

## LE BIOCLIMAT MEDITERRANEEN: ANALYSE DES FORMES CLIMATIQUES PAR LE SYSTEME D'EMBERGER\*

Philippe DAGET\*\*

Département d'Ecologie Générale C.N.R.S.-C.E.P.E L. Emberger, Boîte Postale 5051, F 34033 Montpellier, France

**Mots-clef (Keywords):** Etage bioclimatique (Bioclimatic stage), Forme climatique (Climatic form), Méditerranéen (Mediterranean), Quotient pluviothermique (Pluviothermic quotient), Système d'Emberger (Emberger system).

### Introduction

Dans une première partie (Daget 1977b), nous avons souligné que l'extension du bioclimat méditerranéen devait être analysée à partir de ses traits essentiels, liés à la circulation générale: régime de précipitations typique, caractérisé par un minimum pendant la période de jours longs, et sécheresse estivale suffisante. C'est à partir de ces deux points qu'a pu être délimité l'aire isoclimatique méditerranéenne (A.I.M.), tant autour de la mer méditerranée que dans le reste du monde. Divers modes de caractérisation des unités climatiques qui constituent l'A.I.M. ont été présentés et discutés.

Nous envisagerons dans cette seconde partie, un système de caractérisation plus particulièrement adapté à l'espace méditerranéen. Ce système, construit dans une optique résolument phytogéographique, est dû à Emberger et aux chercheurs de son Ecole qui, poursuivant ses travaux, l'ont prolongée et continuent de la travailler.

### La méthode de caractérisation originelle

#### Le quotient d'Emberger

Dès l'origine de ses travaux, Emberger (1930a) a cherché une expression synthétique du climat méditerranéen

\* Nomenclature selon Sauvage et Vindt (1952).

\*\* L'auteur est reconnaissant au regretté Professeur Emberger de l'avoir accueilli dans son laboratoire et d'avoir longuement discuté avec lui des problèmes traités ici. Il remercie en outre, tout particulièrement les Professeurs Sauvage, Godron (Montpellier) et Van der Maarel (Nimègue), M. le Houérou (F.A.O.) et Long (C.N.R.S.) qui, tous, l'ont utilement conseillé et ont accepté de revoir le manuscrit.

capable de rendre compte de la sécheresse. Il est le mieux placé pour présenter un aperçu de la genèse de son coefficient (Emberger 1971b, p. 293 et 294).

On ne peut utiliser "dans ce système de caractérisation, que les données de la pluviosité et des températures, car ce sont les seules qui soient disponibles, mesurées dans tous les postes météorologiques.

"La vie végétale se déroule entre deux pôles thermiques, la moyenne des minimas du mois le plus froid ( $m$ ) et la moyenne des maximas du mois le plus chaud ( $M$ ): il en résulte qu'en première approximation, une station méditerranéenne est d'autant plus sèche que le rapport  $P/\frac{1}{2}(M+m)$  est plus petit.

"Cette moyenne des extrêmes ne fait pas figurer, dans le quotient, de quelle amplitude résulte la moyenne thermique. Pour y remédier, Emberger a introduit l'amplitude thermique extrême ( $M-m$ ). Le tableau suivant en montre l'intérêt.

	M	m	$\frac{M+m}{2}$	M-m
Ifrane (Maroc)	30,6°	-4,2°	17,4°	34,8°
Agadir (Maroc)	27,1°	+7,2°	17,15°	19,9°
Acireale (Italie)	29,7°	+5,2°	17,5°	24,5°

"L'introduction de ( $M-m$ ) a aussi l'avantage de faire intervenir, dans le quotient, le degré de continentalité et l'humidité atmosphérique, donc l'évaporation, ce qui corrige sa signification indicatrice. Le quotient pluviothermique devient ainsi:

$$\frac{P}{\frac{M+m}{2}(M-m)} \quad (1)$$



Sur un tel climagramme, les images de deux stations sont d'autant plus proches que leurs climats sont plus semblables. Les limites tracées ne doivent pas être comprises de manière rigoriste, mais comme des démarcations dans un continuum. C'est ainsi que, sous bien des aspects, le bioclimat d'Izmir sera plus proche de celui de Jérusalem que de celui de Nice, bien qu'Izmir et Nice soient toutes deux dans l'étage sub-humide, tandis que Jérusalem est dans l'étage semi-aride.

Les étages bioclimatiques de végétation retenus sont les suivants:

- étage saharien (ou mieux per-aride)
- étage aride
- étage semi-aride (ou mieux sub-aride)
- étage sub-humide
- étage humide (quelquefois appelé humide inférieur)
- étage per-humide (quelquefois appelé humide supérieur)

Le tableau 1 reprend les exemples cités précédemment (notons que pour ce tableau, nous entendons par semi-aride moyen "dans la partie moyenne de la zone semi-aride du climagramme"). Pour Punta Orchilla, il faudrait prolonger nettement la figure 1 sur la droite. Le tableau présente aussi quelques variantes thermiques.

Tableau 1. Classification bioclimatique des stations de référence/Bioclimatic classification of the reference stations

Station	$Q_2$	m	Etage bioclimatique	Variant
Sébastopol	40	-1.1	semi-aride moyen	froid
Almería	35	8.3	aride moyen	chaud
Punta Orchilla	38	15.0	per-aride supérieur	très chaud
Ifrane	109	-5.0	humide moyen	très froid
Palerme	108	8.3	sub-humide moyen	chaud
Orotava	113	12.2	semi-aride supérieur	très chaud
Bragance	171	-0.6	per-humide	froid
Durrës	165	5.6	humide supérieur	tempéré
Wind-hill	167	10.0	sub-humide supérieur	chaud

Les cartes publiées par Sauvage (1963b) et Sabetti (1969) représentent la distribution géographique des étages bioclimatiques de végétation et leurs variantes au Maroc et en Iran.

Les divers types climatiques ne sont pas tous représentés dans tous les pays de l'aire isoclimatique méditerranéenne comme c'est le cas au Maroc. Certains d'entre eux ne présentent qu'une partie de la gamme; ce sont, soit essentiellement des types arides, et c'est le cas du Sud-Ouest Africain ou de l'Egypte, soit des types humides, et c'est le cas de l'Albanie ou de la France. Le tableau 2 montre les divers types climatiques rencontrés dans chaque pays.

Tableau 2. Etages bioclimatiques de végétation dans le monde/Bioclimatic stages of vegetation in the world (d'après/after Emberger 1958, 1971a, complété/completed)

Régions et pays	Etages bioclimatiques de végétation					
	saharien	aride	semi-aride	sub-humide	humide	per-humide
Sud de l'Afrique						
Province du Cap	x	x	x	x	x	x
S.W. Africain	x	x	0	0	0	0
Australie	0	x	x	x	x	x
Chili	x	x	x	x	x	x
Etats-Unis	x	x	x	x	x	x
Europe du S.W.						
Portugal	0	0	x	x	x	x
Espagne	0	x	x	x	x	0
France	0	0	?	x	x	0
Italie	0	0	x	x	x	x
Europe du S.E.						
Yougoslavie	0	0	?	x	x	?
Albanie	0	0	0	x	x	?
Grèce	0	0	x	x	x	x
Proche-Orient						
Turquie	0	x	x	x	x	0
Syrie	x	x	x	x	x	0
Liban	0	0	x	x	x	?
Israël	x	x	x	x	x	?
Irak	x	x	x	x	x	?
Jordanie	x	x	x	x	0	0
Arabie	x	x	?	0	0	0
Moyen-Orient						
Egypte	x	x	?	0	0	0
Libye	x	x	x	x	0	0
Tunisie	x	x	x	x	x	x
Algérie	x	x	x	x	x	?
Maroc	x	x	x	x	x	x
Canaries	x	x	x	x	0	0

#### Variante thermiques

Si la prise en considération de la moyenne des minimums du mois le plus froid  $m$  permet, sur le climagramme, de bien séparer des bioclimats différents malgré la valeur égale de leur quotient pluviothermique, tels que ceux dont nous avons cité le cas, rapidement s'est fait sentir le besoin d'une expression synthétique des résultats obtenus. Emberger (1955) a donc progressivement proposé la

notion de *variante climatique thermique*, en distinguant, dans un premier stade, trois situations caractérisées par “un  $m$  nettement positif, un  $m$  nettement négatif et un  $m$  voisin de zéro”. Puis, sous l’influence de ses élèves, il adopte (1966) des valeurs discriminantes précises auxquelles correspondent les variantes thermiques suivantes:

- variante à hivers chauds  $7 < m$
- variante à hivers tempérés  $3 < m < 7$
- variante à hivers frais  $0 < m < 3$
- variante à hivers froids  $-10 < m < 0$
- variante à hivers très froids  $m < -10$

L’examen du détail des températures mensuelles observées permet de constater que dans la première variante ( $m > 7$ ), il n’y a pas de gel au cours de l’hiver, que dans la troisième ( $3 < m < 7$ ), les gelées sont faibles mais régulières, qu’elles sont fréquentes lorsque  $m$  est compris entre 0 et 3; enfin, elles sont très fréquentes lorsque  $m$  est inférieur à zéro (Le Houérou 1960, 1974a, Emberger 1971a).

#### Résultats phytoécologiques

L’emploi du climagramme d’Emberger, tel qu’il vient d’être décrit, a permis de comprendre la distribution de divers types de végétation spontanée (figure 2); c’est ainsi

que les associations du climax *Thuya* sont cantonnées dans l’étage semi-aride, variante fraîche tempérée et chaude. Celles du Chêne-vert (*Quercus ilex*) et du climax Oléastre-Lentisque s’étendent des confins de l’aride à ceux du per-humide. L’extension climatique du Chêne-vert et du Lentisque (*Pistacia lentiscus*) est limitée approximativement par  $m = 5$ , qui constitue une limite supérieure pour le Chêne-vert et inférieure pour le Lentisque au Maroc.

Les forêts de Chêne-liège (*Quercus suber*) sont caractérisées, où qu’elles se trouvent, par la même espèce dominante; mais Sauvage (1961) a pu montrer que cette espèce était relativement plastique du point de vue climatique et qu’à chaque type de climat correspondaient des unités structurelles diverses, des associations caractéristiques (ibid, Emberger 1934 et Debazac 1959) et des fonctionnements écophysologiques différents (Lepoutre 1964) et que chacun d’eux était justiciable d’un traitement forestier adapté (Lepoutre 1964). On ne peut donc parler d’un “écosystème Chêne-liège” du bassin méditerranéen. Il en est de même pour les autres peuplements dominés par une espèce climatiquement plastique, telle que le Chêne vert ou le Pin d’Alep (*Pinus halepensis*) etc. D’autant plus que cette plasticité peut être l’indice d’une hétérogénéité

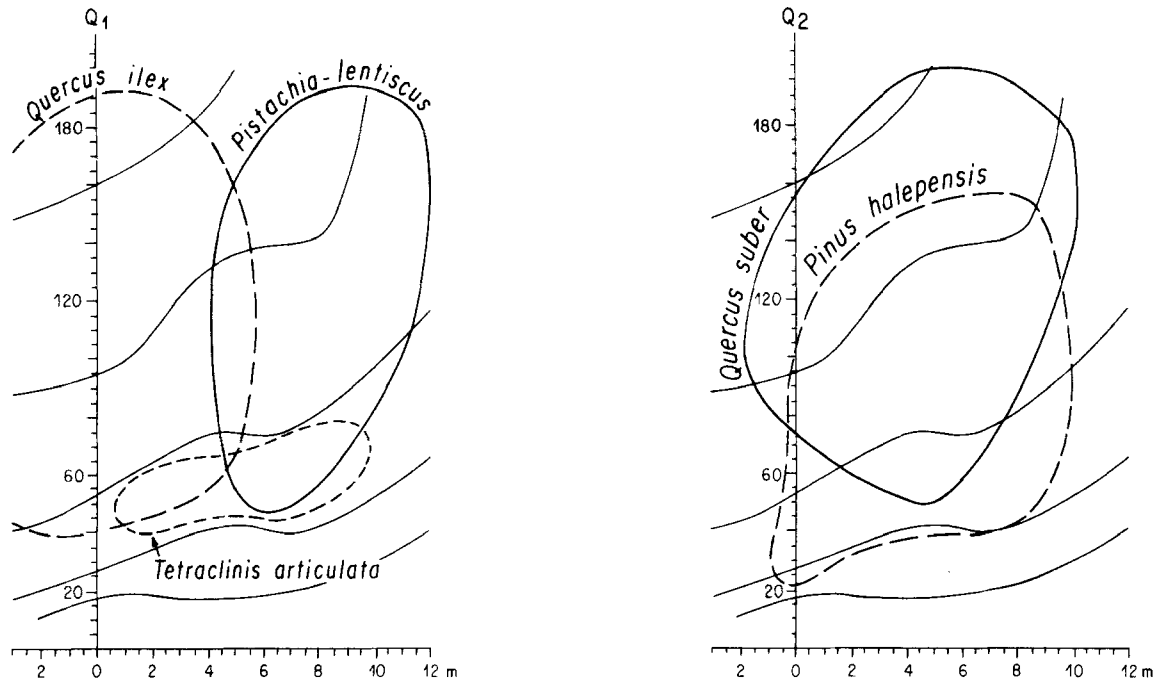


Fig. 2. Distribution climatique de quelques espèces méditerranéennes/Climatic distribution of some Mediterranean species (extrait de/from Le Houérou 1959, Sauvage 1961, Nahal 1962). Erratum: lire/read *Pistacia lentiscus*.

génétique de l'espèce, ainsi que Nahal (1962) l'a montré pour la dernière espèce citée.

De même, on a pu analyser de cette façon la distribution et l'écologie de certaines plantes médicinales (Pelecuer 1973) ou aromatiques (Passama 1967). Des applications identiques ont été faites pour analyser l'extension de divers modes de culture (Auriau 1957), ainsi que la répartition d'espèces et de variétés cultivées et leur rendement (Le Houérou 1959).

Des applications fructueuses de la méthode d'Emberger ont été faites dans bien d'autres domaines; en biologie, pour étudier la distribution des vecteurs de certaines maladies (Golvan et al. 1961, Croset 1969); en sciences de la terre, pour caractériser la répartition de certains types de sol (Emberger 1931, Le Houérou 1960, Despois & Raynal 1967) ou d'unités géomorphologiques (Despois & Raynal 1967, Maures 1968).

Enfin, c'est à l'analyse et au développement des ressources pastorales que la méthode d'Emberger (ou les méthodes dérivées qui seront examinées par la suite) ont été le plus souvent appliquées. Citons, parmi d'autres, les travaux de Ionesco au Maroc, de Long en Egypte et en Jordanie, de Thiault et de Gounot en Tunisie septentrionale, de Le Houérou en Tunisie méridionale et en Libye, de Djebaili en Algérie.

### Le concept d'étage

On a trop souvent réservé la notion d'étage de végétation aux régions montagneuses. On y voit un simple empilement vertical d'unités phytogéographiques (compte-tenu de l'influence des versants). Il faut voir l'étage bioclimatique de végétation comme une unité synthétique qui inclut à la fois la superposition altitudinale et la succession latitudinale, l'une compensant l'autre, dans une certaine mesure et sur un territoire relativement restreint (Emberger 1930b, 1936). La figure 3 montre, de manière schématique, cette double succession dans le cas de la Tunisie; elle est très comparable à celle que Cote (1974) a pu mettre en évidence dans l'Est algérien.

Trop fréquemment encore, le concept d'étage est réduit au seul facteur thermique, et le plus souvent par référence aux massifs alpins occidentaux. Ozenda (1975) a proposé une nomenclature originale, intéressante parce qu'elle est spécifiquement méditerranéenne, mais insuffisante parce qu'elle est uniquement thermique; les applications et exemples qu'il cite sont certes suggestifs, mais ne concernent que la zone humide de l'A.I.M.; leur application en zones arides et perarides laisserait entiers les problèmes posés par l'étage classique pour une perception globale de l'espace méditerranéen.

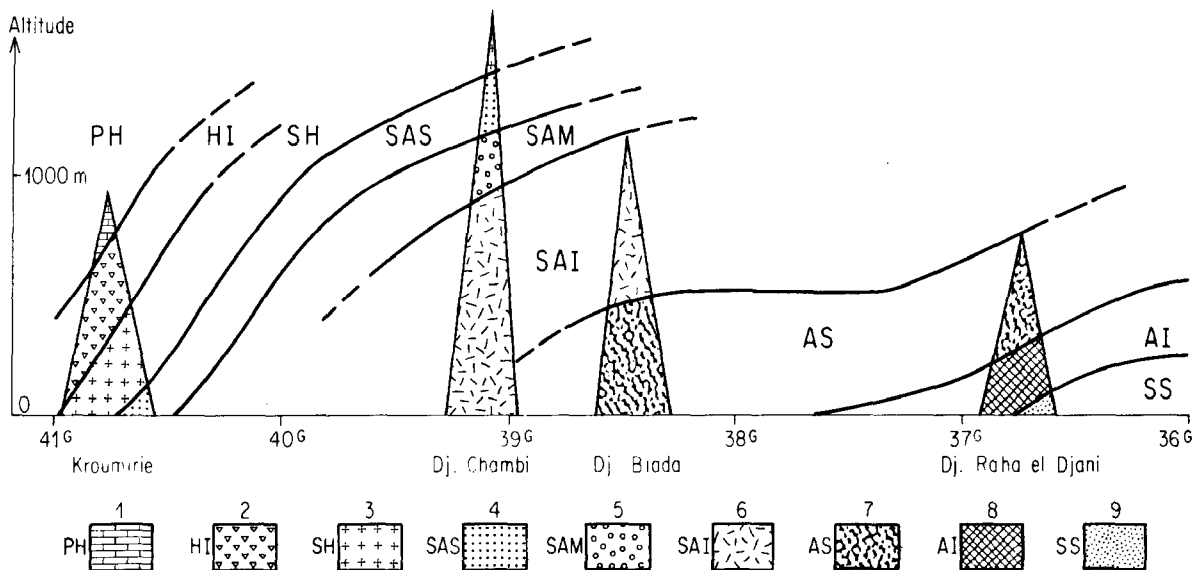


Fig. 3. Répartition schématique des étages bioclimatiques de végétation en Tunisie du Nord (transect N.S.) / Schematic repartition of the vegetation in North Tunisia (transect N.S.)  
 1. Perhumide/per-humid; 2. Humide inférieur/lower humid; 3. Sub-humide/Sub-humid; 4. Semi-aride supérieur/upper semi-arid; 5. Semi-aride moyen/medium semi-arid; 6. Semi-aride inférieur/lower semi-arid; 7. Aride supérieur/upper arid; 8. Aride inférieur/lower arid; 9. Saharien sup-erieur/upper Saharian.

### Les étages arides et climats désertiques

La définition qui a été donnée au climat méditerranéen, et qui a été rappelée dans l'introduction, ne porte que sur l'examen du régime des précipitations; elle est indépendante de la valeur absolue du module pluviométrique. C'est là l'originalité principale du système général d'Emberger. Il résulte de ce principe que toutes les formes climatiques désignées par les autres auteurs par des expressions comme "climat des steppes à précipitations hivernales" ou "climat érémitique à tendance xérothermique", "climat sub-désertique à tendance méditerranéenne" sont incluses ici dans le climat méditerranéen au sens strict. Mais ces discriminations ne sont pas perdues; elles se retrouvent sous la dénominations d'étages bioclimatique de végétation semi-aride, aride et per-aride (ou saharien). Des discussions peuvent subsister pour préciser le nombre et le niveau des discriminations à retenir, et nous y reviendrons.

Il reste qu'il est possible de trouver des climats extrêmement arides correspondant à de vrais déserts; ces climats particuliers sont caractérisés par la désorganisation des précipitations; l'intervalle entre deux pluies y est supérieur à un an, et, par conséquent le nombre moyen de jours de précipitations par an y est inférieur à 1; de plus, les précipitations peuvent survenir à n'importe quel moment de l'année. Meygs (1953) a présenté des cartes de répartition de ces types de climat qui sont très intéressantes quoique les zones "extrêmement arides" y soient un peu trop étendues (Ven Te Chow 1964).

### Méthodes de caractérisation dérivées

On a reproché à la méthode d'analyse d'Emberger d'être un système mis au point par un botaniste pour la botanique (Pedelaborde 1957). C'est d'ailleurs une erreur, puisqu'il s'agit d'étude de la végétation et non de la flore; mais cette critique traduit un souci de rationalité qui conduit les climatologues vers toujours plus d'abstraction.

Notons que beaucoup des systèmes de classification des climats ont été construits pour des études de végétation et dans une perspective écologique; c'est le cas des méthodes de Köppen, de Thornthwaite, de Bagnouls et Gaussen, de Troll, d'Aubréville, etc. Cependant, ces auteurs ont tous été conduits à faire évoluer leur mode d'approche du climat en s'éloignant des questions purement écologiques. La dérive vers l'abstraction peut être rapide (Aubréville l'effectue dans l'ouvrage même où il

propose la classification écologique) ou tardive (Thornthwaite l'effectue 18 ans après sa première proposition). Dans le cas de la méthode de classification des climats méditerranéens d'Emberger, cette dérive est le fait de ses élèves et de ses successeurs.

### Principes suivis

#### Les étages bioclimatiques

La succession décrite des étages bioclimatiques de végétation est telle que, dans certaines régions, les nuances qu'elle permet d'effectuer sont insuffisantes; aussi un redécoupage du climagramme a-t-il été suggéré. Cependant les dénominations originelles ont été conservées de

Tableau 3. Etages bioclimatiques de végétation, selon la méthode originelle et le méthode dérivée/Bioclimatic vegetation stages according to original and derived methods

Méthode originelle	Méthode dérivée
Per-humide	Humide supérieur
Humide	Humide inférieur
	(Sub-humide supérieur*)
Sub-humide	(Sub-humide moyen
	(Sub-humide inférieur
Semi-aride	(Semi-aride supérieur**
	(Semi-aride inférieur
Aride	(Aride supérieur
	(Aride inférieur
	(Saharien supérieur
Saharien	(Saharien inférieur
	(Eu-saharien***

\* Subdivision utilisée seulement par Nahal (1962).

\*\* Ce dernier a été à son tour subdivisé en deux dans certaines études (Bortoli et al. 1969), cela donne donc dans ce cas:

(Semi-aride supérieur  
Semi-aride (Semi-aride moyen  
(Semi-aride inférieur

\*\*\* Subdivision propre à Le Houérou (1969).

Comme il est un peu malencontreux de réserver le terme de Eu-saharien à une partie seulement du vrai sahara tel que le délimitent Dubief (1959), Barry et al. (1974), Quézel (1964), nous préférons employer le terme de per-aride avec trois sous-étages:

	Saharien supérieur	Per-aride supérieur
Saharien	Saharien inférieur	Per-aride moyen
	Eu-saharien	Per-aride inférieur

manière à assurer une compatibilité évidente entre les deux nomenclatures. Pour cela, chaque étage au sens d'Emberger a été subdivisé en deux ou trois parties (Le Houérou 1958, 1959, Gounot 1958) parfois appelées improprement "sous étage", ce qui donne le tableau 3 ci-dessus.

#### Délimitation des étages

Le climagramme originel d'Emberger (1930a), aussi bien que celui qui a été revu par Sauvage (1961), comporte des délimitations d'étage établies après étude de la végétation et qui sont fortement sinueuses (figure 1). L'un des premiers aspects des méthodes dérivées, et peut-être le plus apparent, est le lissage de ces limites (figure 4); il faut cependant noter que les auteurs qui l'ont effectué (Le Houérou 1958, 1959, Gounot 1958) ont opéré comme si cela allait de soi et ne s'en sont pas expliqué.

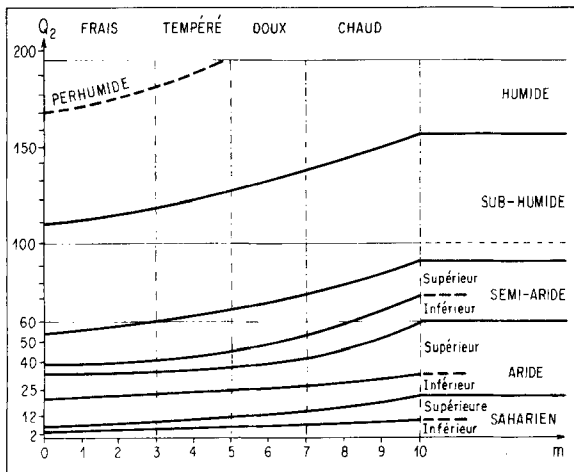


Fig. 4. Climagramme pluviothermique modifié (échelle arithmétique)/Modified pluviothermic climagramme (arithmetic scale) (extrait de/from Le Houérou 1959).

Par contre, ils ont senti, quoique tardivement (Bortoli et al. 1969), qu'ainsi une disjonction climat - végétation était réalisée de facto: "nous avons proposé de dissocier dans une certaine mesure les notions d'étage de végétation et d'étage bioclimatique". La méthode, d'écologique qu'elle était, devient purement climatologique. Même si, a posteriori, de nombreuses convergences peuvent être établies avec les études floristiques ou phytosociologiques (Le Houérou 1959, 1969, Gounot 1958, C.E.P.E. 1967)).

Les tracés des limites ainsi régularisées permet une extrapolation vers les valeurs très faibles de  $m$  (Akman et al. 1971) que l'on rencontre dans les régions montagneuses d'Asie Mineure et dans les territoires les

plus orientaux de l'aire isoclimatique méditerranéenne (que Walter (1968) classe dans un type particulier: les semi-déserts froids.

Mais, par ailleurs, on constate facilement (figure 4) que les aires du climagramme correspondant aux divers étages sont d'autant plus réduites que l'aridité y est plus grande; or, les territoires soumis aux climats ainsi traduits sont de plus en plus vastes. Cela conduit, par souci de commodité dans l'emploi du climagramme, à proposer une échelle logarithmique pour axe des  $Q_2$  (Akman et al. 1971); alors que l'échelle arithmétique permet de souligner les nuances des climats relativement humides, l'échelle logarithmique met en valeur les nuances des climats arides (figure 5); les délimitations qu'il comporte, légèrement différentes de celles qui sont retenues sur la figure 4 et en Akman et al. 1974, ont été confirmées par les travaux du professeur Louay et de son équipe (com. pers.).

A partir de 1969, Le Houérou suggère l'emploi d'un climagramme plus simple, dans lequel les limites des étages

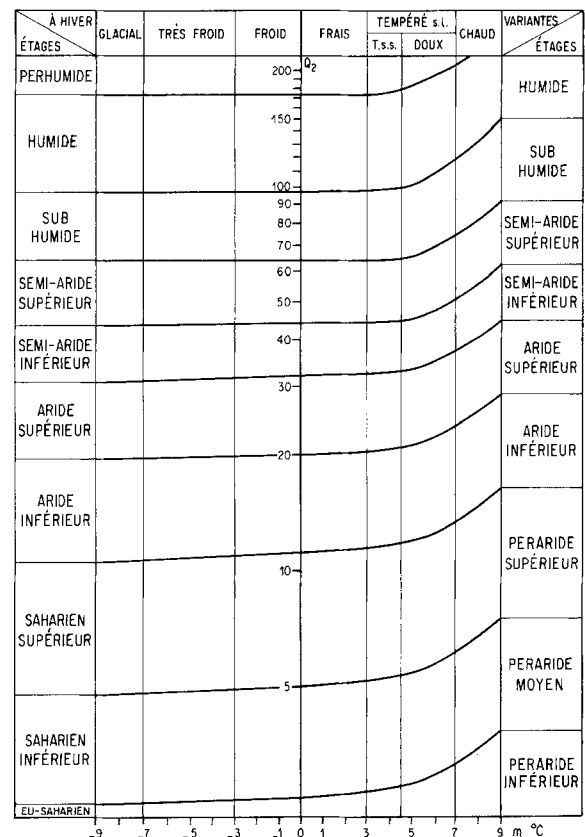


Fig. 5. Climagramme pluviothermique modifié (échelle logarithmique)/Modified pluviothermic climagramme (logarithmic scale) (extrait de/from Akman et al. 1971).

sont horizontales (c'est-à-dire parallèles aux abscisses). En effet, dit-il, les valeurs élevées de la température minimale  $m$  ne se trouvent guère qu'en région littorale, où l'humidité relative de l'air est plus élevée, ce qui entraîne une réduction relative de l'évapotranspiration, et où les maximums journaliers sont plus faibles qu'à l'intérieur des continents, ce qui contribue encore à diminuer l'ETP et donc l'aridité relative (Le Houérou 1969, 1974a, b). Cela reste un point controversé entre les divers biogéographes et écologues; Birot et al. (1964), Sauvage (1961), Gounot (in C.E.P.E. 1967) ne partagent pas ce point de vue.

Beaucoup de pédologues ont adopté des limites entre classes d'aridité croissant, à pluviosité égale, avec la température (Gèze 1959; Voloboyev, in Buntig 1965).

A la même époque, Le Houérou, suivi par Stewart (1975), remplace l'indication du coefficient pluviothermique d'Emberger par celle du module pluviométrique sur la base d'une proportionnalité entre ces deux paramètres climatiques:  $Q_2 = kP$ ; la correspondance utilisée est la suivante, avec  $P$  en mm/an:

$Q_2$	10	45	70	110	150
$P$	100	400	600	800	1200

Correspondance qui n'est valable que dans les régions où l'ETP varie relativement peu sur un vaste territoire. Si donc elle peut permettre d'effectuer des comparaisons dans le Nord de l'Afrique, où elle a été établie, cette correspondance ne peut pas permettre de confrontations entre le Nord et le Sud de la méditerranée (Le Houérou 1974a), et à plus forte raison entre l'Est et l'Ouest. On comprend que dans ces conditions la proposition n'ait pas rencontré d'accord unanime.

#### Les variantes thermiques

Les variantes thermiques retenues par Emberger n'ont pas toujours été jugées suffisantes. C'est ainsi que Long (1957) crée une subdivision supplémentaire à  $m = 10$ , séparant ainsi les hivers très chauds ( $m > 10$ ) des hivers chauds ( $7 < m < 10$ ). La variante à hivers tempérés d'Emberger ( $3 < m < 7$ ) a été subdivisée, elle aussi, en deux, ce qui donne une variante tempérée, la plus fraîche, et une variante douce, la plus chaude; la valeur de  $m$  qui permet la discrimination entre ces deux nouvelles variantes n'est pas toujours la même; on rencontre:

- $m = 4,5$  C.E.P.E. 1967, Bortoli et al. (1969)
- $m = 5$  Le Houérou (1958), Gounot (1958)
- $m = 5,5$  Le Houérou (1969)

De même, la limite entre les variantes à hivers tempérés et à hivers froids est placée par certains auteurs à  $m = +1$  (Le Houérou 1969) au lieu de  $m = 0$  dans le système original d'Emberger.

Enfin, on rencontre, dans quelques études, la notion de sous-variante d'altitude (C.E.P.E. 1967, Bortoli 1969) dans les variantes tempérée et fraîche; elle est réalisée lorsque la moyenne des maximums du mois le plus froid est inférieure à  $10^\circ\text{C}$  (Moyenne que ces auteurs représentent par le symbole  $M'$ ; ce qui entraîne un risque de confusion avec d'autres travaux où  $M'$  désigne la moyenne des minimums du mois le plus chaud. Nous préférons écrire  $M_{min}$  dans le premier cas et  $m_{max}$  dans le second.) Il semble d'ailleurs que la prise en considération de la continentalité thermique telle qu'elle a été exposée (Daget 1977) mais transposée à l'échelle du mésoclimat remplacerait avantageusement cette notion de sous-variante insuffisamment nuancée.

A l'origine, Emberger rassemblait en une variante froide tous les bioclimats caractérisés par une valeur négative de  $m$ , distinguant cependant les cas où  $m$  est "très faible", qu'il rassemblait en une grande unité, l'étage de haute montagne (1930a). De fait, il en est bien ainsi dans tout le Maghreb. Cependant, cette prise de position engendre des difficultés pour l'analyse des bioclimats méditerranéens asiatiques. Emberger s'en détache donc progressivement et précise, en 1955, "qu'il ne s'agit que de variétés très froides des autres climats"; toutefois, la limite est placée tantôt à  $m = -3^\circ$ , tantôt à  $m = -10^\circ$ .

Nous avons, à l'occasion d'une étude sur les climats de la Turquie, où ces climats froids sont particulièrement représentés, poursuivi la démarche intellectuelle d'Emberger en supprimant la notion d'étage de haute montagne, et en retenant des variantes froide de  $0$  à  $-3^\circ$ , très froide de  $-3$  à  $-7^\circ$ , et glaciale en dessous de  $-7^\circ$  (Akman et al. 1971). Le Houérou (1971, 1972) retient  $-2$  et  $-5^\circ$  comme limite de ces variantes.

#### Comparaison des subdivisions utilisées

Il est apparu un certain nombre de divergences entre auteurs sur la situation exacte des limites entre étages ou entre variantes climatiques sur le climagramme d'Emberger. Le tableau de la figure 6 permet la comparaison entre les propositions originelles d'Emberger, retenues par Sauvage (1961, 1963) avec les versions dérivées successives de Gounot (1958) et de Le Houérou (1958, 1974) pour la valeur  $m = 0$ . De même, le schéma de la figure 7 permet de confronter les subdivisions en variantes utilisées par diverses branches de l'école d'Emberger. Ces



Q <sub>2</sub>	Méthode originelle	Méthodes dérivées			Q <sub>2</sub>
		Version GOUNOT 1958	Version LE HOUÉROU 1958-1969	Version LE HOUÉROU 1974	
200	HUMIDE	HUMIDE SUPÉRIEUR	HUMIDE	PERHUMIDE	200
		HUMIDE INFÉRIEUR		HUMIDE	
100	SUB-HUMIDE	SUB-HUMIDE	SUB-HUMIDE	SUB-HUMIDE	100
70					SEMI-ARIDE
50	ARIDE	SEMI-ARIDE SUPÉRIEUR	SEMI-ARIDE INFÉRIEUR	ARIDE SUPÉRIEUR	50
30		SEMI-ARIDE INFÉRIEUR	ARIDE SUPÉRIEUR		ARIDE SUPÉRIEUR
20	SAHARIEN	ARIDE SUPÉRIEUR	ARIDE INFÉRIEUR	ARIDE INFÉRIEUR	20
10		ARIDE INFÉRIEUR	SAHARIEN SUPÉRIEUR	SAHARIEN	10
7		SAHARIEN SUPÉRIEUR	SAHARIEN INFÉRIEUR		7
5		SAHARIEN INFÉRIEUR	EU-SAHARIEN	EU-SAHARIEN	5
3					3
2					2

Fig. 6. Comparaison des limites d'étages pour  $m = 0^{\circ}\text{C}$  entre la méthode originelle et les méthodes dérivées/ Comparison of the limits of the stages for  $m = 0^{\circ}\text{C}$  between the original method and derived ones.

deux figures montrent que les différences apparentes masquent à peine une réelle harmonie de conception. Nous pensons même que ces divergences deviennent tout à fait négligeables si l'on veut bien se souvenir qu'il s'agit ici de manipulations effectuées sur des moyennes d'éléments très fluctuants et de ce que, en dehors des grandes stations officielles, la météorologie climatique est encore trop souvent bien imprécise!

### Résultats

Les résultats obtenus par l'emploi des méthodes dérivées sont de même nature que ceux auxquels conduit l'emploi de la méthode originelle.

Ces méthodes ont servi de base à la cartographie d'unités climatiques au 1/200 000 en Tunisie (Le Houérou & Gounot, in Le Houérou 1959), puis sur l'ensemble Tunisie-Libye du N. - W. (Le Houérou in Thiault 1963); elles servent de base à l'étude des groupements végétaux de la

LE HOUÉROU 1971 - 1972	m°C	SAUVAGE, 1960 complété AKMAN et al., 1971
	-10	
	-9	
	-8	
	-7	
	-6	
	-5	très froid
	-4	
	-3	
	-2	froid
	-1	
	0	
	1	frais
	2	
	3	tempéré
	4	
	5	doux
	6	
	7	chaud
	8	
	9	chaud
	10	
	11	très chaud
	12	

Fig. 7. Comparaison des limites des variantes entre les diverses méthodes dérivées/ Comparison of the limits of the variants for the different types of derived methods.

Turquie entreprise par l'Université d'Ankara sous la direction d'Akman (1963, 1973, 1974).

A grande échelle, elles ont servi de cadre à la cartographie phyto-écologique de la Tunisie du Nord (C.E.P.E. 1967) et de la Tunisie du Sud (Le Houérou 1959, 1967); la figure 8 représente une forte réduction simplifiée d'un document original au 1/500 000. La comparaison de cette carte avec les documents cartographiques réalisés à plus grande échelle permet de mettre en évidence des divergences; certains territoires classés dans un étage sur une carte figurent dans un autre étage sur une autre. Gounot (1958) et surtout Bortoli et al. (1969) ont bien montré que ce n'était

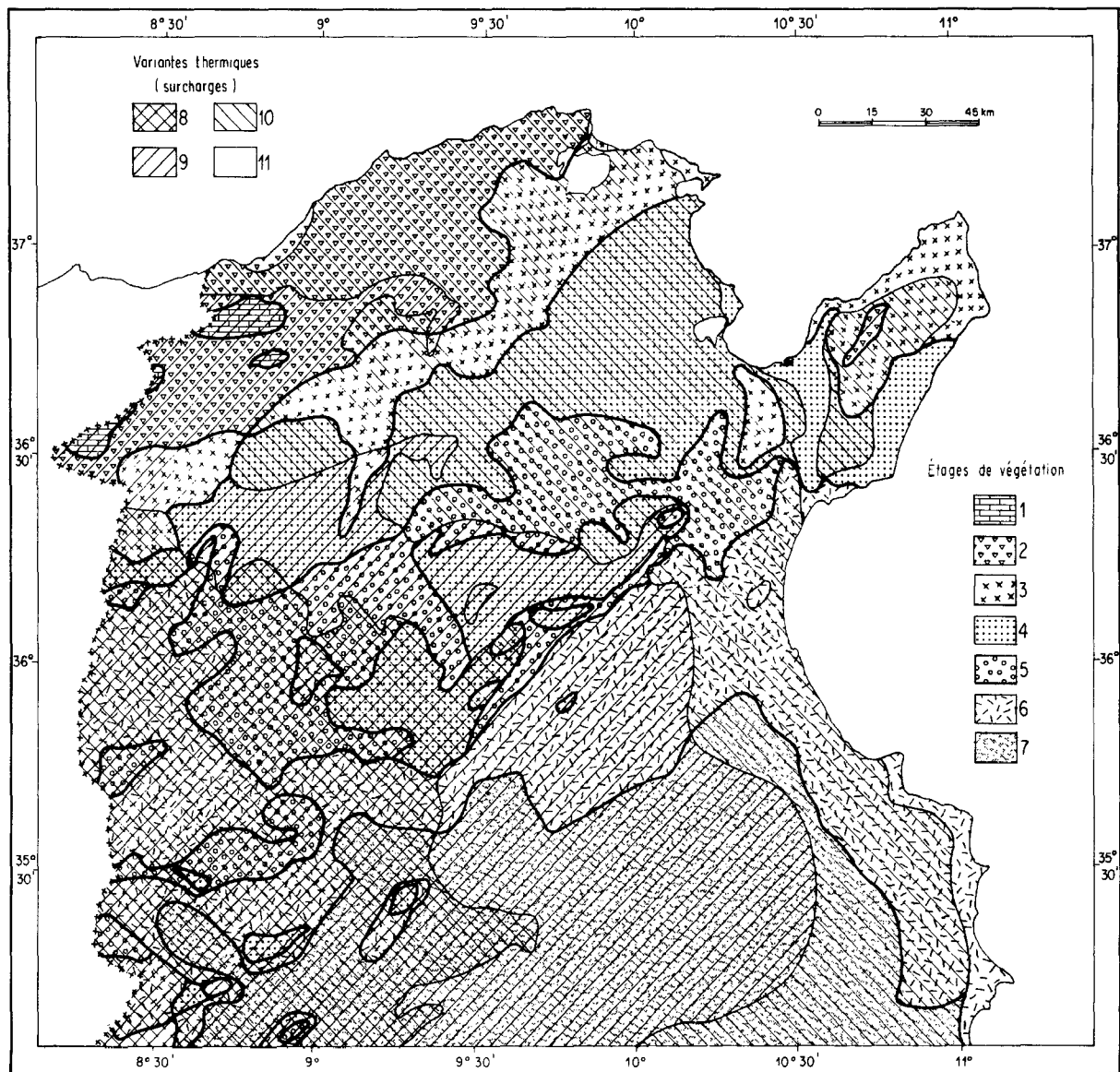


Fig. 8. Carte des étages bioclimatiques de végétation et de leurs variantes en Tunisie septentrionale (réduction simplifiée d'un original au 1/500.000 de Bortoli et al. 1969)/Bioclimatic stages of vegetation and their variants in North Tunisia (simplified reduction of an original at 1/500,000 from Bortoli et al. 1969).

1. Perhumide/per-humid; 2. Humide inférieur/lower humid; 3. Sub-humide/sub-humid; 4. Semi-aride supérieur/upper semi-arid; 5. Semi-aride moyen/medium semi-arid; 6. Semi-aride inférieur/lower semi-arid; 7. Aride supérieur/upper arid; 8. Frais/cool; 9. Tempéré/temperate; 10. Doux/mild; 11. Chaud/hot.

qu'une apparence d'anomalie due au phénomène de remplacement de facteurs.

On voit par exemple que les régions situées près de la côte Nord du territoire, notamment la presqu'île du Cap Bon, sont classées dans l'étage sub-humide

inférieur. Or, ces mêmes territoires sont placés dans le semi-aride supérieur à plus grande échelle (figure 9). Il s'agit là d'unités de végétation se développant sur un manteau dunaire sableux, et donc filtrant et plus sec que les formations géopédologiques voisines.

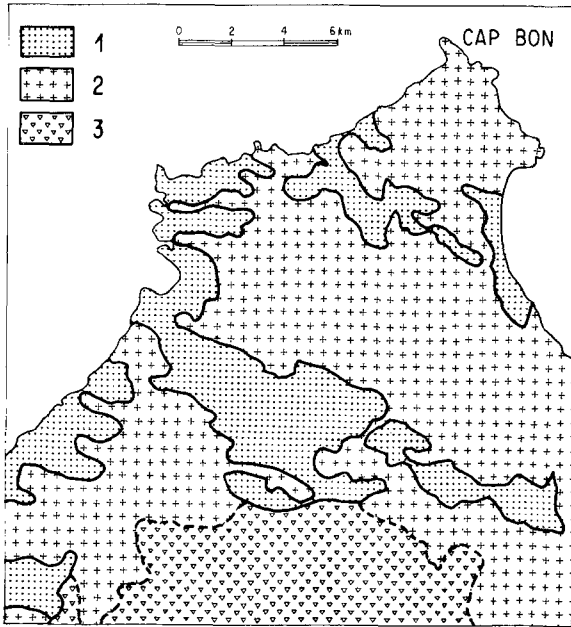


Fig. 9. Etages de végétation et variantes dans la région du Cap bon (extrait du C.E.P.E. 1967, au 1/200.000)/ Bioclimatic stages of vegetation and their variants in Cap bon region (from C.E.P.E. 1967, at 1/200.000). Voir légende de la figure 8/See legend Fig. 8.

Certaines espèces sont localisées à un étage de végétation, telle *Artemisia campestris* dans le semi-aride inférieur, d'autres le sont dans une variante. La figure 10 présente quelques-unes de ces espèces d'après Bortoli et al. (1969), mais Gounot (1958), Le Houérou (1959, 1969, et al. 1975) et C.E.P.E. (1967) en donnent de très nombreux exemples dont ils analysent les nuances et les variations climatiques ou édaphiques.

### Quotient d'Emberger et évaporation

#### Approche physique

Les rapports entre le quotient pluviothermique d'Emberger et le phénomène physique de l'évaporation ont été étudiés en détail par Calvet (1964, 1965) auquel nous empruntons les raisonnements suivants. La diffusion  $D$  de la vapeur d'eau à travers la couche limite est donnée par la loi de FICK :

$$D = -D_v \frac{\Sigma de}{p dz} \quad (4)$$

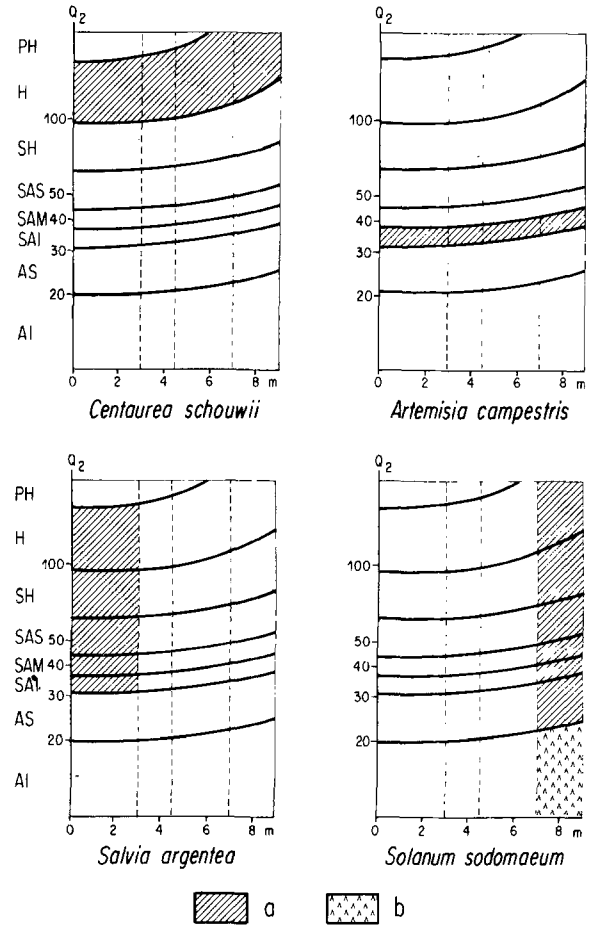


Fig. 10. Répartition climatique de quelques espèces en Tunisie septentrionale/climatic distribution of some species in North Tunisia :

a. Présence de l'espèce/Presence of the species;  
b. Forme climatique absente de la région/Climatic form missing in the region.  
(D'après/After Gounot, in: Bortoli 1969).

expression dans laquelle  $D_v$  est le coefficient de diffusion de la vapeur d'eau dans l'air,  $\Sigma$  la densité de la vapeur d'eau par rapport à l'air sec,  $p$  la pression supposée constante de même que la température dans la couche limite;  $de/dz$  est le gradient vertical de tension de vapeur d'eau.

Notons que  $D_v$  est proportionnel à la température absolue; on a donc en intégrant (4) une mesure du flux de vapeur d'eau dans la couche limite, c'est-à-dire de l'évaporation  $E$ .

$$E = \alpha \frac{T C_0 - C_d}{p d} \quad (5)$$

où  $(C_0 - C_d)/d$  mesure le gradient vertical moyen dans la couche limite, en négligeant l'influence du vent. Si par ailleurs on applique  $E$  à une surface d'eau libre.  $C_0$  est la tension de vapeur saturante pour la température  $T$ , et la mesure du gradient reste proportionnel au seul déficit de saturation de l'air  $\Delta e$ . Dans ces conditions, on a :

$$E = \alpha \frac{T}{p} \Delta e \quad (6)$$

Cette expression met en évidence trois facteurs essentiels dans le phénomène d'évaporation au-dessus de l'eau libre: la température absolue, la pression atmosphérique, et le déficit de saturation de l'air. Si un certain volume atmosphérique passe de la température  $m$  à la température  $M$ , la quantité  $e_M - e_m$  traduira le déficit de saturation de l'air à la condition qu'il n'y ait pas apport "extérieur" d'humidité, et que la température  $m$  soit saturante.

Il n'est théoriquement pas possible de lier le déficit de saturation à l'amplitude thermique, puisque la courbe des tensions de vapeur maximum n'est pas linéaire avec la température. Nous admettrons néanmoins la proportionnalité parce que les variations relatives de  $\frac{1}{2}(M+m)$  sont peu importantes devant celles de  $M-m$  (du moins pour les valeurs annuelles).

$$E = \alpha \frac{1}{p} \frac{M+m}{2} (M-m) \text{ ou encore } E = k' \frac{M+m}{2} (M-m) \quad (7)$$

En conclusion, on peut dire que l'évaporation au-dessus d'une surface d'eau libre, l'évapotranspiration potentielle, varie comme le produit de la température moyenne par l'amplitude; ceci sous les deux conditions suivantes: a. absence de flux de vapeur d'eau, b.  $m$  est une température saturante.

Alors, le quotient pluviothermique d'Emberger peut être écrit:

$$Q_2 = k'' \frac{P}{\frac{M+m}{2} (M-m)} \text{ ou encore } Q_2 = \frac{k''}{k'} \frac{P}{\frac{M+m}{2} (M-m)} \quad (8)$$

sous cette forme, on reconnaît au dénominateur l'expression de  $E$  telle qu'elle a été donnée ci-dessus; on peut donc écrire:

$$Q_2 = k'' \frac{P}{E} \quad (9)$$

en d'autres termes,  $Q_2$  varie comme le rapport des précipitations à l'évapotranspiration potentielle physique.

D'un point de vue climatique, les deux réserves énoncées reviennent à dire que cette liaison perd sa signification, dans les régions littorales car il y a apport de vapeur (précipitations occultes, brouillards), et dans les régions les plus arides car la condition due  $m$  soit une température saturante n'est plus remplie.

#### Approche statistique

##### Evapotranspiration globale

Turc (1951) a mis au point plusieurs formules permettant une évaluation du bilan hydrique stationnel. Certaines d'entre elles, nécessitent la connaissance de facteurs climatiques, rarement recueillis: radiation globale, durée de l'insolation, effet de la végétation; toutefois, l'une d'elles est d'un usage commode et d'une application facile aux problèmes de cartographie à moyenne échelle, c'est la formule qui donne une expression globale annuelle de l'évapotranspiration réelle, que nous désignerons par  $EG$ :

$$EG = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (10)$$

dans laquelle  $P$  représente les précipitations moyennes annuelles et  $L$  un facteur thermique fonction de la température moyenne annuelle  $t$ :

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

Dans l'établissement de cette formule, Turc (1951) part de la constatation que lorsque les précipitations croissent, l'évapotranspiration tend vers une limite supérieure; les divers coefficients ont été obtenus par voie statistique à partir de la prise en considération des éléments du bilan hydrique du bassin versant d'un nombre important de cours d'eau (231, situés en Europe, de l'Italie à la Finlande et de l'URSS à l'Angleterre, en Afrique du Nord aux USA, et dans les régions tropicales et équatoriales); pour chacun d'eux on connaît les précipitations et l'écoulement par jaugeage de l'émissaire.

L'assise assez large de cette formule permet de la considérer comme une mesure du bilan hydrique global au niveau régional, et d'utiliser les valeurs qu'elle fournit comme référence.

##### Comparaison avec les valeurs de $Q_2$

Une comparaison entre les valeurs prises par le quotient d'Emberger et l'évapotranspiration globale  $EG$  a été

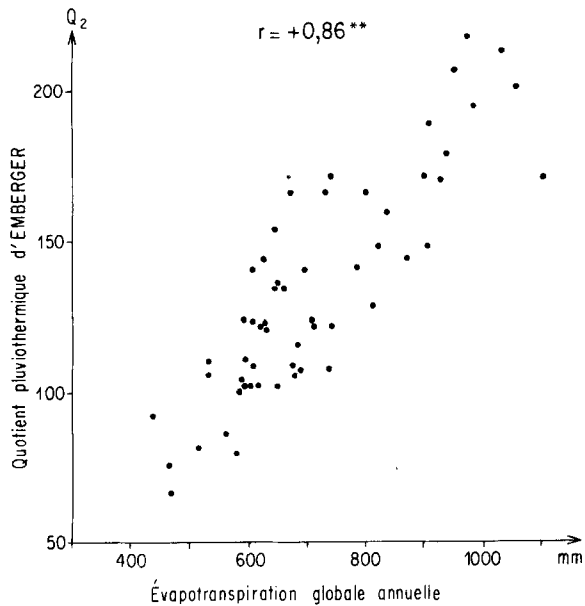


Fig. 11. Relation entre l'évapotranspiration globale et le quotient pluviothermique d'Emberger en Turquie/Relation between global evapotranspiration and the Emberger pluviothermic ratio in Turkey. (extrait de/from Daget 1971).

effectuée par Daget (1971) sur 56 stations turques (figure 11).

Le coefficient de corrélation qui mesure le degré de liaison entre les valeurs prises par ces deux paramètres climatiques est:  $r = +0,851$ ; cette valeur est hautement significative ( $P = 0,007$ ) et la corrélation obtenue rend

Tableau 4. Comparaison des résultats sur la corrélation entre  $EG$  et  $Q_2$ , obtenus dans diverses régions méditerranéennes/Comparison of the results on the correlation between  $EG$  and  $Q_2$ , obtained in several Mediterranean regions (extrait de/from Daget 1971).

Régions	N	R1	SI	P	R2	A	B	SP
Canaries	6	0.927	**	83	0.910	0.422	-26.33	**
Maroc	20	0.852	**	71	0.843	0.189	-10.66	**
Algérie	19	0.967	**	93	0.965	0.197	-15.67	**
Tunisie	13	0.970	**	94	0.967	0.149	4.08	**
Sahara	39	0.902	**	81	0.899	0.200	0.40	**
Egypte	22	0.951	**	80	0.896	0.151	1.45	**

N = Nombre de stations, R1 = Coefficient de corrélation dans l'échantillon, SI = Degré de signification de R1, P = Précision de la régression, R2 = Coefficient de corrélation dans la population, A = Pente de la droite de régression, B = Ordonnée à l'origine de la droite, SP = Degré de signification du coefficient angulaire

compte de 74% de la variabilité totale, ce qui représente une bonne précision.

Il faut toutefois souligner qu'une telle corrélation n'a qu'une valeur régionale; c'est ainsi que l'analyse des résultats obtenus dans les Canaries, au Maroc, en Algérie et en Tunisie du Nord et au Sahara a conduit Daget (1971) aux résultats rapportés dans le tableau 4.

#### Conclusion concernant l'aridité

L'existence d'une liaison linéaire entre  $Q_2$  et  $EG$  entraîne deux conséquences:

- il est possible, connaissant l'évapotranspiration globale d'une station de calculer la valeur du quotient pluviothermique correspondant (par  $Q_2 = 0,198 EG + 7,4$  pour la Turquie méditerranéenne);
- réciproquement, la connaissance du quotient pluviothermique permet de calculer la valeur de l'évapotranspiration globale (par  $EG = 3,738 Q_2 + 213$  pour la même région).

La seconde de ces deux conséquences est la plus importante; en effet, elle donne aux étages bioclimatiques une signification physique en liant l'aridité, définie par Emberger sur des critères phytologiques, à une évapotranspiration, qu'il est possible de calculer ou de mesurer. Toutefois, il ne s'agit pas d'une liaison simple, parce que les limites entre les étages dépendent à la fois de la valeur du quotient et de celle de la moyenne des températures minimales du mois le plus froid  $m$ . Il en résulte que, pour une valeur de  $Q_2$  égale par exemple à 100, à laquelle correspond en Turquie une évapotranspiration globale de 587 mm, le phytoclimat est humide si  $m$  est au plus égal à 1, sub-humide pour  $m$  compris entre 1 et 10 et semi-aride lorsque  $m$  est supérieur à 10.

#### Aridité et dégradation anthropique

Stewart (1968) a, par d'ingénieux raisonnements, mis en évidence l'influence que l'homme peut avoir sur le classement bioclimatique d'une région, par la dégradation du milieu, tapis végétal et sol. Nous suivrons ses démonstrations.

#### Effet de la dégradation du tapis végétal sur le climat et sa répercussion sur le quotient d'Emberger

La valeur de  $M$ , moyenne des maximum du mois le plus chaud, est fonction de l'apport énergétique net et de l'évapotranspiration. L'erradication, le plus souvent involontaire, du tapis végétal entraîne une réduction de

l'évapotranspiration; en effet, la fonction transpiration de l'évapotranspiration n'est alors plus assurée, et seule subsiste la fonction évaporation purement physique. Il en résulte un solde positif du bilan radiatif qui entraîne une augmentation des valeurs prises par  $M$ , augmentation qui est encore accrue par la réduction de la nébulosité.

La disparition du couvert forestier entraîne une augmentation du rayonnement nocturne pouvant être suffisante pour produire une diminution des valeurs prises par la moyenne des minimums du mois le plus froid  $m$ .

La dégradation du tapis végétal est donc suivie d'une augmentation de l'amplitude thermique  $M-m$  sans que la température moyenne, qui est exprimée en degrés de la valeur réelle de la valeur stationnelle de  $Q_2$ . Stewart estime que cette diminution peut être de l'ordre de 10 à 20%!

Dans les régions où la végétation est dégradée, les images des stations sur les graphiques sont donc de dix à vingt pour cent plus bas et nettement plus à gauche qu'elles ne le seraient si le couvert forestier originel subsistait.

*Effet de la dégradation du sol sur le climat et sa répercussion sur les limites des étages bioclimatiques de végétation*

Il est bien connu qu'à texture égale plus un sol est profond plus sa capacité de rétention pour l'eau est grande. L'érosion a donc pour résultat de diminuer les réserves d'eau du sol; la fraction des précipitations retenue et disponible pour l'évapotranspiration diminue. Cela entraîne, on l'a vu, une augmentation de  $M$ ; mais, aussi, toutes choses égales par ailleurs, une diminution de l'humidité réelle et donc l'apparition d'une végétation plus xérique.

Or, il est probable que l'érosion anthropogène a, depuis les millénaires où elle a commencé d'agir, entraîné la perte de plus de la moitié des sols climatiques initiaux, au moins dans les régions semi-arides comme l'Afrique du Nord. Il en résulte une xérification édaphique de la végétation qui sert au tracé des limites séparant les étages. Stewart estime que, dans les conditions précédentes, la différence est d'un étage.

*Conséquence: effet de la dégradation du milieu sur un diagnostic bioclimatique*

Les deux types de modifications entraînés par la dégradation anthropique du milieu sont en sens inverse, de sorte que la différence relative pour le classement d'une station peut être de deux étages, passant, par exemple, d'un sub-humide assez chaud en situation climatique, à un aride supérieur plus frais en l'état actuel dégradé (figure 12).

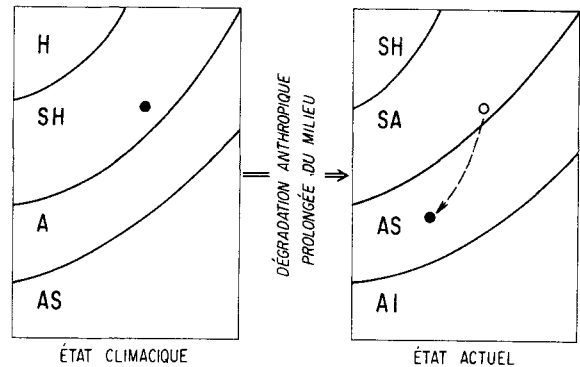


Fig. 12. Influence d'une dégradation anthropique prolongée sur le classement d'une station dans le système d'Emberger/Influence of a prolonged anthropic degradation of the environment on the situation of a locality in the Emberger system.

H. étage bioclimatique de végétation humide/humid bioclimatic stage of vegetation; SH. étage sub-humide/sub-humid stage; SA. semi-aride/semi-arid; AS. aride supérieur/upper arid; AI. aride inférieur/lower arid.

Dans ces conditions, on ne peut qu'adopter les prudentes mises en garde de Stewart :

“En conclusion, il convient de conseiller la plus grande prudence dans l'application des notions bioclimatiques à des situations dynamiques. Autant que l'on reste dans le cadre statique de la distribution actuelle des plantes, le climagramme d'Emberger est un outil remarquable. Par contre, dès qu'on entre dans le domaine de l'étude historique des groupements végétaux, ou dans celui de la restauration des sols et du tapis végétal, les mesures climatiques actuelles ne peuvent plus servir de références car le bioclimat change avec la biosphère.”

**Conclusion**

Les applications pratiques, signalées ici pour partie, de la méthode proposée par Emberger pour analyser les formes du bioclimat méditerranéen sont trop nombreuses et trop diverses pour qu'il soit nécessaire de revenir sur ses avantages et ses qualités.

Elle comporte toutefois un certain nombre de défauts qui limitent la généralité de son emploi. C'est ainsi que si la méthode de caractérisation du niveau de xéricité du climat décrite ici permet une relativement bonne appréciation de son intensité globale, elle ne permet pas de donner d'indication sur sa durée et sur sa localisation

dans le temps. Les méthodes de Gaussen, de Thornthwaite et de Giacobbe le permettent. Une partie de la difficulté pourrait être tournée en indiquant le nombre de jours de pluie de l'année, ou en utilisant la variation mensuelle de l'indice de sécheresse P/M à la manière de Giacobbe.

Par ailleurs, la méthode d'Emberger ne prend en compte ni la fréquence des brouillards ni la valeur de l'humidité atmosphérique; or, ces phénomènes peuvent compenser, au moins pour partie, l'insuffisance des précipitations, à niveau thermique égal. De tels phénomènes de compensation de facteur sont clairement apparus lorsqu'on a voulu étendre à la Tunisie des observations faites au Maroc (Thiault, com. pers.). On sait que le système de Thornthwaite souffre du même défaut. On sait aussi que le système de Köppen comporte l'existence d'une variante  $n$  pour les situations présentant des brouillards fréquents, c'est peu mais cela peut suffire à attirer l'attention sur le problème. Plus précis s'efforce d'être l'indice xérothermique de Bagnouls & Gaussen qui prend en compte, non seulement la fréquence des brouillards, mais aussi celle des pluies et la valeur de l'humidité atmosphérique moyenne. Mais, d'un autre côté, l'indication de la valeur de ces paramètres climatiques n'est pas habituelle, surtout en ce qui concerne la fréquence des brouillards, l'intérêt de l'indice xérothermique, et le défaut de l'approche d'Emberger, s'en trouvent limités.

Il semble que le principal défaut de la méthode d'Emberger, défaut qu'elle partage avec la méthode de Gaussen, mais auquel échappent les approches de Thornthwaite et surtout de Giacobbe, est que l'incidence du régime des précipitations sur le niveau de xéricité du climat échappe à la caractérisation. En effet, il n'est pas indifférent que la valeur maximale des précipitations mensuelles se trouve en automne ou au printemps (voir la carte correspondante dans Daget, 1977). Dans le premier cas, une partie importante des précipitations est restituée à l'atmosphère ou entraînée par le ruissellement avant d'avoir pu être utilisée par la végétation; dans le second cas, les précipitations ont lieu au moment où se fait la germination, la fraction utile est plus importante. Il en résulte que la partie orientale de l'aire isoclimatique méditerranéenne est moins aride que l'application brutale des critères d'Emberger (ou de Gaussen) ne le donnerait à penser.

Bien d'autres points seraient à analyser pour donner une image du bioclimat méditerranéen suffisamment précise. Il faudrait, en particulier, aborder la variabilité inter-annuelle, les problèmes concernant les bilans radiatif

et thermique, ainsi que ceux qui concernent l'évapotranspiration, et leurs impacts sur la végétation et sa productivité. Nous espérons pouvoir revenir sur ces différents points dans des contributions ultérieures à l'étude du "bioclimat méditerranéen".

## Summary

In this second report on the Mediterranean bioclimate, the author treats the method developed by Emberger (1930 to 1971) to analyse the Mediterranean climate as defined in the previous report (Daget 1977).

First, the origins and justification of Emberger's pluviothermic quotient are treated. It is recalled how Emberger subdivided the climagram area into 6 zones corresponding to as many bioclimatic vegetation stages, based on studies of the Mediterranean vegetation. These are, in sequence from the most arid to the most humid and from bottom to top on the climagram, Saharian (or per-arid), arid, semi-arid (or sub-arid) sub-humid, humid and per-humid stages. Thermic variants are distinguished according to the values of  $m$ ; there are variants with hot winters for  $7 < m$ , temperate for  $3 < m < 7$ , cool for  $0 < m < 3$ , cold for  $-10 < m < 0$  and very cold for  $m < -10$  in °C.

It is pointed out that these principles have been used widely in applied climatology: climatic maps, distribution of several species (*Quercus ilex*, *Pistacia lentiscus*, *Pinus halepensis*, etc.).

The modern concept of vegetation stage does not correspond to a simple vertical superposition of different bioclimates, but rather to a synthetic unit including altitudinal superposition and latitudinal succession like a geological stratum. In conclusion the Mediterranean character, linked to the precipitation-rate, is independent of the absolute value of the pluviometric modules, be it very small; the true desert is characterized by disorganized precipitations: no clear rate and interval between two showers of rain greater than one year.

Modifications applied by Emberger's successors are discussed. These relate chiefly to the presentation of the climagram in which a logarithmic scale has been adopted for  $Q_2$ . The influence of scale in cartographical applications in Tunisia on the results, and ecological applications, especially for analysing the distribution of certain species are discussed.

Emberger's pluviothermic quotient is compared with other climatic indices, and more particularly with evapo-

transpiration. It is demonstrated that  $Q_2$  varies as the ratio of the precipitation to the physical potential evapotranspiration above the stretch of water. There is a good correlation between  $Q_2$  and the empirical index of Turc although the linear link has only local value.

The influence of anthropic degradation of the environment on the aridity of the climate is discussed: a two-stage variation can be found. This climatic degradation results from the reduction in evapotranspiration and the increase in the positive balance of the radiative total amount linked to the disappearance of the vegetal covering and to the decrease of the water-reserve potential in the ground caused by erosion. It is concluded that Emberger's method is efficient for synchronic studies, but one should be most cautious in its application to diachronic situations (historical account of plant classifications or ground-restoration).

### Bibliographie

- Akman, Y. 1963. Etude bioclimatique de la Turquie. Men. Fac. Sc. Montpellier, 30 p.
- Akman, Y. 1973. Aperçu préliminaire sur les conditions phyto-écologiques de la chaîne de l'Amanus dans la région du Hatay. Comm. Fac. Sc. de l'Univ. d'Ankara 17C: 75-98, 99-134.
- Akman, Y. 1974. Etude phyto-écologique de la région de Beypazari-Karasar et Nallihan. Comm. Fac. Sc. de l'Univ. d'Ankara 18C: 51-111.
- Akman, Y. 1974. Evolution régressive de la végétation à l'étage du *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* dans l'Anatolie Centrale. Comm. Fac. Sc. de l'Univ. d'Ankara 18C: 1-6.
- Akman, Y. & Ph. Daget. 1971. Quelques aspects synoptiques des climats de la Turquie. Bull. Soc. Lang. Géogr. 5, 3: 269-300.
- Auriau, Ph. 1957. Quelques données sur le climat du blé dans le Proche-Orient. Ann. Amél. Pl. 1: 5-19.
- Barry, J. P. & J. C. Celles. 1972. Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara algérien. Nat. Monsp. 24: 5-48.
- Biro, P. & P. Gabert. 1964. La méditerranée et le Moyen-Orient. I. Généralités, Péninsule ibérique Italie. Orbis. P.U.F., Paris, 550 p.
- Bortoli, L., M. Gounot & J. C. Jacquinet. 1969. Climatologie et bioclimatologie de la Tunisie septentrionale. Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. de Tunisie 42, 1: 1-235 (+ annexes).
- Buntig, B. 1965. The geography of soils. Hutchinson Univ. Lib., London, 213 pp.
- Calvet, C. 1964. Le quotient pluviothermique de L. Emberger et l'évaporation. C.R. Soc. Nat. et Physique du Maroc: 55-61.
- Calvet, C. 1965. Le quotient pluviothermique d'Emberger et l'évaporation. La météorologie: 53-57.
- C.E.P.E. 1967. Carte phytoécologique de la Tunisie septentrionale. Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. de Tunisie, 1966, 39, 5: 1-213; 1967, 40, 1: 1-340; 40, 2: 1-426 (+ annexes).
- Cote, M. 1974. Les régions bioclimatiques de l'est algérien. Univ. Constantine, Centre Univ. Rech. Etudes et Réalisation, 14 p (+ annexes).
- Croset, H. 1969. Ecologie et systématique des Phlebotomi dans deux foyers, français et tunisien, de Leishmaniose viscérale. Thèse Fac. Sc. Montpellier, 645 p.
- Daget, Ph. 1971. Le quotient pluviothermique d'Emberger et l'évapotranspiration globale. Bull. Rech. Agron. Gembloux H.S.: 87-94.
- Daget, Ph. 1976. Bibliographie classée sur le climat méditerranéen. C.N.R.S.-C.E.P.E., Montpellier.
- Daget, Ph. 1977. Le bioclimat méditerranéen: Caractères généraux, modes de caractérisation. Vegetatio 34: 1-20.
- Debazac, E. 1959. La végétation forestière de la Kroumirie. Ann. Ecole Nat. Eaux et Forêts 16, 2: 1-161.
- Despois, J. & R. Raynal. 1967. Géographie de l'Afrique du nord-ouest. Bibl. Sc. Payot, Paris, 570 p.
- Djeballi, E. 1970. Etude écologique des parcours de Tadmitt. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord (Alger) 61, 3-4: 175-226.
- Dubief, J. 1959. Le climat du Sahara. Inst. Rech. Sahariennes, Alger, 2 vol.
- Dubief, J. 1968. Essai sur la détermination des limites climatiques du Sahara. Com. Col. Hamamet, 12 p.
- Emberger, L. 1930a. Sur une formule applicable en géographie botanique. C.R. Ac. Sc. 191: 389-390.
- Emberger, L. 1930b. Sur l'étage de végétation. C.R. Ac. Sc. 191: 389-390.
- Emberger, L. 1931. L'origine et la nature des "tirs" marocains. Rev. Géogr. Maroc 15, 1: 29-31.
- Emberger, L. 1934. Tableau phytogéographique du Maroc. Mem. Soc. Sc. Nat. Maroc 38: 1-187.
- Emberger, L. 1936. Remarques critiques sur les étages de végétation dans les montagnes marocaines. Bull. Soc. Bot. Suisse, vol. jub. Rübel, 46: 614-631.
- Emberger, L. 1952. Sur le quotient pluviothermique. C.R. Ac. Sc. 23: 2308-2310.
- Emberger, L. 1955. Une classification biogéographique des climats. Rec. Trav. lab. Bot. Géol. Zool. Fac. Sc. de Montpellier 7: 3-43.
- Emberger, L. 1956. Study of the vegetation and land use. Com. 1st Meeting Working Party on the Development of the Grazing and Fodder resources of the Near East. Le Caire, mars 1956, F.A.O., 25 p.
- Emberger, L. 1958. Afrique du Nord et Australie méditerranéenne. In: Climatologie et microclimatologie. Proc. Canberra Symposium on Climatology and Microclimatology. UNESCO, Paris, pp. 141-146.
- Emberger, L. 1966. Place de la région méditerranéenne française dans l'ensemble méditerranéen. Bull. Ass. Prof. Biol. Géol. de l'Enseignement public 2: 153-165.
- Emberger, L. 1971a. Considérations complémentaires au sujet des recherches bioclimatologiques et phyto-



- géographiques-écologiques. In: Emberger, 1971b, pp. 291-301.
- Emberger, L. 1971b. Travaux de botanique et d'écologie. Masson, Paris, 520 p.
- Gausson, H. 1954a. Théorie et classification des climats et microclimats. VIIe congr. Int. Bot. Paris: 125-130.
- Gèze, B. 1959. Les sols. In: La Terre, Encycl. Pleiade, Galimard, Paris.
- Golvan, Y. & J. Rioux. 1961. Ecologie des mérions du Kurdistan Iranien. Relations avec l'épistémologie de la peste rurale. Ann. Parasitol. 36: 449-558.
- Gounot, M. 1958. Contribution à l'étude des groupements végétaux messicoles et rudéraux de la Tunisie. Ann. Serv. Bot. et Agron. de Tunisie 31, 1: 1-282 (+ annexes).
- Ionesco, T. 1965a. Eléments phytoécologiques fondamentaux pour une mise en valeur. Al Awamia (Rabat) 17: 49-141.
- Ionesco, T. 1965b. Considérations bioclimatiques et phytoécologiques sur les zones arides du Maroc. Al Awamia 19: 1-70.
- Ionesco, T. & E. Stafanesco. 1967. La cartographie de la végétation de la région de Tanger. AlAwamia (Rabat) 22: 17-147.
- Le Houérou, H. N. 1958. Contribution à l'étude de l'Olivier en Tunisie. Comm. à la productivité, Tunis. 89 p.
- Le Houérou, H. N. 1959. Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. Univ. Alger, Inst. Rech. Sahariennes, Mémoire No. 6, 291 + 229 pp. (+ annexes).
- Le Houérou, H. N. 1959-67. Carte phytoécologique de la Tunisie du sud, C.N.R.S.-C.E.P.E. Montpellier, 2 feuilles.
- Le Houérou, H. N. 1960. Contribution à l'étude des sols du Sud tunisien. Ann. Agron. 3: 241-309.
- Le Houérou, H. N. 1969. La végétation de la Tunisie steppique. Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. de Tunisie 42, 5: 1-620 (+ annexes).
- Le Houérou, H. N. 1971-72. L'écologie végétale dans la région méditerranéenne. Inst. Agron. Médit., Bari, 55 p.
- Le Houérou, H. N. 1974. L'écologie végétale dans la région méditerranéenne. C.I.H.E.A.M., Bari, 75 p.
- Le Houérou, H. N., J. Claudin, M. Haywood & J. Donadieu. 1975. Etude phytoécologique du Hodna. UNESCO-FAO, Rome, AGS: DP/ALG/66: 509, Rap. tech. 3, 2 vol.
- Lepoutre, B. 1964. Premier essai de synthèse sur le mécanisme de régénération du Cèdre dans le moyen Atlas marocain. Ann. Rech. Forest. Maroc. 7: 55-163.
- Long, G. 1954. Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie Centrale. Ann. Serv. Bot. Agron. de Tunisie 27: 1-388.
- Long, G. 1957. The bioclimatology and vegetation of eastern Jordan. FAO 52/2/1109, 97 p.
- Maures, G. 1968. Les montagnes du Rif central, études géomorphologiques. Ed. Marocaines et Internationales, Tanger, 499 p.
- Meygs, P. 1955. World distribution of arid zones. Rev. Res. on Arid Zones Hydrol., UNESCO, Paris: 203-210.
- Nahal, I. 1962. Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) – Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. Ann. Ec. Nat. Eaux et Forêts 19, 4: 473-686.
- Ozenda, P. 1975. Sur les étages de végétation dans les montagnes du bassin méditerranéen. Doc. Cart. Ecol. 16: 1-32.
- Passana, L. 1967. Action des facteurs du milieu sur *Rosmarinus officinalis* L. Nat. Monsp. 18: 389-403.
- Pedelaborde, P. 1957. Le climat du Bassin Parisien – Essai d'une méthode rationnelle de climatologie physique. Ed. Génin, Paris, 2 vol. 539 p. + 116 annexes.
- Pellecuer, J. 1973. La sarriette des montagnes, *Satureia montana* L., Etudes botanique, biochimique, pharmacologique et économique. Thèse doctorat Pharmacie, Montpellier, 295 p.
- Quézel, P. 1964. Contribution à l'étude de l'endémisme chez les phanérogames sahariens. C.R. Soc. Biogéogr.: 89-103.
- Sabeti, H. 1969. Les études bioclimatiques de l'Iran. Publ. Univ. Téhéran, No. 1231, 253 p.
- Sauvage, Ch. 1961. Recherches botaniques sur les subérasies marocaines. Trav. Inst. Sc. Chérifien Bot. 21: 1-462 (+ annexes).
- Sauvage, Ch. 1963a. Le coefficient pluviothermique d'Emberger, son utilisation et la représentation graphique de ses variations au Maroc. Ann. Sér. Phys. du Globe et de la Météo., Inst. Sc. Chérifien 20: 11-23.
- Sauvage, Ch. 1963b. Etages bioclimatiques. Notices explicatives de l'Atlas du Maroc, Rabat, 44 p.
- Sauvage, Ch. & J. Vindt. 1952. Flore du Maroc, Trav. I.S.C., Rabat, 2 vols.
- Stewart, Ph. 1968. Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique: quelques réflexions. Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord 59, 1-4: 23-36.
- Stewart, Ph. 1975. Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application au barrage vert. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, Alger 65: 1-2.
- Thiault, M. 1963. L'amélioration des pâturages et de la production fourragère. FAO, No. 1689, Rome, 70 p.
- Turc, L. 1951. Nouvelle formule pour le calcul du bilan de l'eau en fonction des valeurs moyennes des précipitations et de la température. C.R. Ac. Sc.: 633-635.
- Ven Te Chow. 1964. Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill, 1418 pp.
- Walter, H. 1968. Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung. Gustav Fischer, Stuttgart, 1001 pp.
- Walter, H. & H. Lieth. 1960. Klimadiagramm-Weltatlas. Gustav Fischer, Jena.

Accepted 23 December 1976