

# ETUDE CLIMATIQUE EN TUNISIE PRESAHARIENNE

ALI FERCHICHI (\*)

Le climat de la Tunisie présaharienne (**figure 1**) se trouve dans l'aire isoclimatique méditerranéenne qui peut être définie, de point de vue écologique, comme un climat de zone tempérée, donc à photopériodisme saisonnier et quotidien et à pluviosité concentrée sur la saison froide ou relativement froide, l'été étant sec (Emberger, 1971). Normale: La Tunisie présaharienne est soumise, d'après Despois (1955), à deux centres d'action climatique totalement opposés: l'un, situé au Sud-Ouest, est le lieu d'un climat subtropical saharien sec et chaud, l'autre, situé à l'Est dans le golfe de Gabès, est sous l'influence d'un climat méditerranéen relativement tempéré. L'essentiel des précipitations est originaire soit du golfe de Gabès (pluies d'automne et début d'hiver), soit du bassin occidental de la Méditerranée (pluies de printemps et d'hiver) et rarement de l'Atlantique (Floret et Pontanier, 1982).

D'après Ben Dakhli (1995), Les perturbations sahariennes, qui exercent une grande influence sur le climat de la Tunisie présaharienne, sont issues des dépressions liées au Front Inter-Tropical. Ces dépressions se déplacent d'Ouest en Est, longeant le trentième parallèle, pour déboucher sur le golfe de Gabès. L'air chaud venant du Sahara, par suite de l'introduction de l'air froid, passe d'abord par la Méditerranée, s'humidifie, aborde de nouveau la terre plus chaude, se réchauffe à la base et devient instable. Il donne lieu à des développements pluvieux orageux assez importants.

Le climat de la Tunisie présaharienne a fait l'objet de nombreux travaux (Le Houérou, 1959, 1969; Floret et Pontanier, 1982; Hammami, 1990; Zaafouri, 1993; El Hamrouni, 1994 etc.). C'est à Le Houérou (1959, 1969) que revient l'établissement des différentes nuances climatiques en Tunisie présahariennes sur la base des valeurs des précipitations moyennes annuelles (P) et de la moyenne des minima du mois le plus froid (m).

Cependant, la question qu'on pourrait

## Abstract

**The application of different indexes, formulas and criteria of climatic zonation for meteorological data issued from weather stations in presaharian Tunisia does not reveal any particularity, except that the water balance remains negative around the year. These formulas and criteria do not allow to assess at what extent two localities are similar or different regarding the impact of climate on vegetation (spontaneous or cultivated).**

**The introduction of a new index (Irp = index of rainfall distribution) which takes into account the irregular and sporadic character of the precipitation allows generally better characterisation of the impact of climate on vegetation.**

## Résumé

**L'application des différents indices, formules et critères de subdivision climatiques aux données météorologiques d'un ensemble de stations de la Tunisie présaharienne ne révèle aucune particularité sauf que le bilan climatique est déficitaire, tous les mois de l'année, pour toutes les stations étudiées. Ces formules et critères ne permettent pas d'exprimer dans quelle mesure les climats de deux localités sont semblables ou différentes du point de vue de leur influence sur les végétaux (cultivés ou spontanés).**

**L'introduction d'un nouvel indice (Irp = indice de la répartition de la pluviométrie) qui tient compte du caractère irrégulier et sporadique des précipitations, permet, dans certaines limites, une meilleure caractérisation de l'influence du climat sur la végétation.**

poser est dans quelle mesure les critères utilisés (P et m) sont ils suffisants pour renseigner sur les nuances climatiques dans une région comme la Tunisie présaharienne où l'irrégularité et le caractère orageux des précipitations en constituent l'aspect dominant.

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail dont les objectifs sont:

- de fournir une esquisse du climat de la Tunisie présaharienne;

- de discuter, sur la base des données météorologiques, prélevées sur une période de 90 ans, les différentes subdivisions climatiques dans cette région en fonction des indices, méthodes et critères climatiques établis par différents auteurs;
- d'essayer d'établir une méthode de subdivision climatique en Tunisie présaharienne qui tient compte du caractère peu fréquent, irrégulier et sporadique de la pluviométrie.

Les éléments climatiques qui sont analysés dans ce travail sont: la pluie, la température et l'évaporation. La pluie est d'une importance capitale car elle détermine la quantité d'eau disponible pour les processus vitaux d'une plante. La température conditionne la vitesse des réactions chimiques des activités vitales des plantes et influence également l'évaporation. L'évaporation détermine le bilan climatique global.

Elle permet d'interpréter l'incidence de la sécheresse sur les végétaux.

## Les précipitations

### Régime et variabilité mensuels des précipitations

Le **tableau 1** donne la répartition mensuelle des précipitations de 11 stations couvrant le nord (Sidi Bouzid, Sfax) la façade méditerranéenne (Gabès, Jerba, Zarzis), la région continentale (Gafsa, Tozeur, Kébili) et le sud (Ben Gardane, Tataouine) de la Tunisie présaharienne. D'une façon générale, Les précipitations mensuelles sont faibles, quelque soit le secteur, et présentent un déficit estival à partir du mois de mai.

Pour mieux analyser le régime des précipitations mensuelles, on a utilisé l'analyse des fréquences. En effet la précipitation mensuelle moyenne n'est pas réellement représentative dans les climats à différenciation pluviométrique comme le climat méditerranéen et notamment ses étages aride et saharien. La moyenne est une valeur arithmétique qui tient compte des mois exceptionnellement secs ou humides qui sont parfois très anormaux ou douteux. Elle est rarement réalisée.

L'approche «fréquentielle» qui repose essentiellement sur la notion de fré-

(\*) Institut des Régions Arides - Médenine, Tunisie.

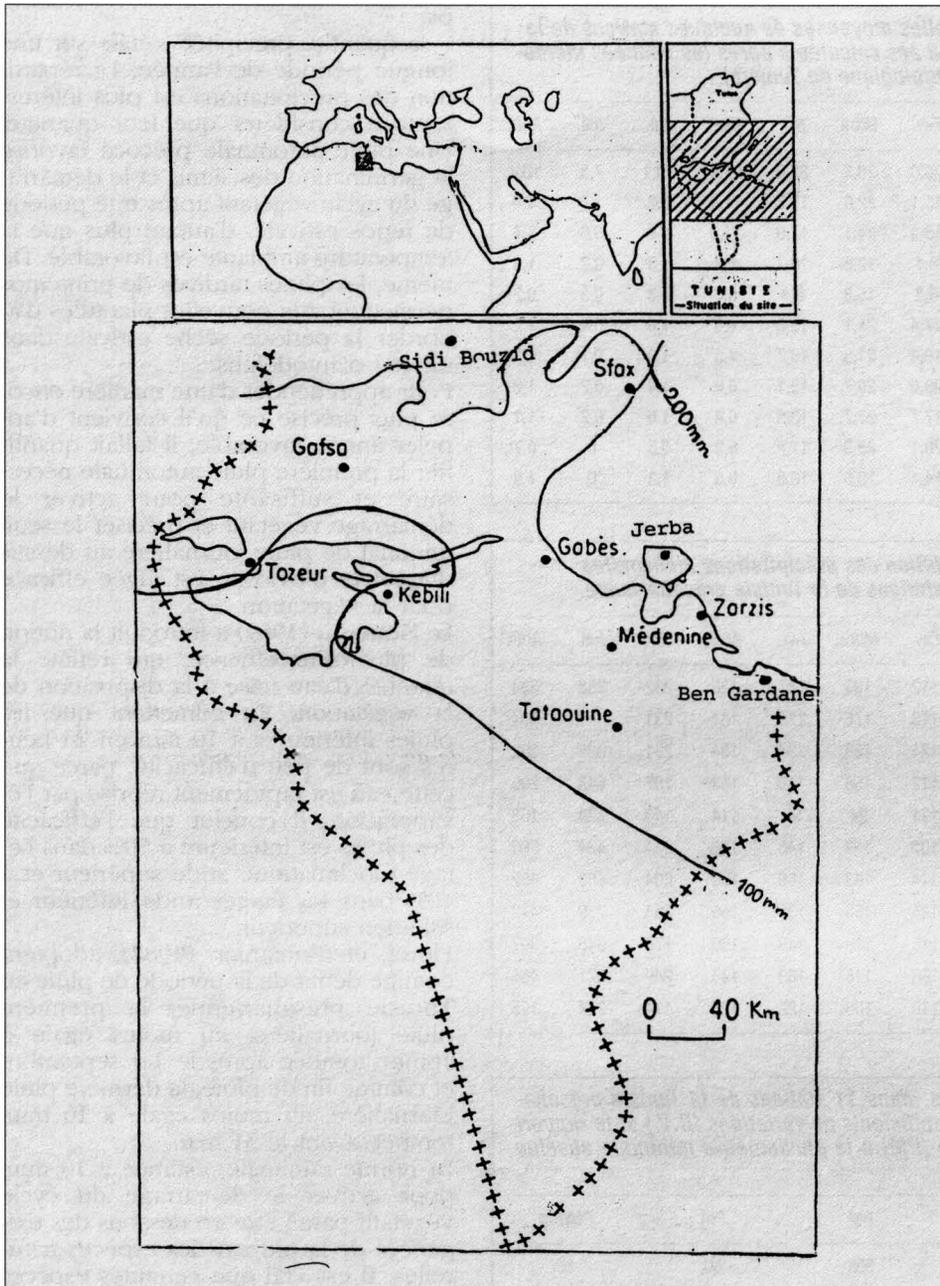


Figure 1 - Carte de la Tunisie présaharienne (• localisation des stations météorologiques étudiées).

quence d'un phénomène (Peguy, 1970; M'hirit, 1982) paraît mieux adaptée à la structure des données météorologiques de la Tunisie présaharienne. Cette méthode permet d'analyser les données climatiques d'un nombre assez élevé d'années pour déterminer avec quelle fréquence ils se sont produits. Alors, on suppose que les années futures se produisent avec les mêmes probabilités. Dans l'étude des fréquences, on utilise couramment les fractiles qui divisent la série d'observation ou la distribution de fréquence en classes de même effectif (Dagnelie, 1973). Ainsi, la médiane divise la série en deux classes de même effectif, les quantiles divisent la série en cinq classes, les déciles en dix classes

etc.

La **figure 2** représente, pour certaines des stations étudiées, les valeurs des précipitations mensuelles médianes, du premier quantile et du troisième quantile.

Pour toutes les stations, les précipitations mensuelles médianes, c'est à dire celles atteintes ou dépassées une année sur deux, sont faibles (généralement inférieures à 20mm) et présentent des maximums absolus en hiver pour Sfax, Tataouine, Tozeur, Médénine et Ben Gardane, en automne pour Jerba, Gabès et Zorzis et en fin d'hiver début de printemps pour Gafsa et Kébili.

Les valeurs du premier quantile, c'est à dire la fréquence des quantités précipi-

pitées une année sur quatre, montrent qu'à l'exception de l'été, période à pluviométrie faible ou nulle, chacun des mois de l'année pourrait être suffisamment pluvieux ( $P > 20$  mm) une année sur quatre. Les valeurs du troisième quantile, c'est à dire la fréquence des quantités précipitées trois années sur quatre, montrent que ces précipitations sont très faibles ( $P < 5$  mm).

Concernant la variabilité des précipitations mensuelles (**tableau 2**), on remarque qu'en dehors de la période sèche estivale où la variabilité est de l'ordre de 300% et peut atteindre des valeurs extrêmes de 700%, cette valeur oscille entre 120 et 150% pour le reste des mois de l'année.

### Régime et variabilité annuels des précipitations

La **figure 3** représente la pluviométrie moyenne annuelle de quelques stations de la Tunisie présaharienne. D'une manière générale, les précipitations sont faibles pour l'ensemble des stations et diminuent suivant un gradient Est-Ouest et Nord-Sud. Mais la pluviométrie annuelle n'a qu'une valeur indicative. C'est essentiellement sa régularité ou plutôt sa variabilité qui caractérisent le climat.

Dans le **tableau 3** sont portés les indices de quantification de la variabilité annuelle de la pluviosité. Dans l'ensemble des régions naturelles de la Tunisie présaharienne, le coefficient de variation de la pluviométrie se situe autour de 50%. Le rapport entre la pluviométrie maximale absolue et la pluviométrie minimale absolue varie de 11 pour Gafsa et Ben Gardane à 22 pour Kébili, Zorzis et Jerba.

### Fréquence des années favorables à la végétation

Le trait général le plus remarquable ressortant de l'étude des précipitations en Tunisie présaharienne est, en plus de leur faible quantité, leur variabilité mensuelle et annuelle. Cette variabilité est tellement caractéristique qu'elle suffit à elle seule à caractériser le climat. La question qu'on pourrait se poser est dans quelle mesure ce régime pluviométrique pourrait influencer la vie, la continuité et l'évolution des espèces et des groupements végétaux?

Pour appréhender cette question, on a calculé, en partant d'un modèle préconçu de quantification et de répartition de la pluviosité, la fréquence des années favorables à la végétation et celle des années sèches. Une année est considérée favorable au cas où la pluviométrie, de part sa quantité et sa

**Tableau 1 Répartition des précipitations mensuelles moyennes de quelques stations de la Tunisie présaharienne (moyenne de 90 ans calculée d'après les données météorologiques de l'Institut National Météorologique de Tunisie).**

	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Août
Sidi bouzid	33,4	38,8	25,9	22,0	16,5	20,0	29,9	22,0	21,2	10,1	7,3	10,4
Gafsa	15,2	17,3	17,6	17,5	15,5	15,1	22,0	15,5	11,4	6,2	1,7	4,8
Sfax	25,5	39,9	26,0	18,8	23,5	18,5	24,1	17,9	11,3	4,5	0,6	3,4
Tozeur	8,4	13,1	13,7	10,8	11,4	8,1	12,8	10,2	5,8	3,3	0,2	1,3
Kébili	7,0	11,3	12,5	13,1	10,9	8,2	15,3	8,4	5,5	1,3	0,3	0,2
Gabès	17,5	35,8	30,1	19,2	22,3	17,4	21,1	13,6	8,6	1,6	0,4	1,2
Jerba	17,6	47,3	39,3	26,3	25,9	19,4	21,3	13,7	7,0	1,3	0,1	1,3
Zarzis	15,8	28,9	39,1	33,5	24,9	23,6	20,7	13,1	6,6	1,4	0,2	1,2
Médenine	10,8	23,6	16,5	17,3	17,4	17,7	25,7	13,9	6,4	1,0	0,2	1,1
Ben Gardane	11,3	28,0	26,7	23,3	28,5	20,1	23,9	11,2	5,9	0,5	0	0,7
Tataouine	7,7	10,3	13,4	14,5	17,6	14,1	20,6	10,5	6,5	1,3	0	1,9

**Tableau 2 Valeurs (en%) des coefficients de variation des précipitations mensuelles durant la période 1900-1990 pour 11 stations de la Tunisie présaharienne.**

	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
Sfax	108	148	118	129	97	112	109	137	126	232	358	334
Tataouine	153	152	128	117	118	113	176	173	181	231	-	334
Tozeur	201	142	132	150	116	124	128	134	154	281	325	302
Médenine	175	146	139	126	114	112	158	140	162	197	642	295
Sidi Bouzid	147	204	116	193	123	121	94	90	114	143	324	153
Jerba	152	128	129	111	139	102	119	145	188	231	424	385
Kébili	236	168	145	144	123	114	163	169	169	204	663	452
Ben Gardane	164	130	125	110	120	125	155	138	166	254	739	472
Gabès	144	143	147	157	117	116	119	149	160	178	345	307
Zarzis	221	136	124	124	136	168	118	169	139	249	371	466
Gafsa	112	119	104	157	108	110	106	122	128	174	257	195

**Tableau 3 Variabilité annuelle des précipitations, dans 11 stations de la Tunisie présaharienne, évaluée par les valeurs des coefficients de variations (C.V.) et le rapport de la pluviométrie maximale absolue (PM) à la pluviométrie minimale absolue (Pm).**

	P.moy.	C.V.%	PM	Pm	PM/Pm
Sidi bouzid	258	52	905	60	15
Sfax	212	45	604	37	16
Gafsa	160	38	410	36	11
Tozeur	100	45	207	16	13
Kébili	94	55	308	11	28
Gabès	189	51	533	39	14
Jerba	216	52	850	39	22
Médenine	152	56	550	37	15
Zarzis	217	54	521	24	22
Ben Gardane	181	52	519	46	11
Tataouine	118	51	384	36	11

répartition, dispose au niveau du sol d'une humidité suffisante permettant d'assurer la germination des semences, l'accroissement des jeunes plantes et la croissance régulière des plantes adultes jusqu'à l'accomplissement de leur cycle reproductif. Partant de cette définition

on admet qu'une année est favorable si:

- La pluviosité est supérieure ou égale à la moyenne interannuelle de la zone considérée;
- les maximums pluviométriques se produisent en automne et au printem-

ps;

- la quantité précipitée s'étale sur une longue période de l'année. La répartition des précipitations est plus intéressante à considérer que leur quantité. Une pluie automnale précoce favorise la germination des semis et le démarrage du cycle végétatif après une période de repos estivale, d'autant plus que la température ambiante est favorable. De même, les pluies tardives de printemps permettent aux nouvelles plantules d'aborder la période sèche estivale dans un état d'autodéfense.

Pour appréhender d'une manière encore plus précise ce qu'il convient d'appeler année favorable, il fallait quantifier la première pluie automnale nécessaire et suffisante pour activer le démarrage végétatif et préciser le seuil minimal de pluie journalière au dessus duquel la pluviosité est jugée efficace pour la végétation.

Le Houérou (1969) a introduit la notion de pluviosité efficace, qui reflète la quantité d'eau mise à la disposition de la végétation. En admettant que les pluies inférieures à 10 mm en 24 heures sont de peu d'efficacité, parce que cette eau est rapidement reprise par l'évaporation, il conclut que l'efficacité des pluies est inférieure à 50% dans l'étage bioclimatique aride supérieur et à 40% dans les étages aride inférieur et saharien supérieur.

Floret et Pontanier (1982) adoptent comme début de la période de pluie en Tunisie présaharienne, la première pluie journalière, au moins égale à 10mm, tombée après le 1er septembre et comme fin de pluie, la dernière pluie journalière, au moins égale à 10 mm, tombée avant le 31 mai.

La norme minimale, estimée à 10 mm, pour activer le démarrage du cycle végétatif paraît être en dessous des exigences de la plupart des espèces naturelles. Il est vrai que certaines espèces (*Erodium glaucophyllum*, *Peganum harmala* etc.) peuvent démarrer leur cycle, indépendamment de la pluviométrie automnale, par report d'humidité de l'année écoulée (Ferchichi *et al.*, 1991), néanmoins une pluie de 12,5 mm, survenue en octobre 1993 à EL Fjé (Médenine), a été sans effet sur le démarrage végétatif des plantes. De même, l'émergence de certaines espèces autochtones de la Tunisie présaharienne, semées en conditions expérimentales par Ferchichi et Neffati (1992) n'a pu s'accomplir qu'après une pluie automnale d'environ 20 mm.

Le début de la période de pluie peut donc être défini comme la première pluie journalière automnale au moins égale à 20 mm. L'efficacité des précipitations inférieures à 20 mm dépend de

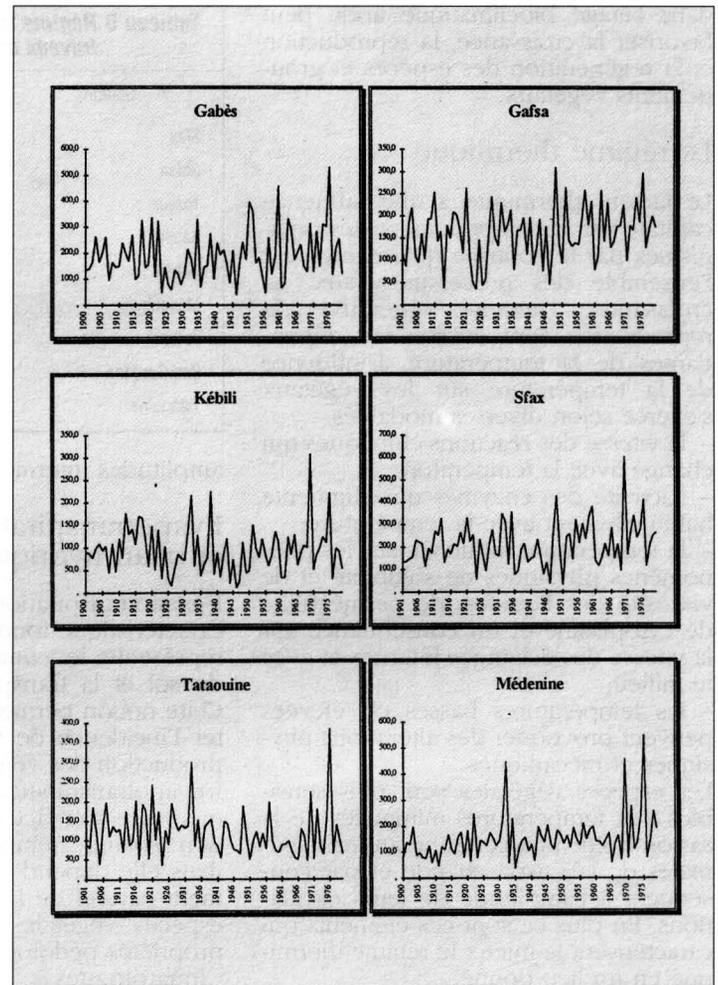
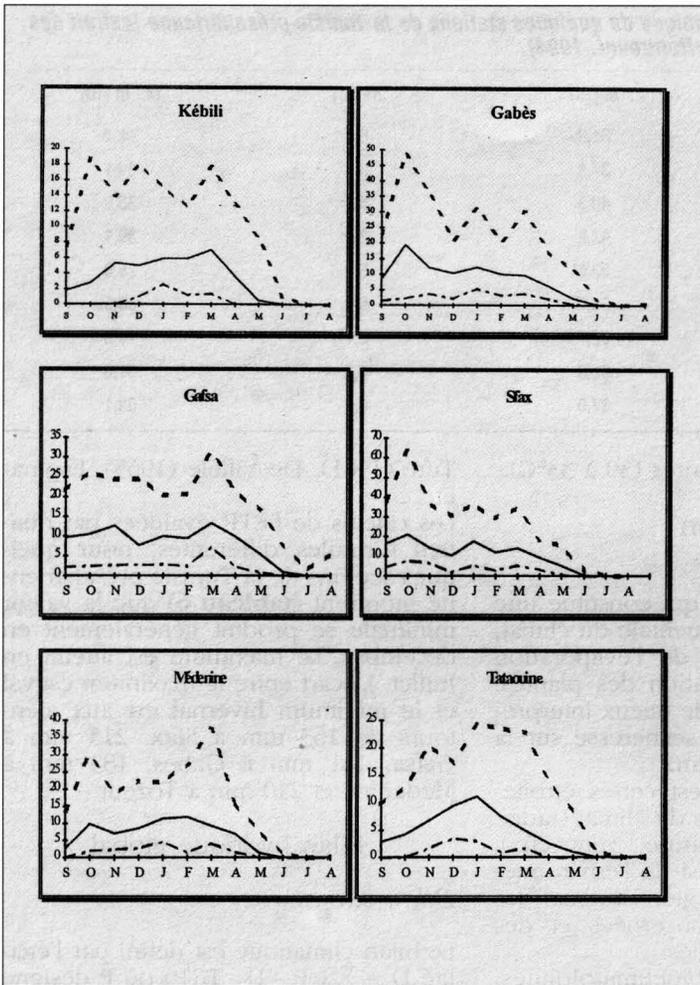


Figure 2 - Variations mensuelles des précipitations dans 6 stations de la Tunisie présaharienne. Valeurs de la médiane, du 1<sup>er</sup> quantile ( $Q_1 = 75\%$ ) et du 3<sup>ème</sup> quantile ( $Q_3 = 25\%$ ).  
Légende: (- - -) 1<sup>er</sup> quantile (—) médiane (- · - ·) 3<sup>ème</sup> quantile

Figure 3 - Variation annuelle des précipitations de quelques stations de la Tunisie présaharienne.

leur situation par rapport à l'ensemble des événements pluviométriques de l'année. Les caractères généraux de l'année favorable étant ainsi définis, nous reproduisons dans le **tableau 4**, pour chacune des stations étudiées le pour-

centage, calculé sur 90 années, des années favorables à la végétation et des années exceptionnellement sèches et pluvieuses. Notons qu'une année est considérée exceptionnellement sèche quand la moyenne pluviométrique est inférieure à 50% de la pluviométrie

moyenne annuelle. Elle est exceptionnellement pluvieuse quand cette moyenne dépasse de 50% la pluviométrie moyenne annuelle.

D'après ce tableau des fréquences, le pourcentage des années favorables est supérieur à celui des années sèches pour toutes les stations situées en bioclimat aride (Sidi Bouzid, Sfax, Gabès, Gafsa, Médenine, Jerba, Ben Gardane). Ces fréquences sont presque égales dans l'étage bioclimatique saharien. En bioclimat aride la végétation bénéficie de 25 à 40% d'années favorables, 10 à 15% d'années sèches et de 50 à 65% d'années intermédiaires (années sans incidence positive ou négative sur la végétation). En bioclimat saharien les fréquences sont de 15 % d'années favorables, 15 à 20 % d'années sèches et de 65 à 70 % d'années intermédiaires. Théoriquement donc, on peut légitimement admettre que la pluviosité en Tunisie présaharienne ne constitue pas un facteur limitant à l'évolution progressive des groupements végétaux. Bien au contraire le régime des pluies

	% des années favorables	% des années sèches	exceptionnellement pluvieuses	% des années intermédiaires
Sidi bouzid	40%	8%	18%	52%
Sfax	26%	10%	12%	64%
Gafsa	28%	13%	8%	59%
Tozeur	15%	17%	12%	68%
Kébili	14%	21%	8%	75%
Gabès	26%	13%	20%	61%
Jerba	25%	7%	12%	68%
Médenine	21%	17%	13%	62%
Ben Gardane	25%	17%	2%	58%
Tataouine	16%	15%	3%	69%

dans l'étage bioclimatique aride peut favoriser la croissance, la reproduction et la régénération des espèces et groupements végétaux.

## Le régime thermique

Le facteur thermique a une influence capitale sur le comportement des organismes par le contrôle qu'il exerce sur l'ensemble des processus vitaux. La croissance, l'activité végétative, la reproduction sont étroitement dépendantes de la température. L'influence de la température sur les végétaux s'exerce selon diverses modalités:

- la vitesse des réactions chimiques qui change avec la température;
- l'activité des enzymes qui augmente habituellement avec la température;
- la température influence sur les phénomènes physiques de solubilité et de viscosité des liquides, de perméabilité de cytoplasme et en conséquence sur la vitesse des échanges internes et avec le milieu;
- les températures basses ou élevées peuvent provoquer des altérations physiques et mécaniques.

Les espèces végétales sont plus sensibles aux températures minimales de la saison froide et aux températures maximales de la saison chaude et par conséquent à l'amplitude de leurs oscillations. En plus ce sont ces éléments qui caractérisent le mieux le régime thermique en un lieu donné.

Le **tableau 5** récapitule, pour certaines stations, les informations concernant la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M), la moyenne des minima du mois le plus froid (m) et l'amplitude thermique (M-m).

Les valeurs de ce tableau montrent que:

- la température moyenne annuelle se situe aux alentours de 19°C sur le littoral. Elle dépasse 20°C au Sud et à l'Ouest de la Tunisie présaharienne;

- la moyenne des minima du mois le plus froid est comprise entre 3 et 5°C dans les basses plaines méridionales, le Nefzaoua et le Jérid. Sur le littoral, cette moyenne est de 6 à 8°C. Elle se situe entre 4 et 6°C dans le reste de la Tunisie présaharienne;

- la moyenne des maxima du mois le plus chaud dépasse 40°C à Kébili et Tozeur. Sur la côte, elle est d'environ 32°C. Elle est comprise entre 35 à 37°C sur le reste du territoire;

- le littoral (Sfax, Gabès, Jerba) bénéficie d'une amplitude maximale assez faible (entre 24 et 26°C) en raison de l'influence modératrice de la mer. Au contraire, la zone continentale accuse des amplitudes maximales trop élevées (34 à 39°C), alors que le reste de la Tunisie présaharienne présente des

**Tableau 5 Régime thermique de quelques stations de la Tunisie présaharienne (extrait des travaux d'EL Hamrouni, 1994).**

Stations	M (°C)	m (°C)	M - m (°C)
Sfax	31,0	6,5	24,5
Gafsa	37,9	3,8	34,1
Tozeur	40,3	5,3	35,0
Kébili	42,2	3,1	39,1
Gabès	32,5	5,9	26,6
Médenine	36,7	6,2	30,5
Jerba	32,7	8,4	24,3
Ben Gardane	35,8	4,2	31,6
Tataouine	37,9	4,8	33,1

amplitudes intermédiaires (30 à 33°C).

## Evapotranspiration et bilan hydrique

L'évapotranspiration, qui constitue une caractéristique fondamentale du climat, représente le cumul de l'évaporation du sol et la transpiration des plantes. Cette notion permet de mieux interpréter l'incidence de la sécheresse sur la production des végétaux.

L'évapotranspiration est certes étroitement liée aux facteurs du climat (radiation solaire, température, vent etc.), mais elle dépend aussi de l'environnement naturel de la région étudiée, des espèces végétales concernées et des propriétés pédologiques.

Climatologues, bioclimatologues, hydrologues, agronomes et sylviculteurs ont élaboré de nombreux indices et formules pour caractériser et évaluer l'évapotranspiration. Marty (1970) a fait une étude exhaustive des méthodes d'évaluation du bilan d'eau en agriculture où il a précisé le concept de l'évapotranspiration et les conditions d'application de ses diverses formules. Seguin (1975) et Hammami (1990) ont fait une comparaison de l'application de ces différentes formules en climat méditerranéen. Aussenac (1972) et M'hirit (1982) ont respectivement étudié l'évapotranspiration réelle (E.T.R) et l'évapotranspiration potentielle (ETP) sur des peuplements forestiers.

### L'évapotranspiration potentielle (E.T.P)

l'évapotranspiration potentielle est la consommation maximale d'eau d'un couvert végétal actif, dense et étendu sur une grande surface et bien alimenté en eau. Elle correspond au maximum du pouvoir évaporant de l'air (Gerbier et Brochet, 1975).

Plusieurs formules ont été élaborées pour l'évaluation de l'E.T.P par Thornthwaite (1944), Penman (1948),

Turc (1961), De Villèle (1965), Espinar etc.

Les calculs de l'ETP, évaluées par quatre formules différentes, pour quelques stations de la Tunisie présaharienne montrent (**tableau 6**) que la valeur minimale se produit généralement en décembre. Le maximum est atteint en juillet. L'écart entre le maximum estival et le minimum hivernal est aux alentours de 163 mm à Sfax, 215 mm à Gafsa, 141 mm à Gabès, 183 mm à Médenine et 210 mm à Tozeur.

### Bilan hydrique global

#### Bilan climatique

Le bilan climatique est défini par l'égalité  $D = \sum ((P - I) - ETP)$  où P désigne les précipitations mensuelles moyennes et I désigne l'interception de la pluie par les plantes, re-évaporée directement dans l'atmosphère. On considère que I est nul étant donné le faible recouvrement végétal en zones arides. Dans le **tableau 7** sont reportés les valeurs de cet indice pour quelques stations de la Tunisie présaharienne. D'une façon générale, le bilan est toujours déficitaire. La pluviométrie n'excède l'évapotranspiration potentielle que dans de rares exceptions (octobre pour Sfax, octobre et décembre pour Gabès et décembre pour Médenine).

#### L'évapotranspiration réelle (ETR)

La valeur de l'ETR dépend de la quantité d'eau disponible pour les plantes. Quand le sol est saturé en eau et que cette eau est disponible, l'évapotranspiration réelle peut atteindre les valeurs de l'évapotranspiration potentielle.

D'après Gerbier et Brochet (1975), le rapport ETR/ETP se présente comme un indice climatique qui tend vers l'unité en région humide (Zone équatoriale) et qui tend vers zéro en zone sèche désertique.

Dans l'ensemble des stations étudiées, en Tunisie présaharienne, le cycle de l'eau se développe suivant trois phases: Phase 1: Les réserves du sol commencent à se constituer dès les premières pluies d'automne. Le démarrage de la végétation dépend de la rapidité avec laquelle les réserves se constituent. Durant cette phase qui s'étend approximativement des premières pluies d'automne jusqu'en février-mars,  $ETR = P + RU$ . Il arrive, compte tenu des irrégularités des précipitations, que certains mois de cette phase soient excédentaires. L'évapotranspiration réelle est alors égale à l'évapotranspiration potentielle ( $ETR = ETP$ ), la production de matière verte, n'étant pas limitée par le déficit hydrique, est à son maximum.

Phase 2: C'est une phase post-humide où les réserves du sol commencent à s'épuiser. Au cours de cette période, il y a intervention de la régulation stomatique et par conséquent réduction de la production de matière verte. L'évapo-

transpiration réelle est alors égale à la pluviométrie ( $ETR = P$ ).

Phase 3: C'est la phase de sécheresse estivale. Les précipitations sont nulles. Le bilan climatique est largement déficitaire. Les plantes réduisent leurs surfaces d'échanges et ferment leurs stomates. La production de matière verte est nulle. L'évapotranspiration réelle, qui est égale à la pluviométrie, s'annule à son tour.

D'une façon générale, le cycle de l'eau en Tunisie présaharienne montre que la croissance des végétaux est discontinue et d'un caractère aléatoire. L'influence du caractère irrégulier et sporadique des précipitations sur la végétation est très marquée.

### Expression de la moyenne annuelle de l'humidité climatique

L'établissement d'une expression mathématique des degrés d'humidité et d'aridité a préoccupé plusieurs spéciali-

stes. De nombreuses formules ont été proposées par Transeau (1905), Thornthwaite (1931), De Martonne (1926), Emberger (1945), Budyko (1974) etc. Elles consistent généralement à établir un bilan de l'eau apportée au sol par précipitation et celle susceptible d'être perdue par évaporation et transpiration.

En appliquant l'indice  $Q_2$  d'Emberger pour les données météorologiques de la Tunisie présaharienne Le Houérou (1959, 1969), a pu distinguer théoriquement 4 sous-étages climatiques et 4 variantes hivernales (**tableau 8**). Les subdivisions des étages arides et sahariens en sous-étages inférieur et supérieur ont été établies selon les valeurs de la pluviométrie; les variantes sont établies selon les valeurs de  $m$ .

Les valeurs de quelques indices de quantification de l'aridité climatique, appliqués aux données météorologiques de la Tunisie présaharienne sont reproduits dans le **tableau 9**.

**Tableau 6 Comparaison des valeurs de l'évapotranspiration potentielle pour cinq stations de la Tunisie présaharienne. Formule de Turc, Espinar, Thornthwaite et Penman (d'après Hammami, 1990).**

	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Tot.
Sfax	125	87	58	46	47	58	94	107	146	175	209	172	1.247
	122	77	49	37	40	49	78	109	190	187	203	168	1.310
	123	93	51	28	23	25	42	63	100	130	166	162	1.006
	119	87	54	44	47	58	90	102	142	171	205	168	1.282
Gafsa	146	123	59	43	45	59	96	133	158	207	254	212	1.536
	138	81	51	34	38	51	86	133	198	248	263	229	1.547
	126	83	42	19	21	28	41	78	119	157	170	161	1.045
	140	118	54	41	41	53	92	126	151	200	250	204	1.517
Gabès	139	89	68	53	60	72	100	131	157	166	190	202	1.427
	131	95	64	45	48	63	100	123	172	186	199	180	1.406
	132	97	55	26	25	30	48	85	117	132	168	160	1.074
	136	88	67	49	55	69	100	90	156	166	188	201	1.401
Médenine	137	101	69	53	57	81	108	142	179	197	237	207	1.568
	118	85	60	43	44	62	90	134	192	196	226	184	1.435
	132	102	47	29	25	35	50	82	134	155	170	160	1.112
	132	95	65	49	53	77	103	135	174	189	231	199	1.504
Tozeur	144	99	64	53	50	72	119	149	180	199	253	226	1.609
	142	96	55	40	38	54	100	157	205	188	275	232	1.688
	137	106	54	24	22	31	48	97	135	135	170	160	1.139
	140	91	60	48	45	68	113	143	183	197	245	218	1.541

**Tableau 7 Bilan climatique global (P - ETP), formule Thornthwaite, calculé pour quelques stations de la Tunisie présaharienne. (moyenne pour la période 1982-1985).**

	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai.	Juin	Juil.	Août	Tot.
Sfax	-110	51	-11	-19	-12	-16	-32	-57	-96	-126	-166	-162	-756
Gafsa	-107	-53	-40	-12	-4	-16	-17	-53	-86	-119	-168	-159	-834
Gabès	-127	5	-33	24	-18	-20	-15	-78	-111	-128	-168	-160	-829
Médenine	-124	-28	-43	5	-16	-22	-33	-77	-130	-151	-170	-160	-949
Tozeur	-134	-88	-28	-7	-13	-24	-36	-96	-122	-128	-170	-160	-1.006

## Expression de la variation de l'humidité climatique dans le cycle annuel (période de sécheresse)

Les indices annuels ne renseignent pas sur la répartition de l'humidité au cours de l'année qui est en fait plus intéressante à considérer. Divers auteurs se sont appliqués à caractériser les périodes de sécheresse en recherchant le rapport critique de la précipitation à la température au dessous duquel le bilan d'eau des plantes devient déficitaire.

Devant la difficulté de définir rationnellement ce qui est une période sèche, différentes relations ont été proposées par Giacobbe (1949, 1959), Emberger (1954), Andrews et Mazé (1933) Sagetta (1935), Bagnouls et Gaussen (1953, 1957), Aubréville (1949), Thornthwaite (1948).

L'application des différents indices pour les données climatiques des stations de la Tunisie présaharienne donne, à quelques exceptions près, environ 12 mois secs (**tableau 10**).

## Synthèse et conclusion sur le climat de la Tunisie présaharienne (proposition d'un indice de la répartition de la pluviométrie)

Le climat de la Tunisie présaharienne se caractérise par une pluviométrie faible (inférieur à 200 mm/an), irrégulière et sporadique (Le coefficient de variation dépasse 50%). L'analyse fréquentielle du régime mensuel des précipitations montre qu'à l'exception de l'été, chaque mois de l'année pourrait être suffisamment pluvieux une année sur quatre. L'analyse des fréquences des années favorables à la végétation a également montré que le régime annuel des précipitations en étage bioclimatique aride est favorable à la régénération des espèces et groupements végétaux.

L'application des indices d'expression de l'humidité climatique pour les données météorologiques des différentes régions naturelles de la Tunisie présaharienne ne révèle aucune particularité sauf que le bilan climatique est déficitaire durant tous les mois de l'année. Certes, ces indices permettent une caractérisation des milieux à climat aride ou désertique par rapport à d'autres types de climats mais ne permettent pas une différenciation au sein des climats arides.

Le Houérou (1959, 1969) a bien pensé à ce problème et a subdivisé les étages de végétation méditerranéen aride et saharien définies par Emberger (1945) en sous-étages supérieur et inférieur en

**Tableau 8 Nuances climatiques représentées en Tunisie présaharienne (d'après Le Houérou, 1959, 1969).**

	Aride supérieur	Aride inférieur	Saharien supérieur	Saharien inférieur
variante chaude	+	+	-	-
variante douce	+	+	+	-
variante tempérée	+	+	+	+
variante fraîche	+	+	-	-

(+) Bioclimat représenté.

**Tableau 9 Valeurs de certains indices d'aridité climatiques calculées d'après les données météorologiques de quelques stations de la Tunisie présaharienne.**

Station	Q2 (Emberger)	P/ETP (UNESCO)	P/E (Iranseau)	P/T (Lang)
Sfax	30,0	0,23	0,17	10,7
Gafsa	16,2	0,12	0,07	8,7
Tozeur	9,6	0,07	0,05	4,2
Kébili	8,4	-	-	4,2
Gabès	24,3	0,16	0,11	9,7
Médénine	16,9	0,11	0,08	7,1
Jerba	30,8	0,15	-	10,3
Ben Gardane	19,5	-	-	9,0
Tataouine	12,2	-	-	6,3

**Tableau 10 Valeurs de certains indices de sécheresse appliqués aux données climatiques de quelques stations de la Tunisie présaharienne.**

Stations	Ix(Bagnouls et Gaussen) (nombre de jours secs)	P ETP (Thornthwaite) (mois secs)	P 2T (Bagnouls et Gaussen) (mois secs)	P 30 mm (Aubréville) (mois secs)
Sfax	-	11	11	11
Gafsa	298	11	12	12
Tozeur	336	12	12	12
Kébili	-	12	12	12
Gabès	266	11	12	12
Médénine	-	12	12	12
Jerba	190	10	11	10
Ben Gardane	-	12	12	12
Tataouine	-	12	12	12

fonction de la pluviométrie moyenne annuelle. Mais, en milieu aride la répartition de la pluviométrie est plus importante à considérer que le cumul annuel. Il est peu important à une végétation de recevoir une quantité quelconque de pluie par an si la répartition de cette pluviosité ne satisfait pas ses exigences saisonnières lesquelles sont en rapport avec son cycle biologique.

C'est en définitive la répartition de la pluie qui joue le rôle capital dans la dynamique, l'évolution, la continuité et la régénération de la végétation en milieu aride. C'est ce fait qui intéresse le plus notre étude. D'ailleurs, au terme de son article sur l'utilisation du quotient pluviométrique, Emberger (1945) conclut que sa formule est sujette à des rectifications et qu'il y aura lieu de tenir compte du nombre de jours de pluie. Il est donc plus utile de subdiviser les étages bioclimatiques arides et saharien en nuances en tenant compte de la

quantité d'eau précipitée, de sa répartition le long d'une année ou d'un cycle saisonnier et de sa variabilité.

Nous avons défini précédemment la pluviosité efficace comme la quantité d'eau minimale apte à activer la vie végétale.

En combinant ce critère à la variabilité de la pluviométrie, il est possible de caractériser la répartition pluviométrique dans les étages bioclimatiques méditerranéen aride et saharien. Ainsi, pour caractériser la répartition de la pluviométrie en rapport avec la dynamique de la végétation, nous proposons un indice de répartition annuelle de la pluviosité. Cet indice de la forme  $I_{rp}$  peut être défini comme suit:

$$I_{rp} = (MP_e \times 1/CV\%) \times 100$$

$MP_e$  = nombre de mois de l'année où la quantité de pluie est égale ou supérieur à la pluie efficace.

CV%: Coefficient de variation annuelle



**Tableau 11** Caractéristiques de la répartition de la pluviométrie en Tunisie présaharienne (valeurs du coefficient de variation, de nombre de mois à pluviosité efficace et de l'indice de répartition de la pluie).

	MPe	CV (%)	Irp
Sidi Bouzid	9	52	17,3
Gafsa	6	45	13,1
Sfax	8	38	21,0
Tozeur	3	45	6,6
Kébili	3	55	5,4
Gabès	7	51	13,7
Jerba	7	52	13,4
Zarzis	7	56	12,5
Médenine	6	54	11,0
Ben Gardane	6	52	11,5
Tataouine	4	51	6,0

des précipitations. Reste à déterminer de façon précise la pluviosité efficace. La réponse des plantes aux précipitations diffère en fonction de leurs exigences hydriques. Mais, d'après nos observations on conçoit qu'une pluviosité efficace doit se situer entre 15 et 20 mm/mois. En dessous de cette limite la pluie n'a aucune incidence sur la végétation.

Le **tableau 11** donne les valeurs de cet indice pour 10 stations de la Tunisie présaharienne.

A la base des ces données, les nuances peuvent être définies comme suit:

Irp > 20: La répartition est très favorable à la végétation.

15 Irp 20: La répartition est favorable à la végétation.

10 Irp 15: La répartition est peu favorable ou sans incidence négative sur la végétation.

Irp 10: La répartition est défavorable à la végétation.

## Références bibliographiques

- Aubréville A., 1949, *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Société d'éditions géographique, Maritime et Coloniale, Paris, 350 p.
- Aussenac G., 1972, Etude de l'évapotranspiration réelle de quatre peuplements forestiers dans l'Est de la France. *Ann. Sci. Forest.*, 29 (3), 369-389.
- Bagnouls F., Gaussen H., 1953, *Saison sèche et indice xérothermique*. Docum. Carte prod. Végét., 8, 47 p.
- Bagnouls F., Gaussen H., 1957, Les climats biologiques et leur classification. *Annales de géog.*, 66, 193-220.
- Ben Dakhli F., 1995, Caractéristiques générales du climat de la Tunisie, p. 63-90, in Nabli et al., *Essai de Synthèse sur la végétation et la phytécologie tunisiennes, II et III, le milieu physique et la végétation, écologie végétale appliquée*, Tunis, 542 p.
- Budyko M.I., 1974, *climate and life*. Acad. Press., N.Y., 608 p.
- Dagnelie P., 1973, *Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques, Vol 1, la statistique descriptive et les fondements de l'inférence statistique*, Presses Agronomiques de Gembloux, 378 p.
- De Martone E., 1926, L'indice d'aridité. *Bull. Ass. Geog. France*, n. 8.
- De Villelé O., 1965, Cinq années d'expérimenta-

- tion sur les besoins en eau des cultures. *Bull. Tech. Inst. Nat. Rech. Agr. de Tunis.*, n 11.
- Despois J., 1955, *La Tunisie Orientale. Sabel et basses steppes*. PUF, Paris, 554 p.
- El Hamrouni A., 1994, Végétation forestière et préforestière de la Tunisie. Typologie et éléments pour la gestion. *Revue des régions arides*, 6/94, 1-299.
- Emberger L., 1945, 1954, Une classification biologique des climats. *Recueil des trav. de lab. de bot. Géol. et Zool. Serie bot.*, Fasc. 7, 3-43. Article discuté en 1954 au Congrès international de Botanique de Paris.
- Emberger L., 1971, *Travaux de Botanique et d'Ecologie*. Masson et Cie. Paris, 520 p.
- Ferchichi A. et Neffati M., 1992, Essai de resemis d'espèces pastorales autochtones en Tunisie centrale. *Ecologia mediterranea*, XVIII, 25-30.
- Ferchichi A., Neffati M. & Le Floc'h E., 1991, Comportement comparé d'espèces pastorales de diverses provenances de la zone aride tunisienne installées en pastoretum, p. 364-367, in C.C.I.R.A.D., *Proceeding of the IV<sup>th</sup> Internat. Rangeland Congress*, Montpellier-France.
- Floret Ch. et Pontanier R., 1982, *L'aridité en Tunisie présaharienne. Climat, sol, végétation et aménagement*. Travaux et documents de l'Orstom, n. 150, 544 p.
- Gerbier N. et Brochet P., 1975, L'évapotranspiration. Monographie de la météorologie, 65.
- Giacobbé A., 1949, *Le basi concrete par una classificazione ecologica della vegetazione italiana*. Forlì, 188 p.
- Giacobbé A., 1959, Nouvelles recherches écologiques sur l'aridité dans les pays de la Méditerranée Occidentale. *Naturalia Monspeliensis, Serie Bot.*, 2, 7-24.
- Hammami O., 1990, Variation de l'évapotranspiration potentielle. Bilan de l'eau climatique et agroclimatique en Tunisie. *La Meteorologie*, 32, 6-13.
- Le Houérou H.N., 1959, *Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale*. Inst. de Rech. Sah. Alger, 510 p.
- Le Houérou H.N., 1969, La végétation de la Tunisie steppique (avec référence aux végétations analogues d'Algérie de Lybie et du Maroc). *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie*, 42(5), 1-624 et 1 carte couleur 1/500.000.
- M'hirit O., 1982, Etude écologique et forestière des cédraies du Rif Marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytécologie et de la productivité du cèdre. *Annales de la Recherche Forestière au Maroc*, 22, 1-502.
- Marty J.R., 1970, Les méthodes d'évaluation du bilan de l'eau en agriculture. *Bull. Ass. Scien. Sol.*, (1), 31-39 et (2), 3-17.
- Peguy Ch. P., 1970, *Précis de climatologie*. Masson et Cie, Paris, 468 p. (2<sup>ème</sup> édit.).
- Penman H.L., 1948, Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London, Serie A*, 193, 120-145.
- Sagetta H., 1935, Terminologie climatique et microclimatologique. *La Meteorologie*.
- Seguin B., 1975, Etude comparée des méthodes d'estimation d'ETP en climat méditerranéen du Sud de la France (Région d'Avignon). *Ann. Agron.*, 28 (6), 671-691.
- Thornthwaite C.W., 1931, The climates of North America according to a new classification. *The Geog. Rev.*, 21.
- Thornthwaite C.W., 1944, Report of the committee on transpiration and evaporation. *Trans. Am. Geoph. Union*, Vol 25, V, 683-693.
- Thornthwaite C.W., 1948, An approach toward a rational classification of climate. *The Geog. Rev.*, 38, 55-94.
- Transeau E., 1905, Forest centers of Eastern America. *The Am. Natural.*, 39.
- Turc L., 1961, Evolution des besoins en eau d'irrigation. Evapotranspiration potentielle formule climatique simplifiée et mise à jour. *Ann. Agr.*, 12 (13), 13-49.
- Zaafouri M.S., 1993, *Contraintes du milieu et réponses de quelques espèces arbustives exotiques introduites en Tunisie présaharienne*.
- IRA Médenine, Orstom Paris, Cepe Montpellier, 200 p.