	48	81	64	68	116	67	66	16	1	3	593
1887-1888	17	41	44	82	117	71	113	80	67	22	0	0	654
1888-1889	21	117	38	81	170	77	102	94	105	28	0	2	835
1889-1890	26	76	31	83	146	73	98	88	66	16	3	0	706
1890-1891	17	51	39	74	121	68	94	82	64	23	0	1	634
1891-1892	13	40	49	84	108	66	91	79	53	17	1	0	601

1892-1893	8	33	55	76	96	64	86	76	42	12	2	1	551
1893-1894	7	26	58	65	72	59	78	69	23	18	0	0	475
1894-1895	0	3	67	44	55	56	115	67	63	13	3	0	486
1895-1896	0	22	73	77	39	53	152	65	102	8	6	0	597
1896-1897	0	42	78	109	99	66	105	76	65	17	2	1	660

1922-1923	1	43	40	101	176	69	64	162	29	25	0	0	710
1923-1924	24	40	64	14	110	153	75	29	6	2	2	0	519
1924-1925	8	10	54	193	8	55	105	48	24	49	0	11	565
1925-1926	54	43	101	28	3	28	42	68	13	6	16	24	426
1926-1927	0	35	129	61	44	83	57	15	9	8	0	0	441
1927-1928	2	53	112	71	68	13	74	13	145	0	0	0	551
1928-1929	62	155	70	101	37	133	137	18	170	25	0	0	908
1929-1930	39	21	61	7	59	90	0	108	34	28	0	12	459
1930-1931	2	6	22	90	57	88	13	73	0	0	0	4	355
1931-1932	21	21	54	83	8	34	57	16	27	0	0	3	324
1932-1933	30	65	91	86	69	15	198	77	75	15	6	0	727
1933-1934	10	7	157	120	43	72	99	49	64	10	2	3	636
1934-1935	59	36	79	12	52	110	31	52	102	1	5	4	543
1935-1936	1	110	32	60	40	186	66	37	107	18	6	2	665
1936-1937	19	82	117	98	31	4	59	79	45	6	0	21	561
1937-1938	48	144	83	85	88	32	10	71	29	0	9	4	603
1938-1939	32	37	74	144	31	120	69	101	24	20	0	9	661
1939-1940	7	8	9	48	129	67	43	17	17	53	0	3	401
1940-1941	15	79	96	38	43	59	118	137	72	13	11	0	681
1941-1942	122	17	79	29	84	69	76	25	32	0	0	0	533
1942-1943	19	5	39	184	41	110	91	20	48	13	0	0	570
1943-1944	19	66	60	171	1	45	108	46	60	35	0	2	613
1944-1945	25	20	17	75	156	19	23	0	13	16	0	12	376
1945-1946	14	86	51	76	209	54	43	153	32	15	0	0	733
1946-1947	6	40	70	173	41	62	16	9	234	1	1	10	663
1947-1948	18	28	4	94	158	170	36	90	149	0	0	0	747
1948-1949	2	189	0	28	171	21	47	122	22	0	0	5	607
1949-1950	10	2	75	72	247	43	180	36	113	4	0	15	797
1950-1951	80	214	7	317	95	56	67	63	24	3	2	0	928
1951-1952	47	258	86	16	99	42	51	129	119	2	1	2	852
1952-1953	9	36	15	50	95	54	147	16	61	14	1	0	498
1953-1954	43	69	20	30	72	110	124	352	21	16	1	1	859
1954-1955	11	19	76	171	164	85	126	106	21	37	1	40	857
1955-1956	22	13	31	59	114	171	86	99	34	0	0	1	630
1956-1957	36	93	43	38	68	13	172	176	13	13	3	0	668
1957-1958	27	91	137	93	120	49	26	87	10	43	0	4	687
1958-1959	0	156	116	79	10	131	19	2	11	14	5	3	546
1959-1960	28	33	108	123	107	56	92	32	55	27	0	18	679

1960-1961	15	15	30	249	104	12	20	39	15	31	0	1	531
1961-1962	13	25	34	28	11	342	140	95	64	38	0	0	790
1962-1963	7	21	102	68	53	96	79	80	369	7	39	7	928
1963-1964	100	100	1	277	69	65	235	117	1	19	2	0	986
1964-1965	11	12	29	161	94	51	46	218	0	28	2	6	658
1965-1966	1	75	32	112	10	35	37	19	38	7	2	3	371
1966-1967	11	149	57	14	80	41	27	158	27	85	0	2	651
1967-1968	2	22	107	229	24	90	168	54	162	8	2	10	878
1968-1969	0	40	70	191	90	78	94	100	59	20	3	6	751
1969-1970	24	72	59	119	115	42	101	104	96	18	1	4	755
1970-1971	19	56	64	88	140	6	128	107	132	16	2	3	761
1971-1972	15	40	70	56	69	56	106	105	95	25	5	4	646
1972-1973	14	63	71	116	86	52	78	98	61	17	2	5	663
1973-1974	16	45	64	28	44	71	59	93	42	5	4	8	479
1974-1975	18	35	19	0	10	69	97	279	57	7	0	11	602
1975-1976	22	5	99	9	45	90	32	138	81	15	8	16	560
1976-1977	37	65	30	64	103	36	42	7	46	4	13	15	462
1977-1978	0	27	110	16	72	12	38	79	27	0	0	4	385
1978-1979	0	66	47	13	23	143	39	26	17	2	5	0	381
1979-1980	21	74	79	64	9	74	105	30	22	0	0	1	479
1980-1981	11	12	28	178	24	53	45	71	5	59	0	2	488
1981-1982	9	1	0	19	16	53	9	59	54	2	1	3	226
1982-1983	4	32	60	41	0	27	14	3	11	0	1	0	193
1983-1984	0	0	19	73	42	25	30	8	96	4	0	0	297
1984-1985	10	3	92	18	54	14	36	26	35	0	0	0	288
1985-1986	6	0	38	27	51	96	91	32	6	1	0	4	352
1986-1987	21	45	99	30	31	97	6	4	14	1	9	4	361
1987-1988	8	32	19	33	23	34	6	46	30	7	0	0	238
1988-1989	19	10	29	3	22	42	110	53	17	6	0	6	317
1989-1990	18	5	34	42	108	0	36	74	6	5	2	1	331
1990-1991	19	8	46	59	38	61	133	9	7	4	1	0	385
1991-1992	3	28	25	21	9	18	99	52	91	27	4	0	377
1992-1993	1	14	21	16	2	68	30	50	55	1	0	2	260
1993-1994	8	14	83	9	81	53	4	41	19	0	4	7	323
1994-1995	22	10	21	22	15	56	127	19	1	2	0	1	296
1995-1996	16	11	15	48	59	82	56	24	28	1	1	0	341
1996-1997	32	19	0	38	107	0	1	47	10	4	2	14	274
1997-1998	44	23	42	48	30	34	47	26	65	1	2	4	366
1998-1999	9	2	48	5	76	74	90	0	0	3	0	0	307
1999-2000	14	17	60	69	0	0	11	22	24	0	0	1	218
2000-2001	5	70	69	26	70	55	11	5	2	0	0	0	313
2001-2002	15	18	139	25	3	4	15	72	39	0	0	45	375
2002-2003	0	19	71	23	78	79	16	19	17	2	2	0	326
2003-2004	9	64	46	101	57	29	66	27	53	9	1	2	464
2004-2005	9	33	48	76	22	57	45	12	1	1	0	0	304

2005-2006	24	10	23	15	52	47	22	80	45	1	1	3	323
2006-2007	18	13	8	3	17	34	33	89	2	0	0	1	218
2007-2008	12	48	57	8	19	27	16	11	35	1	0	0	234
2008-2009	33	112	75	103	112	37	24	39	6	2	0	0	543
2009-2010	91	2	23	28	50	41	70	35	8	14	1	14	377
2010-2011	5	66	29	35	40	19	35	61	58	28	1	3	380
2011-2012	4	46	69	29	20	42	20	26	9	2	4	0	271
2012-2013	37	36	155	19	103	47	44	68	46	0	1	1	557

**Tableau 2 - Données pluviométriques (en mm) de la station de Maghnia pour la période (1976-77 / 2012-13) (Années agricoles prises en considération)**

Années	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Total
1976-1977	19	17	14	64	66	8	41	33	9	3	1	1	276
1977-1978	1	23	82	10	35	13	28	75	30	0	0	3	300
1978-1979	2	38	17	15	21	95	23	15	8	4	4	2	244
1979-1980	20	134	43	27	12	73	101	39	19	1	0	0	469
1980-1981	22	21	31	156	43	54	32	30	1	60	0	3	453
1981-1982	4	0	0	22	21	25	9	57	41	0	2	15	196
1982-1983	2	26	53	24	0	9	28	6	22	0	5	0	175
1983-1984	2	0	17	41	21	26	23	22	107	3	0	0	262
1984-1985	11	4	39	25	41	15	30	24	60	0	0	0	249
1985-1986	6	1	45	35	68	48	39	35	1	6	0	7	291
1986-1987	3	59	167	26	37	69	9	3	13	0	6	1	393
1987-1988	16	20	23	27	11	26	3	19	35	8	2	0	190
1988-1989	10	12	47	6	39	28	85	22	15	6	3	5	278
1989-1990	9	7	26	33	61	0	35	76	32	4	4	2	289
1990-1991	41	11	33	53	19	68	108	10	10	1	1	3	358
1991-1992	48	30	14	17	6	10	96	98	68	43	13	0	443
1992-1993	0	11	20	24	5	51	31	67	37	1	0	2	249
1993-1994	13	14	56	11	59	63	5	19	29	1	2	1	273
1994-1995	12	20	18	18	10	67	100	14	2	3	0	1	265
1995-1996	7	16	2	38	68	80	43	26	37	11	10	4	342
1996-1997	28	10	1	31	48	0	12	51	15	2	2	33	233
1997-1998	52	15	18	56	28	41	29	19	40	1	1	2	302
1998-1999	9	2	40	10	59	37	63	0	1	1	1	0	223
1999-2000	26	17	47	54	5	0	3	8	14	2	0	2	178
2000-2001	16	90	50	16	50	30	4	4	4	0	0	1	265
2001-2002	14	22	116	30	1	5	35	62	33	2	0	28	348
2002-2003	0	17	53	21	96	66	20	38	20	4	2	1	338
2003-2004	5	35	33	39	30	18	101	20	55	2	0	4	342
2004-2005	0	25	15	35	19	52	29	10	1	0	0	0	186
2005-2006	7	12	26	16	52	37	18	19	47	0	13	0	247
2006-2007	27	21	10	24	7	18	34	87	7	0	0	0	235
2007-2008	9	35	66	19	31	31	7	6	17	3	0	0	224
2008-2009	33	89	68	102	94	18	16	18	5	3	1	1	448
2009-2010	81	6	28	23	80	36	59	64	9	16	1	27	430
2010-2011	6	60	17	12	13	19	22	38	68	11	0	21	287
2011-2012	2	50	84	24	12	1	1	0	13	33	1	14	235
2012-2013	42	24	25	13	37	29	44	16	33	0	0	8	271

**Tableau 3 - Données des températures mensuelles minimales (en °C) de la station de Zenata pour la période (1976-2013)**

Années	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
1976	2,9	5,5	5,7	7,3	10,9	14,4	17,8	18,2	14,5	11,5	7,5	8,4	10,4
1977	5,7	7,7	7,8	9,4	10,4	12,4	15,1	15,6	14,4	12,6	9,1	9,4	10,8
1978	5,4	7,5	8,1	8,3	10,8	13,1	18	19,5	16,6	10,9	8,1	9,6	11,3
1979	8,8	5,6	7,8	8,2	11,5	15,5	18,9	18,9	16,1	13,1	9	6	11,6
1980	6	7,6	7,8	8,2	10,8	15,3	16,8	19,9	17,2	12	8,9	3,9	11,2
1981	1,9	5,1	8,3	9,7	11,1	15,3	16,5	17,9	15,6	13,3	7,8	7,7	10,9
1982	5,2	5,8	7,1	9,8	12,5	16,8	18,1	18,6	17,2	11,5	8,7	5	11,4
1983	1,3	4,7	7,2	8,8	11,2	16,4	17	17,9	17,5	13	11,5	5,6	11
1984	5,2	4,8	5,6	10,5	10,7	15,1	18,8	18	17	10,5	10,1	6,6	11,1
1985	4,4	8,3	5,5	9,4	12,2	16,5	19,6	18,8	17,4	12,5	11,3	6,8	11,9
1986	6	7,6	7,3	7,1	12,8	14,8	18	20	17,6	14,3	8	5,3	11,6
1987	4,9	7	7,3	9,5	12	16,3	18,9	19,7	19,5	14,6	9,3	8,3	12,3
1988	7,7	6,2	6,8	10,7	12,8	16,1	19,1	20,6	16,9	14,2	10,7	2,4	12
1989	3,8	6,4	7,5	9,5	12,2	16,3	20,2	22,2	18,1	14,9	12	10,2	12,8
1990	5,8	6,9	9,1	9,2	13,6	17,1	19,6	20,3	21,2	14,1	9,5	6,4	12,7
1991	3,5	5,4	8,6	8,3	10,5	16,1	20	20,5	10,3	12,8	8,2	6	10,9
1992	3,3	5	7	9,5	12,9	14,2	18,3	20,2	17,7	12,3	7,5	6,4	11,2
1993	2	4,2	8,4	9,4	12	16,4	19	19,7	14,8	12,3	10,9	6	11,3
1994	5	6	7,9	7,6	12,6	15,5	21,1	21,7	16,3	15,3	10,3	5,5	12,1
1995	5,2	6,8	8,6	9,4	13,8	16,5	19,1	20,4	15,8	14,7	11,5	10	12,7
1996	9,4	6,7	7,9	9,9	11,3	16,5	18,9	18,9	16,1	11,6	9,7	9	12,2
1997	8,1	6,3	6,2	11,3	14	16,2	18,2	19,2	18,3	15,3	11,9	7,8	12,7
1998	6,6	7,9	6,9	9,6	12,3	16,2	19,3	20,2	18,7	11,4	9	4,8	11,9
1999	6,2	5	8,2	8,5	13,7	17,2	19,6	21,2	17,6	15,7	8	6,6	12,3
2000	2,8	5,4	6,9	9,2	14,2	17,5	20,2	20	17,6	12,9	9,6	8,3	12,1
2001	7,5	6,1	9,8	8,1	11,6	17,2	18,8	20,6	18,1	15,8	9,2	6,3	12,4
2002	4,2	5,2	8	9,9	12,6	17,3	18,7	19,8	17,1	13,4	10,4	8,6	12,1
2003	5,5	6	9,3	9,3	12,6	18,4	20,8	21,2	17,2	14,9	10	6,8	12,7
2004	6,1	8,1	7,6	8	11,4	16,4	19,5	20,8	17,3	14,8	7,9	5,7	12
2005	1,7	2,6	8,2	9,1	13,7	16,8	20,2	19,3	16,3	13,7	8,8	5,5	11,3
2006	5,1	6,2	7,9	11,5	15,4	16,7	20,2	19,5	17,4	14,9	11,2	7,3	12,8
2007	4,5	8,8	6,4	10,3	12,2	15,9	19,1	19,8	17,6	13,9	8,1	5,4	11,8
2008	5,7	7,1	7,6	9,8	13,7	16,1	20,7	20,3	18,2	14,5	7,9	5,9	12,3
2009	7,1	5,8	8,5	8,1	12,7	16,7	20,3	20,2	17,5	13,7	11,2	8,8	12,6
2010	8	9	9,3	11,1	12,4	16,1	20,7	21,2	18,4	13,1	10	8,3	13,1
2011	6	5,2	7,3	11,7	14,6	16,7	19,6	20,9	17,5	12,9	9,8	5,1	12,3
2012	3,2	2,8	6,6	9,1	12,6	18,5	20,1	21,5	17,6	14,8	12	6,6	12,1
2013	6,6	4,9	8,5	9,7	10,8	13,2	18,6	19,6	17,3	14,4	7,7	5,7	11,4

**Tableau 4 - Données des températures mensuelles maximales (en °C) de la station de Zenata pour la période (1976-2013)**

Années	J	F	M	A	M	J	Jt	Aout	S	O	N	D	Année
1976	13,4	13,3	15,1	16,7	20,9	27,6	30,4	32,5	26,5	20,8	15,2	17	20,8
1977	14,1	16,6	19,4	21,5	22,6	26,3	28,7	28,7	28,6	24	19,7	18,2	22,4
1978	13	16,9	17,2	18,6	22,1	24,5	34,2	36,5	31,6	21,6	17,7	18,8	22,7
1979	17,8	16,4	17,3	18,9	23	28,2	32,4	32,2	27,1	21,9	18,4	15,1	22,4
1980	14,4	16,8	17	19,8	21,6	29,3	32,3	35	30,1	25,2	19,8	15	23
1981	14,7	16,1	20,8	20,3	23,6	27,5	30,1	30,9	30	27,5	22,6	19,4	23,6
1982	18,1	17,1	20,2	21,2	23,7	30,7	32,8	32,3	28,9	23,6	18,9	15	23,5
1983	17	15,7	21,2	22,6	24,1	29,7	31,2	30,7	31,1	28	23,1	17,5	24,3
1984	15	15,9	18	22,6	20,9	26,5	33,6	31,2	30,9	24,5	21	17,1	23,1
1985	14,7	20,3	18	23	22,9	28,4	32,1	33,4	31,9	27	21,7	17	24,2
1986	15,9	16,2	17,9	18,5	25,9	27,9	32,9	33,7	29,8	25,3	19,7	16,6	23,4
1987	16,4	17	20,1	24,5	25,3	29	30,6	32,8	31,6	25,7	20,9	19,3	24,4
1988	17,9	17,1	21,8	22,6	24,5	26,5	32,2	34,5	29,7	27,4	21,5	16,9	24,4
1989	16,4	17,7	20,2	20,3	24,7	30	34,5	35,6	29,8	26,9	23,4	21	25
1990	14,7	20,2	20,4	20,6	25	29,5	33	33,8	33,6	25,5	20,4	15,7	24,4
1991	15,7	15,2	17,3	20	23,7	29,2	33,7	35,7	31,8	23,2	20,1	16,9	23,5
1992	15,5	18,1	17,8	22,4	25	25,5	31,9	34,7	30,1	24	21,2	17,5	23,6
1993	16,8	16,9	20,6	22,2	23,6	27,7	31,5	33,2	27,7	24,1	18,6	17,1	23,3
1994	15,8	17,5	20	22,2	26,9	29,7	36,5	35,1	29	25,1	21,9	18,6	24,9
1995	17,4	20,3	19,6	21,8	27	27,6	32,3	33,1	28,4	26,4	23,5	19,7	24,8
1996	18,7	15,8	18,7	22	25,1	29,7	31,8	31,6	27,5	24,4	21,7	18,7	23,8
1997	17,4	19,8	21,9	23	24,9	28,9	29,4	31,4	29,2	27,2	21,2	18,2	24,3
1998	17,7	18,8	21,6	21,4	22,8	30	33	33,8	30	25,3	20,9	17,1	24,4
1999	17	15,4	18,7	22,8	27	29,6	32,6	33,3	29,6	27	19,2	16,1	24
2000	15,6	20,4	20,9	22,3	25,7	30,8	32,5	33,3	29,6	23,5	20	18,9	24,5
2001	17,6	18,1	23,2	23,9	25,6	31,8	33,8	33,6	29,6	28,8	18,6	16,7	25,1
2002	17,8	19,8	21,6	22,4	25,6	29,8	32,5	31,3	29,8	25,7	21,6	19,4	24,8
2003	15,4	15,7	20,1	22	26,1	31,6	33,7	31,4	30,1	25,8	20,5	17,2	24
2004	17,9	17,9	18,8	21,2	23,3	30,5	34,2	34,2	31,6	28,8	19,2	16,3	24,5
2005	14,6	15,1	18,5	21,6	27,3	30,4	32,5	33,9	29,3	27,1	20,1	17,1	24
2006	14,9	16,2	21,8	23,8	26,8	28,8	34,9	33,4	30,1	28,7	23,5	16,6	25
2007	18	18,9	19,7	19,6	26	28,3	32,5	33,5	29,6	24,8	20,8	17,1	24,1
2008	18,2	18,8	20,8	28,1	23,3	29,4	32,5	33,5	29,6	24,8	18,1	14,8	24,3
2009	14,8	16,6	19,1	21,6	26,9	32,1	35,8	32,8	28,3	28,1	24,4	19,9	25
2010	17,2	19,3	19,5	22,7	25,3	28,6	33	33,9	30,5	25	20,1	19	24,5
2011	17,3	17,2	20,1	24,7	26,7	30,7	33,6	34,4	30,4	26,6	21	17,6	25
2012	16,2	14,6	18,5	20,7	28	31,9	33,3	36,7	31	26,6	20	18,1	24,6
2013	16,8	16,2	20	20,7	24,1	27,9	31	33,4	29,9	28,9	20,3	17,2	23,9

**Tableau 5 - Données des températures mensuelles minimales (en °C) de la station de Maghnia pour la période (1976-2013)**

Années	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
1976	3,7	4,3	5,8	10,6	10,7	15,6	16,7	17,8	15,2	11,2	7,2	8	10,6
1977	6,4	6,8	7,2	11	11,3	16,5	16,6	17,6	14,7	7,3	5	11	11
1978	4	7,4	5,6	10	9,8	15	16,4	17,5	12	9,8	5,3	10	10,2
1979	3,2	8	6,6	7	10,2	14,9	18,4	17,4	16	13,5	7,1	4,3	10,6
1980	1,5	8,5	7,7	7,2	11,6	14,5	18,6	19,5	16,7	10,3	8,4	2,6	10,6
1981	0,9	3,9	7,5	8,5	9,6	14,4	16,5	17,9	15,9	14,3	8,8	7,8	10,5
1982	4,4	4,9	7	8,7	12,1	16,5	18,2	17,9	16,6	10,9	7,9	4,7	10,8
1983	1,9	5,8	8,3	8,2	11	17	16,5	18,3	16,2	12,3	9,9	4,1	10,8
1984	3,7	3,9	5,4	9,2	10,2	14,9	18,8	17,6	16,6	9	9,3	5,3	10,3
1985	3,2	7,9	4,8	8,3	11,3	15,7	18,4	17,8	16,6	12	10,2	5,3	11
1986	4	6	6,3	6,3	11,9	14,6	17,3	19,6	16,5	13,8	7,4	3,7	10,6
1987	3,8	6,3	6,2	8,4	9,9	14	16,9	18,3	16,9	13,1	7,7	7,3	10,7
1988	6	4,8	5,6	9,4	11,4	14,1	17,8	19,5	14,9	13	10,3	2,5	10,8
1989	3,8	5,4	6,1	7,1	10	14	18,7	20,1	16,7	14,1	11	9,7	11,4
1990	4,2	6	8,2	8,3	12,2	15,7	18,7	18,9	17,1	12,6	8,4	5,3	11,3
1991	2,5	4,2	7,5	7,1	10,2	14,3	18,5	18,6	17,3	11,1	7,1	4,4	10,2
1992	1,6	3,8	5,3	8,8	11,3	12,7	16,7	18,2	15,7	10,7	7	6,1	9,8
1993	1,7	3	7	7,3	9,5	14,3	17,4	18,3	13,5	11,4	9	4,4	9,7
1994	3,8	4,4	7,4	7,7	11,3	13,6	19,7	19,7	13,9	13,3	9,3	4,2	10,7
1995	3,4	5,4	7,2	7,9	12	14,3	17,4	18,5	14,8	14,1	11,6	6,2	11,1
1996	7,1	9,1	7,8	11,3	12,5	17,2	19,5	19,2	16	9,6	8,2	9,5	12,2
1997	6,1	3,7	5,5	12	12,8	15,6	16,7	21,6	14,6	12,7	8,7	6,8	11,4
1998	4,9	6,5	5,6	7,5	11,8	15,9	17,5	18,6	17	10,9	7,6	3,6	10,6
1999	4,6	3,2	6,7	7	12	15,5	18	19,4	16,2	14,9	6,6	4,6	10,7
2000	1,1	6,2	6,9	8,4	12,5	15,6	18,7	19,2	15,9	10,7	7,7	6,8	10,8
2001	4,8	5,5	5,7	8,7	12,9	16,5	17,8	19,8	17,7	11,5	7,5	5,1	11,1
2002	3,2	4	6,6	8,8	10,8	15,5	16,8	18,7	15,7	11,1	8,4	6,4	10,5
2003	3,4	4,7	8,9	8,2	11,2	17,8	19,9	20,2	16	13,7	8,6	5,6	11,5
2004	3,7	7,3	6,6	7,2	10,6	15,5	18,5	19,8	16,3	13,4	6,1	3,9	10,7
2005	-0,4	1,1	7,3	7,4	12,7	15,4	19,3	18,4	14,9	12,6	10,2	4,4	10,3
2006	4,3	4,9	6,7	10,5	15,1	16,6	19,8	19,2	16,6	13,9	9,8	5,4	11,9
2007	3,1	8,5	6,2	10,4	11,7	15,3	18,3	19,7	16,7	13,1	6,7	4,4	11,2
2008	4,6	6,2	6,6	8,1	12,5	15,7	19,7	19,4	17,3	14,2	6,9	4,9	11,3
2009	6,4	4,6	7,6	6,8	12,3	16,7	19,8	19,2	17,3	12,9	10,3	7,6	11,8
2010	7,5	9,1	8,6	10,3	11,9	15,5	20,3	20,4	17,7	12,3	8,1	7,2	12,4
2011	4,6	3,7	6,8	10,8	14,2	16,1	19,2	20,3	17,1	12,4	9,3	3,6	11,5
2012	1,7	1,8	5,3	7,4	12	17,6	19,5	20,4	16,1	13,4	11,3	4,7	10,9
2013	4,8	4,3	8,3	9,4	10,1	17,2	18,2	19,1	16,5	13,1	6,4	4,7	11

**Tableau 6 - Données des températures mensuelles maximales (en °C) de la station de Maghnia pour la période (1976-2013)**

Années	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
1976	15,6	17,2	17,5	23,2	25,2	29,1	33,2	32,1	28	21,8	16,8	19,1	23,2
1977	14,6	19,5	20,4	23,5	25	29,3	30,2	31,4	29,3	26,7	20,8	22,5	24,4
1978	15,5	18,3	17,4	23	25,4	28,5	34,5	33,1	29,5	23,5	19,1	19,3	23,9
1979	15,7	17	19,3	18,8	25,8	27	34,8	33,3	25,5	20,5	19,4	17,3	22,9
1980	19	18,5	17,3	22	23,3	32,3	34,6	35,9	31,7	24	19,2	14,2	24,3
1981	13,8	15,8	20,6	19,4	24,3	29,7	31,3	32,8	31,4	27,8	22,7	18,4	24
1982	17,3	16,7	19,9	21,3	25,7	31,2	35,3	33,1	29,2	23,1	17,7	13,6	23,7
1983	16,7	16,4	21,7	22,9	24,6	31,4	33,8	31,7	32,8	28,3	22,7	18,5	25,1
1984	14,7	15,6	17,4	23,4	20,3	27,7	36,6	32,6	31,5	25,3	21,2	17,3	23,6
1985	15,3	21,3	17,5	22,6	22,7	30,8	35,6	34,8	32,9	26,9	21,3	15,4	24,8
1986	14,7	15,9	17,3	19,2	28,3	29,7	35,1	35,7	31,1	25,2	19	16,4	24
1987	15,8	16,4	20,1	24,6	24,4	28,5	31,7	33,1	31,6	25,8	19,5	18,8	24,2
1988	17	16,6	21,1	22,1	23,8	25,8	33,3	35	30,2	26,5	20,5	16	24
1989	14,9	16,5	20,3	20,4	24,6	26,5	34,4	35,4	29,3	26,5	22,2	19,7	24,2
1990	14,5	21,1	20,1	20	23,8	29,7	33	33,7	30,1	28,3	19	14,5	24
1991	15,2	14,4	17,1	18,6	22,9	29,2	33,6	36,6	30,2	22,6	19,4	16,4	23
1992	15,1	18,3	17,7	21,7	24,8	26,7	32,4	35,2	30,6	23,1	20,7	16,7	23,6
1993	16,5	16,2	19,6	20,9	23,7	27,7	32,4	33,6	27,1	22,6	17	17,5	22,9
1994	15,6	17,2	19,4	21,5	26,9	29,6	37,1	36,3	28,9	25,1	22,2	18,6	24,9
1995	17,2	20,2	19,4	21,8	27,1	27,5	32,8	33,3	29,9	28,7	24,8	17,6	25
1996	17,3	16,1	20,4	22,3	21,7	29,2	31,9	30,7	27,8	22,8	20,8	17,6	23,2
1997	14,1	19,2	21,8	21,8	26,2	29,8	30,5	32	30,3	25,7	16,4	13,7	23,5
1998	17,1	18,2	21,4	20,8	25,2	30,2	33,7	34	29,5	25,3	20	16,9	24,4
1999	16,1	14,2	18,1	23,1	27,5	29,5	33,2	33,8	28,9	26,3	18,2	15,4	23,7
2000	14,3	17,8	19,7	21,2	25,5	32,6	33,7	34,7	28,9	21,5	17,9	17	23,7
2001	16,4	15,4	20,1	21,7	30,9	33,7	34,8	34,8	30,5	29,6	16,7	16,1	25,1
2002	17,5	19,6	20,5	21,1	25	32,4	32,4	32,3	30,2	27,1	20,4	18,3	24,7
2003	13,9	15,2	20,5	22	25,9	33,5	35,4	35,4	30,5	24,7	19,8	16,8	24,5
2004	18,3	17,8	19	21,7	23	31,8	35,6	36,2	32,6	28,6	19,2	16	25
2005	14,7	14,4	19,1	22,3	28,8	32,8	35,1	35,9	29,7	27,6	24,8	16,4	25,1
2006	13,8	15,4	22	24,7	28	30,7	37	34,7	30,8	28,3	22,4	15,7	25,3
2007	18,6	18,8	19,7	18,7	25,7	29,7	35	34,8	30	24,5	19,7	16,5	24,3
2008	17,2	18	20,6	25,2	23,7	31,3	34,8	35,8	30,1	24,1	17,2	14,2	24,4
2009	13,8	16,5	19,6	21	28,2	33,1	37,2	34	28,3	28,4	24,3	19,8	25,4
2010	17	19,1	19,5	22,4	25,5	29,4	35,9	35,7	31,1	25,2	20,3	18,9	25
2011	16,9	17	19,7	25	26,3	31,6	35,3	35,8	30,9	25,7	20,1	16,9	25,1
2012	16,1	13,8	18,3	20,4	28,8	33,4	35	38,4	31,8	26,3	20,1	18	25
2013	16,5	15,9	19,3	21,6	24,4	32,3	33,3	34,8	30,5	29,2	19,4	16,3	24,5

## ANNEXE C.

Tableau 1 - Table pour calculer « ETP » de THORNTHWAIT (HALIMI, 1980)

$$\text{Calcul des indices mensuelles : } i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

T°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0		0,09	0,25	0,46	0,71	1,00	1,32	1,66	2,04	2,44	2,86	3,30
0,1		0,10	0,27	0,48	0,74	1,03	1,35	1,70	2,08	2,48	2,90	3,34
0,2	0,01	0,12	0,29	0,51	0,77	1,06	1,39	1,74	2,12	2,52	2,94	3,39
0,3	0,01	0,13	0,31	0,53	0,80	1,09	1,42	1,77	2,15	2,56	2,99	3,44
0,4	0,02	0,15	0,33	0,56	0,82	1,12	1,45	1,81	2,19	2,60	3,03	3,48
0,5	0,03	0,16	0,35	0,58	0,85	1,16	1,49	1,85	2,23	2,64	3,08	3,53
0,6	0,04	0,18	0,37	0,61	0,88	1,19	1,52	1,89	2,27	2,69	3,12	3,58
0,7	0,05	0,20	0,39	0,63	0,91	1,22	1,56	1,92	2,31	2,73	3,16	3,62
0,8	0,06	0,21	0,42	0,66	0,94	1,25	1,59	1,96	2,35	2,77	3,21	3,67
0,9	0,07	0,23	0,44	0,69	0,97	1,29	1,63	2,00	2,39	2,81	3,25	3,72

T°	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0,0	3,76	4,25	4,75	5,28	5,82	6,38	6,95	7,55	8,16	8,78	9,42	10,08
0,1	3,81	4,30	4,81	5,33	5,87	6,44	7,01	7,61	8,22	8,85	9,49	10,15
0,2	3,86	4,35	4,86	5,38	5,93	6,49	7,07	7,67	8,28	8,91	9,55	10,21
0,3	3,91	4,40	4,91	5,44	5,98	6,55	7,13	7,73	8,34	8,97	9,62	10,28
0,4	3,96	4,45	4,96	5,49	6,04	6,61	7,19	7,79	8,41	9,04	9,68	10,35
0,5	4,00	4,50	5,01	5,55	6,10	6,66	7,25	7,85	8,47	9,10	9,75	10,41
0,6	4,05	4,55	5,07	5,60	6,15	6,72	7,31	7,91	8,53	9,17	9,82	10,48
0,7	4,10	4,60	5,12	5,65	6,21	6,78	7,37	7,97	8,59	9,23	9,88	10,55
0,8	4,15	4,65	5,17	5,71	6,26	6,84	7,43	8,03	8,66	9,29	9,95	10,62
0,9	4,20	4,70	5,22	5,76	6,32	6,90	7,49	8,10	8,72	9,36	10,01	10,68

T°	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
0,0	10,75	11,44	12,13	12,85	13,58	14,32	15,07	15,84	16,62	17,41	18,22	19,03
0,1	10,82	11,50	12,21	12,92	13,65	14,39	15,15	15,92	16,70	17,49	18,30	19,11
0,2	10,89	11,57	12,28	12,99	13,72	14,47	15,22	15,99	16,78	17,57	18,38	19,20
0,3	10,95	11,64	12,35	13,07	13,80	14,54	15,30	16,07	16,85	17,65	18,46	19,28
0,4	11,02	11,71	12,42	13,14	13,87	14,62	15,38	16,15	16,93	17,73	18,54	19,36
0,5	11,09	11,78	12,49	13,21	13,94	14,69	15,45	16,23	17,01	17,81	18,62	19,45
0,6	11,16	11,85	12,56	13,28	14,02	14,77	15,53	16,30	17,09	17,89	18,70	19,53
0,7	11,23	11,92	12,63	13,36	14,09	14,84	15,61	16,38	17,17	17,97	18,79	19,61
0,8	11,30	11,99	12,70	13,43	14,17	14,92	15,68	16,46	17,25	18,05	18,87	19,69
0,9	11,37	12,06	12,78	13,50	14,24	14,99	15,76	16,54	17,33	18,13	18,95	19,78

**Tableau 2 – Facteur de correction (C) pour les latitudes Nord pour calculer « ETP » de THORNTHTWAIT (ANSER, 2012)**

N°	20°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	36°	37°
J	0,95	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,88	0,87	0,87	0,86
F	0,90	0,89	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,84
M	0,90	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
A	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,08	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09	1,10	1,10
M	1,13	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,18	1,18	1,19	1,20	1,21	1,21	1,22
J	1,11	1,14	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,18	1,20	1,20	1,21	1,22	1,23
Jt	1,14	1,17	1,17	1,18	1,18	1,19	1,20	1,20	1,20	1,22	1,22	1,23	1,24	1,25
A	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,14	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,16	1,17
S	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
O	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
N	0,93	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89	0,88	0,86	0,86	0,86	0,85
D	0,94	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,88	0,88	0,86	0,86	0,85	0,84	0,83

N°	38°	39°	40°	41°	42°	43°	44°	45°	46°	47°	48°	49°	50°
J	0,85	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,75	0,74
F	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,82	0,82	0,81	0,81	0,80	0,80	0,79	0,78
M	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
A	1,10	1,11	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,14	1,14	1,14	1,15
M	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,26	1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32
J	1,24	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,28	1,29	1,29	1,31	1,32	1,33	1,34
Jt	1,25	1,26	1,27	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,37
A	1,17	1,18	1,18	1,19	1,19	1,20	1,20	1,21	1,22	1,22	1,23	1,24	1,25
S	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,05	1,05
O	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92
N	0,84	0,84	0,83	0,82	0,82	0,81	0,80	0,79	0,79	0,78	0,77	0,76	0,76
D	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70

**Tableau 3 – Valeurs mensuelles de la radiation globale en (Cal /cm<sup>2</sup>) et par jour (Ig) pour calculer « ETP » de TURC, PENMAN et BLANEY- CRIDDLE (ANSER, 2012)**

**A. Pour les latitudes Nord**

Nord	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
J	858	759	642	508	364	322	87,5	5	0
F	888	821	732	624	495	360	215	82	2,9
M	890	873	834	764	673	562	432	289	146
A	862	894	902	880	833	764	676	577	508
M	816	885	930	950	944	920	880	860	889
J	790	873	934	972	985	983	970	992	1042
Jt	804	879	930	955	958	938	908	905	945
A	833	880	902	891	858	800	728	651	610
S	875	872	843	788	710	607	487	341	231
O	880	830	755	658	536	404	262	119	17,5
N	860	767	656	528	390	246	111	17	0
D	842	735	610	469	323	180	55,5	0	0

**B. Pour les latitudes Sud**

Sud	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
J	858	893	986	1009	1010	990	961
F	888	888	937	923	887	820	738
M	890	872	845	783	697	590	466
A	862	820	726	629	507	376	235
M	816	754	616	495	364	226	96
J	790	724	571	439	303	167	49,5
Jt	804	748	597	473	338	205	98,5
A	833	804	691	586	960	330	189
S	875	871	808	734	639	527	397
O	880	896	904	880	836	753	657
N	860	900	970	987	977	949	905
D	842	891	992	1031	1045	1040	1025

**Tableau 4 – Durée astronomique du jour (Valeurs quotidiennes moyennes en heures) pour calculer « ETP » de TURC, PENMAN et BLANEY-CRIDDLE (ANSER, 2012)**

**A. Latitudes Nord**

Nord	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
J	12,10	11,62	11,09	10,45	9,71	8,58	6,78
F	12,10	11,80	11,49	11,09	10,64	10,07	9,11
M	12,10	12,08	12,04	12,00	11,96	11,90	11,81
A	12,10	12,35	12,60	12,90	13,26	13,77	14,61
M	12,10	12,59	13,11	13,71	14,39	15,46	17,18
J	12,10	12,70	13,33	14,07	14,96	16,33	18,73
Jt	12,10	12,64	13,24	13,85	14,68	15,86	17,97
A	12,10	12,44	12,80	13,21	13,72	14,49	15,58
S	12,10	12,18	12,26	12,36	12,46	12,63	12,89
O	12,10	11,90	11,70	11,45	11,15	10,77	10,14
N	12,10	11,69	11,19	10,67	10,00	9,08	7,58
D	12,10	11,51	10,91	10,23	9,39	8,15	6,30

**B. Latitudes Sud**

Sud	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
J	12,10	12,64	13,24	13,84	14,64	15,82	17,87
F	12,10	12,39	12,73	13,13	13,62	14,31	15,38
M	12,10	12,16	12,22	12,26	12,34	12,46	12,64
A	12,10	11,90	11,63	11,33	11,03	10,62	9,91
M	12,10	11,68	11,18	10,62	9,95	9,00	7,44
J	12,10	11,51	10,91	10,25	9,38	8,15	6,01
Jt	12,10	11,60	11,06	10,40	9,64	8,50	6,63
A	12,10	11,80	11,47	11,07	10,56	9,92	8,88
S	12,10	12,06	11,09	11,91	11,83	11,74	11,55
O	12,10	12,30	11,53	12,83	13,14	13,57	14,33
N	12,10	12,57	13,07	13,64	14,32	15,34	17,01
D	12,10	12,70	13,80	14,06	14,94	16,28	18,70

**Tableau 5 - Valeurs (p) du pourcentage journalier d'heures diurnes par rapport au nombre d'heures diurnes annuelles ; (p) fonction de la latitude (LEBOURGEOIS, 2010)**

Nord Sud	Jan Juil	Fév Août	Mars Sept	Avr Oct	Mai Nov	Juin Déc	Juil Jan	Août Fév	Sept Mars	Oct Avr	Nov Mai	Déc Juin
60°	0,15	0,20	0,26	0,32	0,38	0,41	0,40	0,34	0,28	0,22	0,17	0,13
55°	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,39	0,38	0,33	0,28	0,23	0,18	0,16
50°	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20	0,18
45°	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,34	0,34	0,32	0,28	0,24	0,21	0,20
40°	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
35°	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,30	0,28	0,25	0,23	0,22
30°	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23
25°	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24
20°	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25
15°	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25
10°	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
5°	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
0°	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

**Tableau 6 – Valeurs de  $\sigma T^4$  en calories /cm<sup>2</sup>/Jour (pour  $\sigma = 8,22$  et  $0^\circ\text{K} = - 273^\circ\text{C}$ )**

t (°C)	$\sigma T^4$ (cal /cm <sup>2</sup> /jour)	t (°C)	$\sigma T^4$ (cal /cm <sup>2</sup> /jour)
-10	566	16	826
-5	611	17	837
0	658	18	849
1	667	19	861
2	677	20	872
3	687	21	884
4	697	22	896
5	707	23	909
6	717	24	921
7	728	25	934
8	738	26	946
9	749	27	959
10	759	28	972
11	770	29	985
12	781	30	998
13	792	35	1 065
14	803	40	1 136
15	814		

**Tableau 7 – Tension de vapeur d'eau saturante  $e_w$  en millibars (mb) –  
Température en (°C) (ANSER, 2012)**

T°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,0	6,108	6,566	7,055	7,575	8,129	8,719	9,347	10,01	10,72	11,47	12,27	13,12
0,1	6,153	6,614	7,106	7,630	8,187	8,781	9,413	10,08	10,79	11,55	12,35	13,21
0,2	6,198	6,662	7,157	7,684	8,245	8,843	9,478	10,15	10,87	11,63	12,44	13,30
0,3	6,243	6,711	7,209	7,739	8,304	8,904	9,544	10,22	10,94	11,71	12,52	13,38
0,4	6,288	6,759	7,260	7,793	8,362	8,966	9,609	10,29	11,02	11,79	12,61	13,47
0,5	6,333	6,807	7,311	7,848	8,420	9,028	9,675	10,36	11,09	11,87	12,69	13,56
0,6	6,380	6,857	7,364	7,904	8,480	9,092	9,742	10,43	11,17	11,95	12,78	13,65
0,7	6,426	6,906	7,417	7,960	8,540	9,156	9,809	10,50	11,24	12,03	12,86	13,74
0,8	6,473	6,956	7,469	8,017	8,599	9,219	9,876	10,58	11,32	12,11	12,95	13,84
0,9	6,519	7,005	7,522	8,073	8,659	9,283	9,943	10,65	11,39	12,19	13,03	13,95

T°	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0,0	14,02	14,97	15,98	17,04	18,17	19,37	20,63	21,96	23,37	24,86	26,43	28,09
0,1	14,11	15,07	16,08	17,15	18,29	19,49	20,76	22,10	23,52	25,02	26,59	28,26
0,2	14,21	15,17	16,19	17,26	18,41	19,62	20,89	22,24	23,67	25,17	26,76	28,43
0,3	14,30	15,27	16,29	17,38	18,52	19,74	21,03	23,38	23,81	25,33	26,92	28,61
0,4	14,40	15,37	16,40	17,49	18,64	19,87	21,16	22,52	23,96	25,48	27,09	28,78
0,5	14,49	15,47	16,50	17,60	18,76	19,99	21,29	22,66	24,11	25,64	27,25	28,95
0,6	14,59	15,57	16,61	17,71	18,88	20,12	21,42	22,80	24,26	25,80	27,42	29,13
0,7	14,68	15,67	16,72	17,83	19,00	20,25	21,56	22,94	24,41	25,96	27,59	29,30
0,8	14,78	15,78	16,82	17,94	19,13	20,37	21,69	23,09	24,56	26,11	27,75	29,48
0,9	14,87	15,88	16,93	18,06	19,25	20,50	21,83	23,33	24,71	26,27	27,92	29,65

T°	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
0,0	29,83	31,67	33,61	35,65	37,80	40,06	42,43	44,93	47,55	50,31	53,20	56,24
0,1	30,01	31,86	35,86	33,81	38,02	40,29	42,68	45,19	47,82	50,60	53,50	56,55
0,2	30,19	32,05	34,01	36,07	38,24	40,53	42,92	45,45	48,09	50,88	53,80	56,87
0,3	30,38	32,25	34,22	36,29	38,47	40,76	43,17	45,70	48,37	51,17	54,10	57,18
0,4	30,56	32,44	34,42	36,50	38,69	40,99	43,41	45,96	48,64	51,45	54,40	57,50
0,5	30,74	32,63	34,62	36,71	38,91	41,23	43,66	46,22	48,91	51,74	54,70	57,81
0,6	30,93	32,83	34,83	36,93	39,14	41,47	43,91	46,49	49,19	52,03	55,01	58,13
0,7	31,11	33,02	35,03	37,15	39,37	41,71	44,17	46,75	49,47	52,32	55,32	58,45
0,8	31,30	33,22	35,24	37,36	39,60	41,95	44,42	47,02	49,75	52,62	55,62	58,78
0,9	31,48	33,41	35,44	37,58	39,43	42,19	44,68	47,28	50,03	52,91	55,93	59,10

T°	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
0,0	59,42	62,76	66,26	69,93	73,78	77,80	82,02	86,42	91,03	95,86	100,9	106,2
0,1	59,75	63,11	66,62	70,31	74,18	78,22	82,45	86,88	91,51	96,36	101,4	106,7
0,2	60,08	63,45	66,99	70,69	74,58	78,64	82,89	87,33	91,99	96,86	101,9	107,3
0,3	60,41	63,80	67,35	71,07	74,97	79,05	83,32	87,79	92,49	97,35	102,5	107,8
0,4	60,74	64,14	67,72	71,45	75,37	79,47	83,76	88,24	92,94	97,85	103,0	108,4
0,5	61,07	64,49	68,08	71,83	75,77	79,89	84,19	88,70	93,42	98,35	103,5	108,9
0,6	61,41	64,84	68,45	72,22	76,18	80,32	84,64	89,16	93,31	98,86	104,0	109,5
0,7	61,75	65,20	68,82	72,61	76,58	80,74	85,08	89,63	94,40	99,37	104,6	110,0
0,8	62,08	65,55	69,10	73,00	76,99	81,17	85,53	90,10	94,88	99,88	105,1	110,6
0,9	62,42	65,91	69,56	73,39	77,39	81,59	85,97	90,56	95,37	100,4	105,7	111,1

T°	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
0,0	111,7	117,4	123,4	129,7	136,2	143,0	150,1	157,5	165,2	173,2	181,5	190,2	199,3
0,1	112,3	118,0	124,0	130,3	136,9	143,7	150,8	158,3	166,0	174,0	182,4	191,1	
0,2	112,8	118,6	124,6	131,0	137,5	144,4	151,5	159,0	166,8	174,8	183,2	192,0	
0,3	113,4	119,2	125,3	131,6	138,2	145,1	152,3	159,8	167,5	175,7	184,1	192,9	
0,4	113,9	119,8	125,9	132,3	138,8	145,8	153,0	160,5	168,3	176,5	184,9	193,8	
0,5	114,5	120,4	126,5	132,9	139,5	146,5	153,7	161,3	167,5	177,3	185,8	194,7	
0,6	115,1	121,0	127,1	133,6	140,2	147,2	154,5	162,1	169,9	178,1	186,7	195,6	
0,7	115,7	121,6	127,8	134,2	140,9	147,9	155,2	162,9	170,7	179,0	187,6	196,5	
0,8	116,2	122,2	128,4	134,9	141,6	148,9	156,0	163,6	171,6	179,8	188,4	197,5	
0,9	116,8	122,8	129,1	135,5	142,3	149,4	156,7	164,4	172,4	180,7	189,3	198,4	

**Tableau 8 – Tensions maxima de vapeur d'eau et valeurs de (variation par °C) en mm de mercure  $\Delta$  (ANSER, 2012)**

T°	tension	$\Delta$	T°	tension	$\Delta$	T°	tension	$\Delta$
0	4,6	0,4	11	9,8	0,7	21	18,7	1,1
1	5,0	0,3	12	10,5	0,8	22	19,8	1,3
2	5,3	0,4	13	11,3	0,7	23	21,1	1,3
3	5,7	0,4	14	12,0	0,8	24	22,4	1,4
4	6,1	0,4	15	12,8	0,9	25	23,8	1,4
5	6,5	0,5	16	13,7	0,9	26	25,2	1,5
6	7,0	0,5	17	14,6	0,9	27	26,7	1,7
7	7,5	0,5	18	15,5	1,0	28	28,4	1,7
8	8,0	0,6	19	16,5	1,1	29	30,1	1,7
9	8,6	0,6	20	17,6	1,1	30	31,8	1,9
10	9,2	0,6						

**Tableau 9 - Les états de la réserve d'eau dans le sol en fonction des déficits pluviométriques cumulés (P - ETP) (HALIMI, 1980)**

Les lettres A, B, C correspondent à la réserve d'eau initiale de 100mm, 150 mm et 200 mm

P - ETP	A	B	C	P - ETP	A	B	C
0	100	150	200	340	3	15	36
20	81	131	181	360	2	13	32
40	66	114	163	380	2	11	29
60	54	100	148	400	2	10	26
80	44	87	133	420	1	9	24
100	36	76	120	440	1	8	22
120	29	66	109	460	1	7	20
140	24	58	98	480	1	6	18
160	19	51	89	500	1	5	16
180	16	44	80	550		4	12
200	13	39	73	600		3	10
220	10	34	66	650		2	7
240	8	30	59	700		1	6
260	7	26	54	750		1	5
280	6	22	48	800			4
300	5	20	44	900			4
320	4	17	40	1 000			1

#### - Echelle des températures

Echelles	Température de la glace fondante	Température de l'eau bouillante
Celsius (°C)	0°	100°
Fahrenheit (°F)	32°	212°
Réaumur (°R)	0°	80°
Kelvin (°K)	273,15°	373,15°

#### - Conversion des températures.

Fahrenheit en Celsius :  $C = (F - 32) \times 5/9$ .

Réaumur en Celsius :  $C = 5/4 R$ .

Kelvin en Celsius :  $C = K - 273,15$ .

Celsius en Fahrenheit :  $F = 9/5 \times (C + 32)$ .

Celsius en Réaumur :  $R = 4/5 \times C$ .

Celsius en Kelvin :  $K = C + 273,15$ .

Pour le calcul des ETP, les équivalences suivantes sont importantes à connaître !

1 kWh = 85984, 27 calories (cal)

1 kWh/m<sup>2</sup> = 85,9845 cal/m<sup>2</sup>

1 cal/cm<sup>2</sup> = 0,041868 Méga Joules /m<sup>2</sup>

1 MJ/m<sup>2</sup> = 23,884589 cal/cm<sup>2</sup>

1 kwh = 3,6 MJ

1 J/cm<sup>2</sup> = 0,01 MJ/m<sup>2</sup>

1 W = 1 J/s

1 W/m<sup>2</sup> = 1 J/s

#### - Conversion des unités de mesure.

1 pouce = 2,54 cm

1 mille = 1,6093 km.

**Tableau 10. récapitulatif des méthodes d'estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) (en mm)**

Méthode de	Formule
TURC	$ETP = 0,40 \frac{t}{t+15} (Ig + 50)$ avec : $Ig = Ig_a \times 0,18 + 0,62 \left( \frac{h}{H} \right)$
THORNTHWAIT	$ETP = 16 \times \left[ \frac{10T}{I} \right]^a \times C$ sachant que : $I = \sum_{j=janvier}^{décembre} I_j$ ; $I_j = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514}$
BLANEY-CRIDDLE	$ETP = F \cdot K$ avec : $K = \frac{E}{F(114-H)}$
PENMAN	$ETP = \frac{\Delta Rn + \gamma LEa}{(\Delta + \gamma) \times L}$ $Rn = Ig_a (1-a) (0,18 + 0,62 \left( \frac{h}{H} \right)) - \sigma T^4 (056 - 0,08 \sqrt{e}) (0,10 + 0,90 \left( \frac{h}{H} \right))$

**Tableau 11. récapitulatif des méthodes d'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) (en mm)**

Méthode	Formule
TURC	$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$ avec : $L = 300 + 24 t + 0,05 t^3$

**Tableau 12. récapitulatif des Indices bioclimatiques globaux fondés principalement sur les pluies et les températures et classification**

Indice	Formule / méthode
--------	-------------------

Indices et coefficients à une seule variable climatique

Indice de continentalité pluviométrique d'ANGOT	$I_A = \frac{\sum P (6 mois les plus chauds)}{\sum P (6 mois les plus froids)}$
Indice de continentalité thermique de GORCZINSKI	$K' = \frac{1,7 A}{\sin(\gamma + 10 + 9h)} - 14$
Coefficient pluviométrique relatif d'ANGOT	$CPR = \frac{MPMR}{MPMF}$ avec : $MPMF = \frac{TPA}{365} \text{ nj}$
Coefficient du régime pluviométrique	$CRP = \frac{h}{\frac{H}{365} \times n}$
Moyenne pluviométrique relative	Par le calcul de la part de chaque mois qui vaut $1/12^{\text{eme}}$ du total 100 % : $p > 8,3\%$ , le mois considéré est non pluvieux. $p < 8,3\%$ , le mois considéré est pluvieux.
Indice saisonnier de PEGUY	Il s'agit de faire la somme des mois trimestre par trimestre, de manière à avoir un classement décroissant de ces trimestres

Gradient pluviométrique	$GP = \frac{\Delta P}{\Delta H}$
Indice de chaleur	$I_c = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$ avec : $t > 0$
Gradient de la décroissance verticale et longitudinale de la température	$GT = \frac{\Delta T}{\Delta H} \times 100$
Température limite	$N = 12 \frac{M - 10}{M - m}$
Indice de continentalité de JOHANSON	$K = \frac{1,6 A}{\sin \alpha} - 14$
Indice de COUTAGNE	$R = \frac{\Sigma CPR \text{ 6 mois les plus chauds}}{\Sigma CPR \text{ 6 mois les plus froids}}$ CPR : coefficient pluviométrique d'ANGOT
Coefficient d'océanité de KERNER	$O = 100 \frac{T_o - T_a}{A}$
Indice végétatif	1- Annuelle : $I = 2 \frac{t_i - 4}{10} = \frac{t_i - 4}{5}$ 2- Mensuelle : $I_m = \frac{t_i - 4}{10}$
Méthode des rapports	$R = \frac{X_i}{\bar{X}}$
Indice d'évaporation de DUBIEF	$D = \frac{P}{e_j}$

## Indices et coefficients à une seule variable climatique

Indices de GAUSSEN et BAGNOULS	Cet indice est illustré par le diagramme ombrothermique de GAUSSEN. Il permet de faire la distinction entre la période humide, où $P > 2T$ , et la période sèche où $P < 2T$
Indice d'aridité annuelle de DE MARTONNE	$IM = \frac{P}{T + 10}$
Indice d'aridité mensuelle de DE MARTONNE	$I_m = \frac{12 p}{(t + 10)}$
Indice d'aridité d'ANGSTRÖM	$I = \frac{P}{1,07^T}$
Coefficient d'aridité de GORCZYNSKI	$A = c (t_w - t_c) \frac{(P_w - P_d)}{P_a} \cos ec \phi$
Quotient pluviométrique d'EMBERGER et Climagramme * En connaissance des jours de précipitations.	$Q_E = \frac{nP}{365(M + m)(M - m)} \times 100$ $Q'_E = \frac{2000P}{(M + m)(M - m)}$

* Formule de STEWART	$Q_3 = 3,43 \frac{P}{M-m}$
Indice climatique de BIROT	$I_c = \frac{P \times J}{T}$
Indice Pluvio-efficacité	$I = \frac{100 P/E + 12p/e}{2}$
Indice de précipitation effective de THORNTHWAITE	$I = \sum(p - e)$
Indice Pluvio-thermique de THORNTHWAITE	$I = \sum_{n=1}^{n=12} 10in \text{ avec : } in = 0,165 \left( \frac{pn}{tn+12,2} \right)^{109}$
Indice pluviométrique de MORAL (1954)	$P = T^2 - 10 T + 200 \text{ où : } I_{(a)} = \frac{P}{T^2 - 10 T + 200}$
Indice de KOPPËN	Il propose les définitions suivantes : - $P = 10 T$ : maximum d'hiver. - $P = 10 T + 70$ : pluies uniformément réparties à travers les différentes saisons. - $P = 10 T + 140$ : maximum d'été.
Indice Héliothermique	$I = \frac{tm \times dmj}{100}$

Indices et coefficients à plusieurs variables climatiques

Indice d'humidité	$I_h = 100 S/N \text{ avec : } S = \sum (p - etp)$ et : $N = \sum etp \text{ où } p > etp$
Indice d'intensité de sécheresse de GAUSSEN	$X_m = j_m - (j_p - j_{br}) \times jh$

**Tableau 13. récapitulatif des Indices de production pour estimer la production végétale**  
Indices à plusieurs variables climatiques

Indice	Formule / méthode
Indice CVP de PATERSON (1956)	$IP = \frac{Tv \times P \times G \times E}{Ta \times 12 \times 100}$
Indice de PAPADAKIS (1975)	$A = \left[ \left( \frac{12}{DJ} \right)^{0,75} \times \left( \frac{1}{10^{0,1Tx}} + \frac{10^{0,1Tn}}{10^5} + \frac{0,5}{10^{2,5}H} + \frac{1}{10^2} \right) \right]^{-1}$
Indice de HUGLIN (1978)	$I_H = [\sum(Tm - 10) + \sum(Tx + 10)] \times \frac{n}{2}$
Indice de potentialité agricole de TURC	$CA = ft \times fh \times fs. \text{ Avec : } ft = \frac{t(60 - t)}{1000} \times \frac{tm - 1}{4};$ $fh = H - 5 \left( \frac{\varphi}{40} \right)^2; fs = \frac{ETR}{ETP}$
Estimation de la production végétale maximale annuelle.	$P = r \sum_{i=1}^{i=12} CA$

▪ **Les paramètres des formules de calcul de l'évapotranspiration potentielle.**

- ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.
- t : Température moyenne mensuelle en ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- Ig : Bilan du rayonnement solaire en calories par centimètre carré ( $\text{cal/cm}^2$ ).
- Iga : radiation théorique maximale au lieu considéré
- h : durée d'insolation effective (en heure)
- H : durée d'insolation théorique (en 1/10 d'heure)
- Ig<sub>a</sub> et H dépendent de la latitude et de la saison. Ils sont donnés dans des tables.
- Le rapport h/H est appelé la fraction d'insolation.
- 0,40 est une constante qui est le résultat de la multiplication d'une autre constante (0,013) par le nombre de jours de chaque mois.
- 50 : est la limite entre l'humidité et la sécheresse de l'air.
  
- C : coefficient de correction relatif aux données temporelles et spatiales. La valeur de F se lit à partir d'un tableau spécifique (Tableau 2 – Annexe C.).
- T : température mensuelle moyenne en ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- a : fonction complexe de l'Indice I. Elle s'écrit de la manière suivante :  $a = 0,018 (I) + 0,5$  où : I : indice thermique annuel, somme des 12 indices mensuels.
- t : est la moyenne mensuelle des températures en ( $^{\circ}\text{C}$ ).
  
- E : Résultats de mesures multiples.
- F : force évaporante.
- H : humidité relative.
  
- Rn : rayonnement net de la surface (en  $\text{J/cm}^2/\text{mm}$ ) qui peut être mesuré ou calculé
- Ig<sub>a</sub> : rayonnement global en l'absence d'atmosphère ( $\text{cal/cm}^2$ )
- a : albedo, qui peut varier en gros de 0,1 à 0,4 et même en dehors de cet intervalle.
- h/H : fraction d'insolation = rapport de la durée réelle d'insolation et de la durée théorique (en heure et 1/10).
- $\sigma$  : constante de Stefan-Bolzman =  $5.6698 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$
- T : température de l'air en degré Kelvin ;
- Les valeurs de  $\sigma T^4$  sont portées au tableau 6 – Annexe C.
- e : tension de vapeur d'eau.

\*  $\Delta$  : pente de la courbe de tension de vapeur saturante à la température de l'air (en mb /C)  
(Tableau 8 – Annexe C.)

\*  $Ea$  : pouvoir évaporant de l'air :  $Ea = 0.26 (ew - e) \phi (v)$

-  $ew$  : tension de vapeur saturante à la température de l'air

-  $e$  : tension de vapeur d'eau, pour son calcul en sachant l'humidité relative et la tension de vapeur saturante. On a :  $hr = e/ew$ , donc :  $e = hr \times ew$ .

-  $ew - e$  : déficit de saturation de l'air

-  $\phi (v)$  : fonction de la vitesse du vent. Si la mesure est faite à deux mètres de hauteur alors

on a :  $\phi (v) = 1 + 0.54 V$  (en m/s).

\*  $L$  : chaleur latente de vaporisation de l'eau (2.56 106 J /kg)

\*  $\gamma$  : constante psychrométrique de Bowen = 0.665 mb /°C

▪ **Les paramètres des formules de calcul de l'évapotranspiration réelle.**

- ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm

- P : Pluies annuelles en mm.

- L : Force évaporante.

- t : température moyenne annuelle en (°C).

▪ **Les paramètres des formules des indices et coefficients climatiques.**

- A : amplitude thermique annuelle moyenne en (°C) ;

-  $\gamma$  : latitude en (°)

- h : altitude en kilomètres

- MPMR : est la moyenne pluviométrique mensuelle réelle.

- MPMF : est la moyenne pluviométrique mensuelle fictive.

- TPA : est le total pluviométrique annuel en mm.

- nj : est le nombre des jours du mois considéré.

- CRP : est le coefficient du régime pluviométrique.

- h : est la hauteur mensuelle des pluies en mm.

- H : est la hauteur annuelle des pluies en mm.

- n : est le nombre de jours pluvieux du mois considéré.

- P : est le total pluviométrique annuel en valeur relative, qui est de 100 %.

- p : est le total pluviométrique mensuel en valeur relative.

- GP : est le gradient pluviométrique exprimé en millimètre pour 100 m (X mm / 100 m)
- $\Delta P$  : est la différence pluviométrique entre les deux points en mm.
- $\Delta H$  : est la différence altitudinale entre les deux points en mètres.
- GT : est le gradient de décroissance vertical de la température entre deux points.
- $\Delta T$  : est la différence thermique entre les deux points en ( $^{\circ}$ C).
- N : est la durée de la saison végétative en mois.
- M : Température moyenne du mois le plus chaud en ( $^{\circ}$ C).
- m : Température moyenne du mois le plus froid en ( $^{\circ}$ C).
- K : est l'indice de continentalité de JOHANSON
- A : est l'amplitude thermique annuelle en ( $^{\circ}$ C). Elle est égale à la différence entre la moyenne thermique du mois le plus chaud et la moyenne thermique du mois le plus froid.
- $\alpha$  : est le degré latitude de la station considérée.
- To : est la Moyenne thermique du mois d'octobre.
- Ta : est la moyenne thermique du mois d'avril
- I : est l'indice végétatif.
- $t_i$  : est la température quotidienne.
- 4 : constante qui représente le seuil thermique des herbacées.
- $n_i$  : représente le nombre de jours du mois considéré.
- $X_i$  : est la quantité pluviométrique d'un mois donnée en mm.
- $\bar{X}$  : est la moyenne pluviométrique du mois considéré en mm.
- ej : l'évaporation journalière moyenne mesurée grâce à l'évaporomètre de PICHE, en mm.
- D : est le nombre de jours que mettrait une pluie, reçue pendant une année, pour s'évaporer.
- $I_M$  : est l'indice d'aridité annuelle.
- P : est le total annuel des pluies en mm.
- T : est la moyenne thermique annuelle en ( $^{\circ}$ C).
- Sachant que la valeur de 10 a été ajoutée aux moyennes thermométriques pour éviter les valeurs négatives de l'indice.
- c : est une constante. Elle est égale à 100 en milieu saharien.
- $t_w$  : Température du mois le plus chaud en ( $^{\circ}$ C).
- $t_c$  : Température du mois le plus froid en ( $^{\circ}$ C).
- $P_w$  : Quantité annuelle maximale des pluies en mm.
- $P_d$  : Quantité annuelle minimale des pluies en mm.
- $P_a$  : quantité annuelle moyenne des pluies en mm.

- $\emptyset$  : Cosécante du degré latitude du lieu considérée. Elle est égale à l'inverse du sinus.
- Sachant que  $P_w$  et  $P_a$ , se calculent sur une durée de 50 ans.
- $J$  : la fréquence des jours de pluies.
- $T_v$  : Température moyenne mensuelle du mois le plus chaud, en ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $e$  : Evapotranspiration mensuelle en mm
- $p_n$  : représente la moyenne mensuelle des pluies d'un mois donné.
- $t_n$  : est la moyenne thermique du mois considéré en ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $t_m$  : est la température moyenne mensuelle en ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $d_{mj}$  : est la durée moyenne de l'ensoleillement par jour en heures.
- $S$  : est le surplus d'eau.
- $T_a$  : Amplitude thermique moyenne annuelle en ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $G$  : Longueur de la saison végétale en mois.
- $E$  : Rayonnement solaire local en (%)
- $T_x$  : moyenne mensuelle des températures maximum journalières
- $T_n$  : moyenne mensuelle des températures minimum journalières
- $W$  : eau disponible dans le sol au début du mois et déterminée à partir du bilan hydrique théorique
- $DJ$  : longueur moyenne du jour pour le mois considéré.
- $T_x$  : température maximum
- $T_m$  : température moyenne
- $n$  : coefficient de longueur du jour (varie de 1.02 à 1.06 en France)
- $f_h$  : est l'insolation.
- $f_s$  : est l'humidité.
- $f_t$  : est la température en ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $P$  : représente les potentialités contemporaines exprimées en tonne de matière sèche par hectare et par an.
- $CA$  : indice climatique de potentialité agricole.
- $r$  : Rapport entre la récolte et l'indice.
- $X_m$  : Indice d'intensité de sécheresse du mois considéré.
- $J_m$  : Nombre total de jours du mois considéré.
- $J_p$  : Nombre de jours pluvieux du mois considéré.
- $J_{br}$  : Nombre de jours de brouillard ou de rosée de ce mois.
- $J_h$  : L'état hygrométrique moyen du mois considéré.

Contacts : sebaibi\_anouar@yahoo.fr  
sebaibi-anouar@hotmail.fr