

VERS UNE ANALYSE FINE D'UNE LIMITE BIOCLIMATIQUE ET FLORISTIQUE : La limite septentrionale du Sahara au Maroc

par R. CHAUMAT (1)

Introduction	78
I- Données climatiques brutes.....	79
II- Critères de regroupement des stations.....	81
III- Analyse des éléments du climat.....	93
Conclusion	101
Bibliographie.....	102

Résumé.- L'auteur étudie la limite septentrionale du Sahara dans le Sud-Marocain, en comparant les données météorologiques et floristiques. L'insuffisance du réseau météorologique, tenant davantage aux trop courtes périodes d'observation plus qu'au nombre de stations, conduit à choisir l'analyse de la composition floristique pour définir une première division de la région en quatre bandes qui se succèdent du Nord au Sud au pied de l'Anti-Atlas ; la première est encore de caractère franchement méditerranéen, les deux suivantes correspondent à la zone pré-saharienne, et avec la quatrième commence le Sahara proprement dit. Les données météorologiques sont alors regroupées dans chacune des zones en ensembles dont l'homogénéité est testée statistiquement ; il est montré notamment que, si le minimum de précipitations joue comme partout en région aride le rôle prédominant, les maximum liés aux années humides ont également une signification du fait que les précipitations atlantiques correspondant à ces années pénètrent dans la zone pré-saharienne mais sont absentes du Sahara lui-même.

Summary.- Using climatological and floristical data the northern limit of Sahara is studied in Southern Marocco. As these are few meteorological stations and short periods of observation, the Flora permits to define four strips from North to South at the bottom of Anti-Atlas Mountain. The first one is of mediterranean affinity, second and third one are pre-saharian, the last one is typically saharian. Meteorological data are statistically analysed in each strip. The minimal rainfall received during dryest years is the most important factor to limit these zones. However the maximal rainfall of wet years are significant too because these rains coming from atlantic ocean are limited to presaharian zones and do not extend to Sahara.

(1) Professeur agrégé au Lycée de Dolomieu, Isère.

INTRODUCTION

Une traversée du Nord au Sud des hamadas du Sud-Est marocain montre d'importantes et brusques modifications floristiques :

- la disparition d'un lot très important d'unités systématiques d'affinités méditerranéennes, parmi lesquelles : *Lygeum spartum* L., *Stipa tenacissima* L., *Olea europaea* L., *Artemisia herba-alba* Asso ;
- l'apparition d'un groupe relativement étoffé de taxons d'affinités saharo-syriennes : *Cornulaca monocantha* Del., *Traganum nudatum* Del., *Calligonum* sp. L. (dans les ergs) ;
- celle de quelques taxons d'affinités tropicales : *Acacia raddiana* Savi, *Acacia seyal* Del., *Calotropis procera* Ait.

Nous approchons de la limite chorologique qui sépare les deux empires holarctique et paléotropical. Le premier nommé est représenté ici par au moins deux régions floristiques : - au Nord, la région méditerranéenne ; - au Sud, la région saharo-syrienne.

Ces limites, exprimées dans la végétation par des chutes floristiques importantes, doivent correspondre à des gradients climatiques violents.

Le but que nous nous sommes proposé est d'établir un parallélisme aussi rigoureux que possible entre les variations géographiques des éléments déterminants du climat d'une part, de la flore d'autre part, à l'intérieur du Maroc trans-atlasique à l'exclusion du Souss et du Jbel Sarhro (Fig. 1).

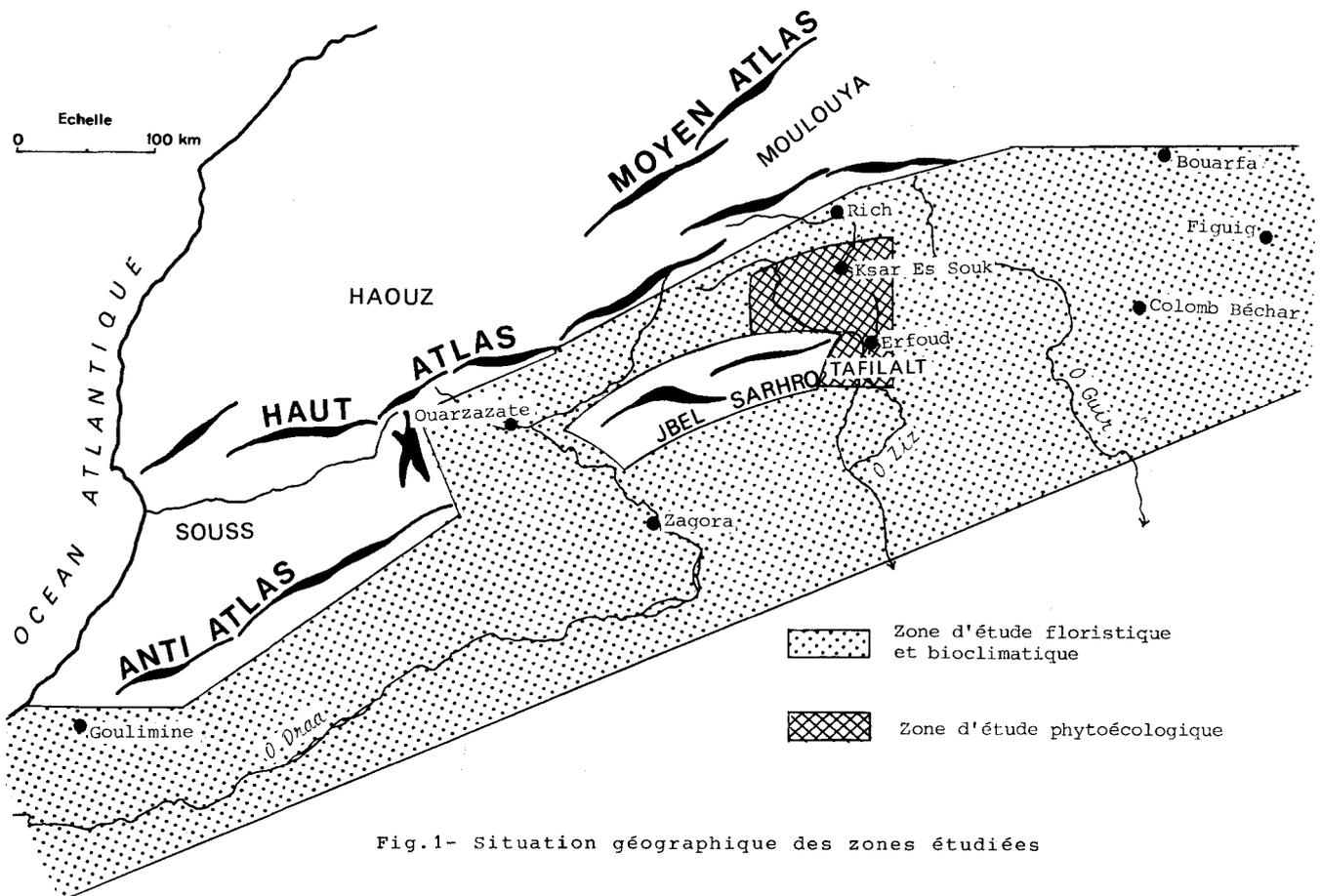


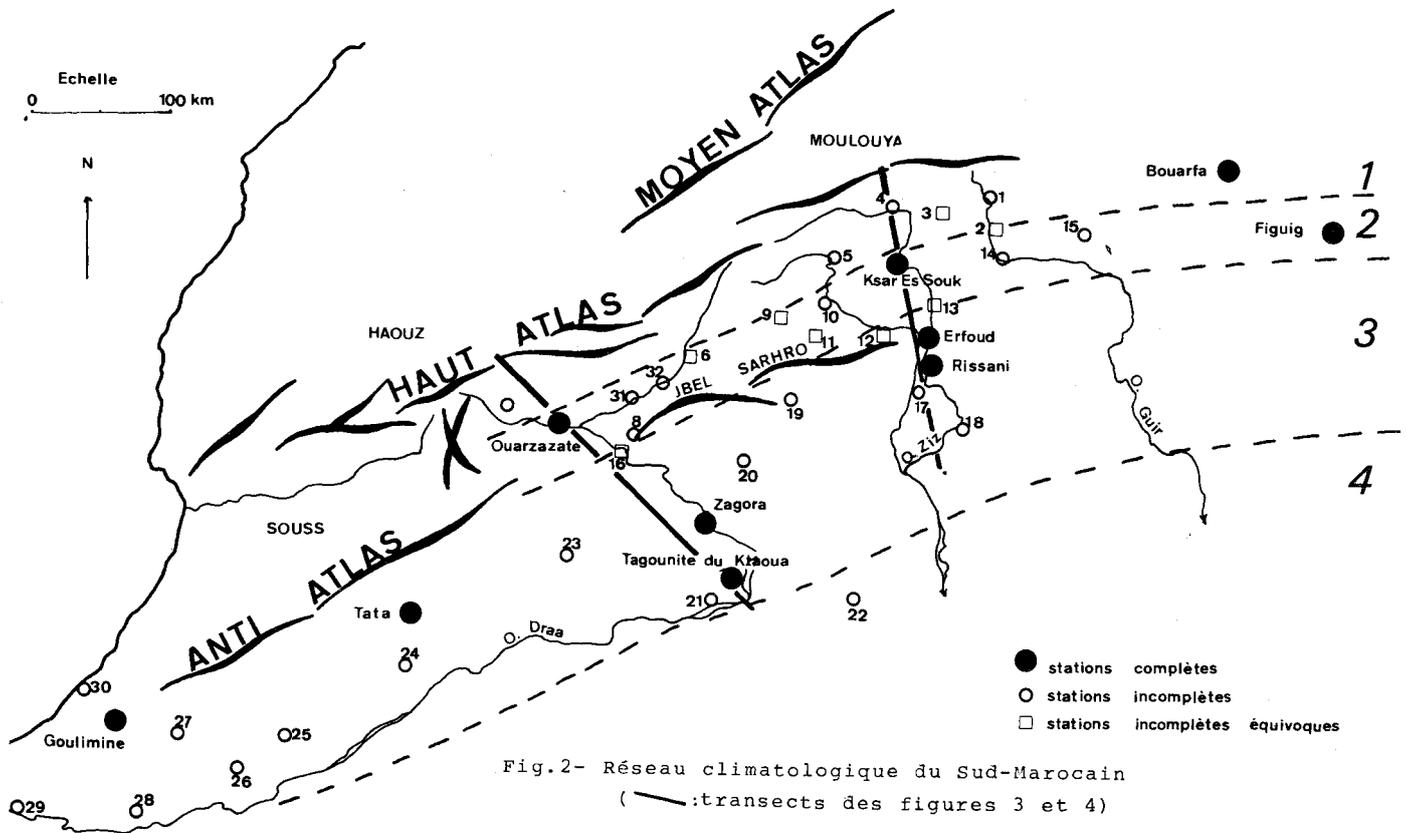
Fig.1- Situation géographique des zones étudiées

I. - DONNÉES CLIMATIQUES BRUTES

A - RESEAU D'OBSERVATION (fig.2, tabl.I)

La région choisie se présente sous la forme d'une bande orientée Sud Ouest-Nord Est qui longe sur 1000 km le pied du versant Sud de l'Anti-Atlas et du Haut-Atlas. Elle pénètre de 150 km à l'intérieur du Sahara. Elle recèle 41 postes météorologiques, ce qui nous donne un réseau d'observation peu dense.

Ces stations sont disposées suivant trois lignes parallèles de direction Sud Ouest - Nord Est. Ce sont, du Nord au Sud : Imini, Rich, Bouarfa ; Ouarzazate, Ksar-Es-Souk, Figuig ; Goulimine, Zagora, Erfoud. Notre réseau a pourtant une répartition géographique hétérogène.



B - ETAT DES DONNEES

Sur l'ensemble de ce réseau, seulement 10 stations sont complètes, c'est-à-dire nous fournissent des relevés thermiques et pluviométriques durant des périodes relativement longues (1925-1949, 1930-1960). Ce sont :

Goulimine, Tata, Ouarzazate, Zagora, Tagounite du Ktaoua, Ksar-Es-Souk, Erfoud, Rissani, Bouarfa, Figuig.

Les 33 autres postes nous livrent uniquement des observations de pluviométrie mensuelle et annuelle dont les possibilités d'exploitation paraissent réduites, délicates. En effet, leur fonctionnement a été très discontinu :

- Tazzarine des Ait-Atta : 6 mesures en 19 ans ;
- Imini : 3 mesures en 17 ans pour la pluviométrie annuelle. D'autre part, leurs périodes d'observation sont souvent différentes et présentent des plages communes plutôt squelettiques :

Aourioura (1938-1945); Bouanane (1949-1954); Gourrama (1942-1955).

C - CONSEQUENCES DE L'HETEROGENEITE DES DONNEES: RECHERCHE D'UNE METHODOLOGIE

1 - Méthode d'étude "stationnelle" (ou ponctuelle)

Les méthodes d'étude bioclimatique les plus couramment utilisées exploitent les observations météorologiques se rapportant à une station ponctuelle. Cette exploitation se déroule en trois phases successives :

- étude de chaque élément du climat afin de connaître sa moyenne et sa variabilité ;
- synthèses numériques et graphiques des éléments du climat pour une station;
- comparaison inter-stationnelle des résultats obtenus pour définir des gradients et des limites.

Il est évident que pour les 33 postes incomplets, ces méthodes sont inapplicables. Par contre, pour les 10 localités complètes, nous pouvons obtenir facilement les valeurs moyennes des éléments climatiques, les comparer et en faire les synthèses appropriées au but poursuivi.

Cependant, les périodes de fonctionnement (30 ans au maximum) nous paraissent trop brèves pour que nous puissions aborder de façon correcte la variabilité de la pluviométrie annuelle dans une région où elle est un facteur prépondérant pour la flore et la végétation. En conséquence, nous rejetons ces méthodes d'étude stationnelle et nous préférons tenter de mettre au point une technique qui nous permettra d'utiliser et d'analyser l'ensemble des stations de notre territoire. Nous qualifierons provisoirement celle-ci de "*régionale*".

2 - Méthode d'étude "régionale"

Nous avons à notre disposition pour étudier la pluviométrie annuelle 450 valeurs qui proviennent de 41 postes différents pour la période 1937-1960. Ce lot important de mesures devrait nous permettre une approche de la variabilité de cet élément climatique.

Pour une station, nous avons en moyenne une série statistique de 10 échantillons. Ces séries sont évidemment trop courtes pour définir stationnellement cette variabilité. Afin de la rendre plausible, nous tenterons de regrouper à priori ces stations sur des critères autres que climatiques, afin d'obtenir un nombre réduit de séries statistiques suffisamment étoffées pour lesquelles l'analyse de cette variabilité sera alors possible, ce qui revient à essayer de remplacer "N stations à p mesures par n séries à P mesures", P étant alors assez grand pour se prêter à l'analyse statistique qui sera faite plus loin, § III.

II. CRITÈRES DE REGROUPEMENT DES STATIONS

A - CRITERES GEOGRAPHIQUES

1 - Transect : Col du Talrhremt-Rissani (Fig. 3)

La structure géologique du Haut-Atlas oriental entre le Col du Talrhremt et Rissani est caractérisée par l'alternance régulière du Nord au Sud d'anticlinaux étroits, pincés, faillés, et de synclinaux larges, à fond plat ; le tout orienté Ouest-Est. Cette structure entraîne une compartimentation impressionnante du relief en vallées larges ou plaines correspondant aux synclinaux, et en crêtes brutales, manifestations des anticlinaux. D'autre part, l'ensemble de ces compartiments forme un gigantesque escalier qui descend progressivement vers le Sahara. Ainsi nous pouvons utiliser tous ces caractères pour définir le long de ce transect trois régions topographiques et altitudinales calquées sur les compartiments ; nous regrouperons les stations qui se localisent dans chacun d'eux. Ce sont, du Nord au Sud : - la plaine de Rich :

Rich, Gourrama, Beni-Tajjite ; - la Hamada de Meski : Ksar-Es-Souk, Boudenib ; - le Tafilalt : Erfoud, Rissani, Taouz... (c'est-à-dire les régions 1, 2 et 3 de la Fig. 2, dans leur partie Centre-Est).

2 - Transect : Col du Tichka-Zagora (Fig. 4)

La topographie du Haut-Atlas central n'est pas compartimentée. C'est une muraille qui sépare le Haouz de Marrakech du bassin d'Ouarzazate. Afin de prolonger vers l'Ouest les régions définies dans le premier transect, nous utiliserons pourtant les stations du Haut-Atlas central situées à altitudes comparables. De cette façon Imini (1550 m), Bou-Skour (1450 m) et Boumalne du Dades (1560 m) peuvent rejoindre les postes de la plaine de Rich (Région n° 1 de la Fig. 2).

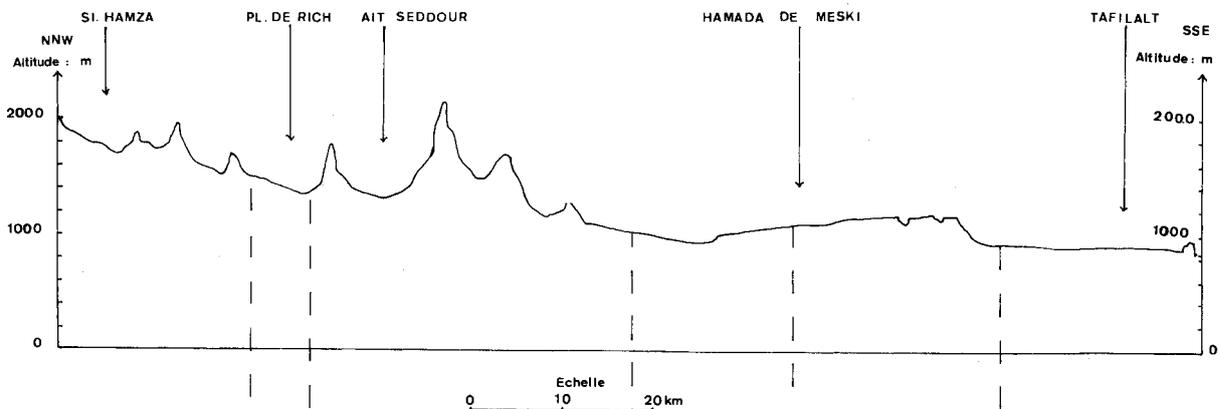
De Ouarzazate à Zagora, la comparaison avec le Tafilalt est plus aisée. Après un examen attentif d'une carte topographique du Sud-Marocain, on peut admettre facilement les analogies suivantes :

- Bassin d'Ouarzazate (1160 m) - Hamada de Meski (1060 m) (Région n° 2) ;
 - Jbel Sarhro-Kreb de la Hamada de Meski (zone non étudiée) ;
 - Glacis du versant Sud du Jbel-Sarhro (900 m) - Tafilalt (972 m)
- qui ne sont pas infirmées par leurs altitudes comparables (Région n° 3).

3 - Découpage des régions géographiques

Ces critères géographiques nous permettent donc de distinguer dans le Sud-Marocain trois régions qui sont, du Nord au Sud (Fig. 2) :

- la région n° 1 : Plaine de Rich, base du versant Sud du Haut-Atlas central ;
- la région n° 2 : Bassin d'Ouarzazate, Hamada de Meski ;
- la région n° 3 : Glacis des versants méridionaux de l'Anti-Atlas et Jbel-Sarhro, Tafilalt.



		REG. N°1		REGION N°2		REGION N°3	
A	1500	1420	1360	1060		765	
P	223	254	150	140		59	
M		37,5	37,8	40,1		41,8	
m		0,3	0,0	1,0		3,4	

A: altitude (m)

M: moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (°C)

P: pluviométrie annuelle moyenne (mm)

m: moyenne des températures minimales du mois le plus froid (°C)

Fig.3- Transect du col du Talhremt-Rissani

Nous y ajouterons une région n° 4 qui recouvre approximativement : la Seguiet el Hamra, la Hamada de Tindouf, les Kem-Kem et la chaîne d'Ougarta.

Pour les trois premières régions, la liste des stations météorologiques est fournie au tableau I. Pour la quatrième nous prendrons : Tindouf, Tabelbala, Beni-Abbes.

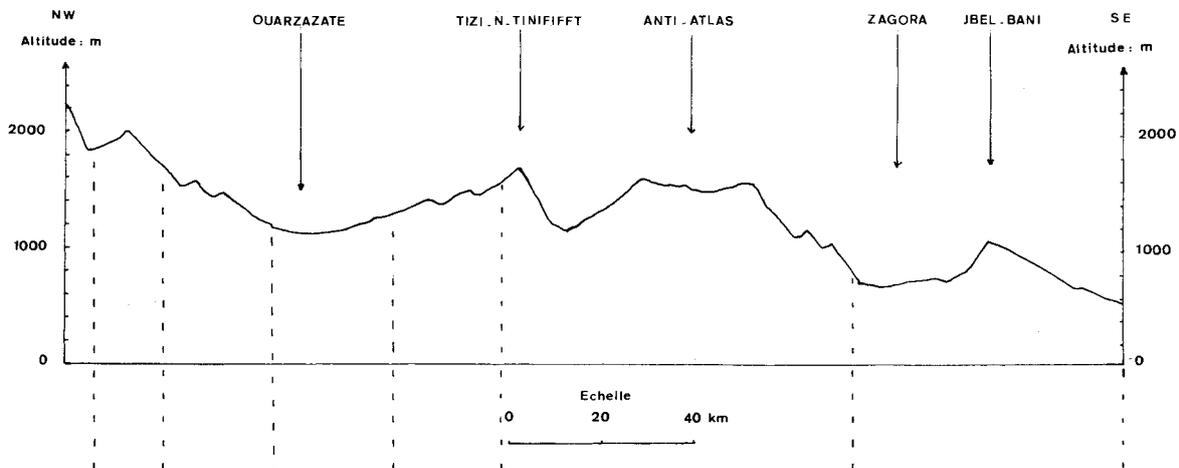
Malheureusement, si l'utilisation de ces critères géographiques a été facile ici, elle n'est pas généralisable à des études analogues d'autres territoires sans de nombreuses adaptations. Nous les recouperons donc par des critères floristiques dont le maniement est plus universel.

B - CRITERES FLORISTIQUES

1 - Principe

La flore d'un territoire est l'expression de l'ensemble des éléments du climat de celui-ci, que ce soient les moyennes, les extrêmes ou même les crises. Elle réalise donc la synthèse vivante facilement observable, analysable et cartographiable du bioclimat "moyen", de sa variabilité et d'une partie de son histoire.

Seuls quelques biotopes particuliers, ponctuels, où interviennent des déplacements ou des compensations de facteurs écologiques, sont colonisés par des taxons exceptionnels dans le paysage végétal de la région. Par exemple, les ravins étroits, exposés au Nord, creusés dans les corniches calcaires qui surplombent les gorges du Ziz entre Rich et Ksar-Es-Souk sont souvent piquetés de : *Rosmarinus cf. officinalis* L., *Buxus balearica* Willd., *Pistacia atlantica* Desf., *Ceratonia siliqua* L. ; ces quatre espèces ne sont pas dénuées de signification sur le plan phytogéographique, mais leur rôle dans le paysage reste très faible.



		REGION N°1	REGION N°2	REGION N°1		REGION N°3
A	2050	1500	1162	1458	2050	900
P	319	202	107	190	234	81
M	36,5	36,0	38,6			43,6
m	-3,5	1,0	1,9			3,3

Fig.4- Transect col du Tichka-Zagora
(A,P,M,m : voir fig.3)

Par contre, sur les éboulis et les glaciers de front et de revers que sillonnent ces ravins, dominant nettement 5 xérophytes épineux : *Launaea arborescens* (Batt.) Maire, *Zilla macroptera* Coss., *Anvillea radiata* Coss. et DR., *Antirrhinum ramosissimum* Coss. et DR., *Convolvulus trabutianus* Schweinf. et Muschl., qui donnent à l'ensemble du tapis végétal sa physionomie particulière.

Il nous a donc paru utile de moduler la présence d'une plante grâce à un coefficient de présence dans le paysage végétal dont l'échelle peut être directement calquée sur celle du coefficient d'abondance-dominance.

Dans de telles conditions, si les flores de deux régions géographiques contiguës sont identiques ou très semblables, il y a toutes chances que leur bioclimat le soit aussi. Réciproquement, si elles sont différentes, leurs bioclimats doivent être différents.

Ces principes appellent quelques remarques quant à leurs limites d'utilisation.

L'échelle d'application au 1/50 000 est un peu trop grande car des facteurs autres que climatiques (sol calcaire ou siliceux par exemple) risquent d'introduire une perturbation dans les résultats d'une méthode qui est strictement bioclimatique et floristique.

Inversement, de trop petites échelles conduiraient à être tenté de comparer par cette méthode des régions éloignées qui peuvent avoir des bioclimats analogues mais dont les flores sont d'origine très différente, comme le Maroc et certaines contrées de l'Afrique du Sud.

L'identité réversible "bioclimat-flore" ne doit s'appliquer qu'à des régions contiguës, mais à des échelles suffisamment petites, de l'ordre du 1/1 000 000. On peut, à la rigueur, envisager l'élargissement de son utilisation vers des échelles encore plus petites à condition de prendre pour l'analyse floristique des unités systématiques supérieures : genre ou même famille.

2 - Constitution du tableau d'analyse floristique

Pour les quatre régions géographiquement définies nous dressons, à l'aide de la bibliographie existante et de prospections sur le terrain, la liste aussi exhaustive que possible de tous les taxons végétaux en éliminant les synonymies de nomenclature au profit de la plus couramment utilisée ; nous nous limitons au niveau systématique de l'espèce, car la plupart des unités taxonomiques inférieures sont souvent représentées par des endémiques très localisées, mal définies sur le plan systématique, et surtout mal connues écologiquement et dont l'aire fait probablement intervenir des facteurs écologiques plus fins que la pluviométrie annuelle.

Ces listes sont alors agencées en un tableau d'analyse floristique dont la construction est analogue à celle d'un tableau de relevés. Il comprend donc, à droite, 4 colonnes verticales qui correspondent aux quatre régions géographiques disposées dans l'ordre défini au § II, A, 3. Il contient d'autre part, à gauche, 696 espèces avec au sommet les éléments d'affinités holarctiques et à la base ceux d'affinités paléotropicales. C'est à partir de ce tableau que nous avons pu obtenir des résultats concernant : - les chutes floristiques ; - les éléments géographiques ; - les éléments systématiques.

Ce tableau étant trop grand pour être publié ici dans son intégralité, nous n'en donnons que des extraits (tableau II) contenant des taxons faciles à observer, étant entendu que l'analyse statistique ci-après porte sur l'ensemble des 696 espèces.

TABLEAU II - TABLEAU D'ANALYSE FLORISTIQUE

M	Elément méditerranéen
M.S.S.	" de liaison méditerranéen-saharo-syrien
S.S.	" saharo-syrien
S.S.S.D.	" de liaison saharo-syrien-soudano-deccanien
S.D.	" soudano-deccanien

APPARTENANCE SYSTEMATIQUE ESPECES	APPARTENANCE CHOROLOGIQUE	REG.	REG.	REG.	REG.
		n° 1	n° 2	n° 3	n° 4
		Plaine de Rich	Hamada de Meski Bassin d'Ouarzazate	Tafilalt. Draa infé- rieur. Coude du Draa	Hamadas Sud-Marocaines
Telephium imperati (Caryophyllacées)	M	+			
Polycnemum fontanesii (Chénopodiacées)	M	+			
Adenocarpus bacquei (Papilionacées)	M	R			
Ceratonia siliqua (Césalpiniacées)	M	R			
Juniperus phoenicea (Cupressacées)	M	+			
Carthamus fruticosus (Composées)	M	+			
Nonnea micrantha (Boraginacées)	M	R			
Ajuga iva (Labiée)	M	+			
Thymus commutatus (Labiées)	M	+			
Rosmarinus cf. officinalis (Labiées)	M	+			
Teucrium cf. fruticans (Labiées)	M	+			
Euphorbia biglandulosa (Euphorbiacées)	M	+			
Buxus balearica (Buxacées)	M	+			
Aizoon hispanicum (Aizoacées)	M	R			
Catananche coerulea (Composées)	M	+	R		
Lavandula mairei (Labiées)	M	+	R		
Globularia alypum (Globulariacées)	M	+	+		
Retama sphaerocarpa (Papilionacées)	M	+	+		
Stipa tenacissima (Graminées)	M	+	R		
Stipa barbata (Graminées)	M	+	R		
Paronychia argentea (Caryophyllacées)	M	+	+		
Ononis atlantica (Papilionacées)	M	+	R		
Hertia maroccana (Composées)	M	+	+		
Chrysanthemum trifurcatum (Composées)	M	+	R		
Galium ephedroides (Rubiaceées)	M	+	+		
Erodium hirtum (Géraniacées)	M	+	R		
Pistacia atlantica (Térébinthacées)	M	+	R		
Onopordon arenarium (Composées)	M.S.S.	+	+		R
Olea europaea (Oléacées)	M	+	R	R	
Filago spathulata (Composées)	M	R	+	+	
Pallenis spinosa (Composées)	M	+	R	R	
Cladanthus arabicus (Composées)	M	+	+	R	
Populus euphratica (Salicacées)	M	+	+	+	
Astragalus caprinus (Papilionacées)	M	+	+	R	
Loëfflingia hispanica (Caryophyllacées)	M	+	R	R	
Lygeum spartum (Graminées)	M	+	+	R	
Leyssera capillifolia (Composées)	M.S.S.	+	+	+	
Crucianella hirta (Rubiaceées)	M.S.S.	R	+	+	
Malva aegyptiaca (Malvacées)	M.S.S.	R	+	+	
Scabiosa arenaria (Dipsacacées)	M.S.S.	R	+	+	
Argyrolobium uniflorum (Papilionacées)	M.S.S.	R	+	+	
Pteranthus dichotomus (Caryophyllacées)	M.S.S.	R	+	+	
Gastrocotyle hispida (Boraginacées)	S.S.	R	+	+	
Echinosperrum spinocarpos (Boraginacées)	S.S.	R	+	+	
Echiochilon fruticosum (Boraginacées)	S.S.	R	+	+	
Hyparrhenia hirta (Graminées)	S.S.	+	+	+	

Thymelea microphylla (Thyméléacées)	M	R	+	+	R
Launaea acanthoclada (Composées)	M	+	+	+	R
Stipa parviflora (Graminées)	M	+	+	+	R
Stipa retorta (Graminées)	M	+	+	+	+
Asphodelus tenuifolius (Liliacées)	M	+	+	+	+
Dipcadi serotinum (Liliacées)	M	R	R	R	R
Artemisia herba-alba (Composées)	M	l	+	+	R
Zizyphus lotus (Rhamnacées)	M	+	+	+	R
Capparis spinosa (Capparidacées)	M.S.S.	+	+	+	+
Periploca laevigata (Asclépiadacées)	M.S.S.	+	+	R	R
Koelipnia linearis (Composées)	M.S.S.	+	+	+	R
Pituranthos chloranthus (Ombellifères)	M.S.S.	R	+	+	+
Gymnocarpus decander (Caryophyllacées)	M.S.S.	+	+	+	+
Launaea arborescens (Composées)	M.S.S.	l	l	l	+
Aristida obtusa (Graminées)	S.S.	+	+	+	+
Aristida pungens (Graminées)	S.S.	+	l	l	l
Haloxylon scoparium (Chénopodiacees)	S.S.	+	l	l	l
Bassia muricata (Chénopodiacees)	S.S.	R	+	+	+
Fredolia aretioïdes (Chénopodiacees)	S.S.	+	l	l	l
Malcolmia aegyptiaca (Crucifères)	S.S.	R	+	+	+
Morettia canescens (Crucifères)	S.S.	+	+	+	+
Farsetia linearis (Crucifères)	S.S.	+	l	l	l
Zilla macroptera (Crucifères)	S.S.	+	+	+	+
Moricandia arvensis (Crucifères)	S.S.	R	+	+	+
Retama retam (Papilionacées)	S.S.	R	+	+	+
Euphorbia guyoniana (Euphorbiacées)	S.S.	R	+	+	+
Helianthemum lippii (Cistacées)	S.S.	+	+	+	+
Anvillea radiata (Composées)	S.S.	R	+	+	+
Bubonium graveolens (Composées)	S.S.	R	+	+	+
Ifloga spicata (Composées)	S.S.	R	+	+	+
Atractylis serratuloïdes (Composées)	S.S.	+	l	l	l
Odontospermum pygmeum (Composées)	S.S.	+	+	+	+
Antirrhinum ramosissimum (Scrophulariacées)	S.S.	+	+	+	+
Convolvulus trabutianus (Convolvulacées)	S.S.	l	l	+	+
Limoniastrum feei (Plombaginacées)	S.S.	R	+	+	+
Tamarix aphylla (Tamaricacées)	S.S.	+	+	+	+
Fagonia glutinosa (Zygophyllacées)	S.S.	+	l	l	l
Scorzonera undulata (Composées)	M.S.S.		+	+	+
Androcymbium punctatum (Liliacées)	M.S.S.		+	+	+
Ephedra alata (Ephédracées)	S.S.		R	+	+
Urginea noctiflora (Liliacées)	S.S.		+	+	+
Randonia africana (Résédacées)	S.S.		+	+	+
Calligonum comosum (Polygonacées)	S.S.		R	+	+
Anastatica hierochuntica (Crucifères)	S.S.		+	+	+
Helianthemum kahiricum (Cistacées)	S.S.		R	+	+
Trichodesma calcaratum (Boraginacées)	S.S.		R	+	+
Megastoma pusillum (Boraginacées)	S.S.		R	R	+
Marrubium deserti (Labiées)	S.S.		+	+	+
Rhethinolepis lonadioides (Composées)	S.S.		+	+	+
Rantherium adpressum (Composées)	S.S.		+	+	+
Atractylis babelii (Composées)	S.S.		+	+	+
Plantago ciliata (Plantaginacées)	S.S.		l	l	l
Calotropis procera (Asclépiadacées)	S.S.S.D.		R	+	+
Digitaria nodosa (Graminées)	S.S.S.D.		R	+	+
Aizoon canariense (Aizoacées)	M.S.S.			+	+
Cornulaca monocantha (Chénopodiacees)	S.S.			+	l
Traganum nudatum (Chénopodiacees)	S.S.			+	l
Atriplex dimorphostegia (Chénopodiacees)	S.S.			+	+
Genista saharae (Papilionacées)	S.S.			R	R
Zygophyllum album (Zygophyllacées)	S.S.			+	+
Lifago dielsii (Composées)	S.S.			+	+
Brocchia cinerea (Composées)	S.S.			+	+
Polycarpha akkensis (Caryophyllacées)	S.S.			R	+
Aristida acutiflora (Graminées)	S.S.S.D.			R	+
Panicum turgidum (Graminées)	S.S.S.D.			+	+
Acacia raddiana (Mimosacées)	S.S.S.D.			+	+
Trichodesma africanum (Boraginacées)	S.S.S.D.			R	+
Heliotropum undulatum (Boraginacées)	S.S.S.D.			+	+
Leptadenia heterophylla (Asclépiadacées)	S.D.			R	+
Seetzenia africana (Zygophyllacées)	S.S.				+
Nucularia perrini (Chénopodiacees)	S.S.				l
Calligonum azel (Polygonacées)	S.S.				+

Danthonia fragilis (Graminées)	S.S.	+
Caylusea hexagyna (Résédacées)	S.S.	+
Hyosciamus muticus (Solanacées)	S.S.	+
Argyrolobium abyssinicum (Papilionacées)	S.S.S.D.	+
Psoralea plicata (Papilionacées)	S.S.S.D.	+
Cassia obovata (Papilionacées)	S.S.S.D.	+
Gymnosporia senegalensis (Célastracées)	S.S.S.D.	+
Cocculus pendulus (Ménispermacées)	S.S.S.D.	+
Maerua crassifolia (Capparidacées)	S.S.S.D.	+
Acacia seyal (Mimosacées)	S.S.S.D.	+
Tribulus alatus (Zygophyllacées)	S.S.S.D.	R
Zygophyllum simplex (Zygophyllacées)	S.D.	+
Balanites aegyptiaca (Zygophyllacées)	S.D.	R
Eremopogon fovoelatus (Graminées)	S.D.	+
Aerva persica (Amaranthacées)	S.D.	+
Leptadenia pyrotechnica (Asclépiadacées)	S.D.	R

3 - Résultats

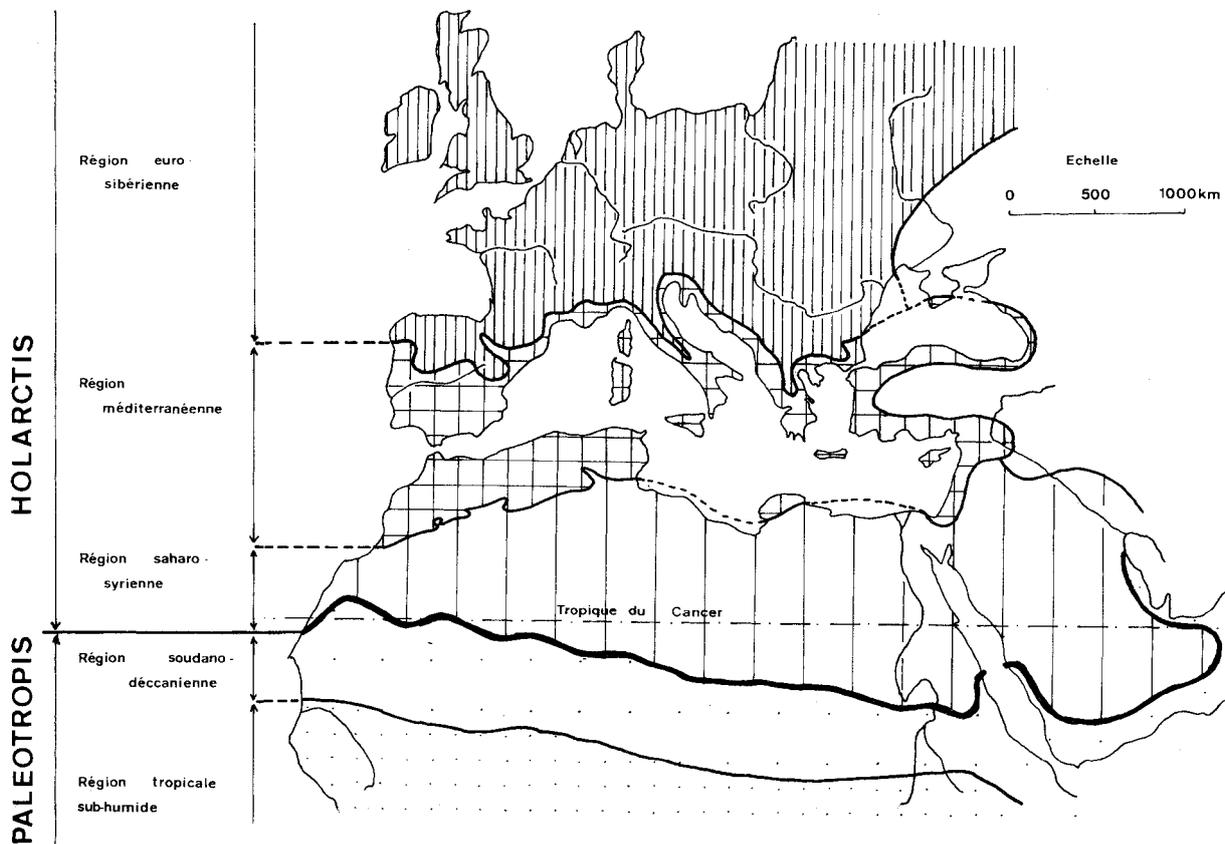
Définition des éléments géographiques (fig.5)

Fig.5- Régions floristiques du Sahara

Rappelons que les phytogéographes divisent en général la partie de l'Ancien Monde située dans l'hémisphère Nord en deux grandes zones floristiques ou "empires floraux" :

- un empire floral *holarctique* comprenant les contrées arctiques et tempérées de l'Europe, de l'Asie et de l'Afrique ;
- un empire floral *paléotropical* recouvrant les régions chaudes de l'Afrique et de l'Asie. Ces empires sont à leur tour subdivisés en régions de plus faible éten-

due. Ainsi, en ce qui concerne l'objet de notre travail, l'Holarctis comprend trois régions floristiques qui sont, du Nord au Sud :

. la région *euro-sibérienne* qui correspond à l'Europe septentrionale et centrale ;

. la région *méditerranéenne* centrée sur la Méditerranée. Comme frontière approximative entre ces deux ensembles, nous adopterons la limite septentrionale de l'aire de l'olivier devenue classique depuis les travaux de FLAHAULT (1937) ;

. la région *saharo-syrienne* constituée par la bande désertique qui prend en écharpe tout le Nord de l'Afrique, de la Mauritanie à l'Arabie. La démarcation entre ces deux dernières régions est beaucoup plus floue que la précédente. Nous prendrons comme hypothèse de travail la limite Nord de la maturation des Dattes.

La grande coupure entre les empires holarctique et paléotropical passe au niveau des déserts absolus qui jalonnent le Tropique du Cancer immédiatement au Sud : Adrar de Mauritanie, Tanezrouft, Ennedi... La Paléotropis est représentée au Sahara méridional par une région de transition : la région *soudano-deccanienne*. Elle s'étend du Sénégal au Soudan jusqu'aux savanes du Deccan.

La distinction de ces éléments géographiques mérite d'être nuancée. En effet, certaines espèces ont une aire qui s'étend sur deux régions floristiques contiguës. Par exemple, celles qui occupent à la fois les régions méditerranéenne et saharo-syrienne forment un *élément de liaison méditerranéen-saharo-syrien*. De la même façon, on distingue un groupe de liaison *saharo-syrien-soudano-deccanien*.

Enfin, il existe des plantes dont l'aire recouvre au moins trois régions : ce sont les *éléments plurirégionaux*.

Les limites de ces différents ensembles floristiques sont grosso-modo parallèles au tracé des quatre zones de notre étude (voir § II, A, 3). Cette similitude nous a paru un argument suffisant pour ne pas morceler davantage chaque élément géographique en domaines floristiques plus petits. C'est ainsi que nous regrouperons sous le terme saharo-syrien des taxons dont l'aire est largement incluse dans la région saharo-syrienne. Nous procéderons de même pour les autres régions. Ces aires pourront toutefois être utilisées ultérieurement pour la définition floristique de niveaux inférieurs à nos quatre zones, dont le critère écologique déterminant ne sera pas la pluviométrie annuelle.

Les chutes floristiques

Nous posons en principe qu'il est essentiel de définir, dans une première phase, les frontières qui séparent ces zones géographiques. La connaissance de leur flore n'a, des principes de cette étude, de sens que dans la mesure où leurs limites sont clairement établies.

Les chutes floristiques nous semblent adaptées à l'appréhension rapide de ces frontières.

L'examen du tableau III nous permet de constater l'importance, tant en valeur absolue qu'en valeur relative, du nombre de plantes qui disparaissent et apparaissent quand nous passons d'une région à une autre. Sur les 480 espèces des steppes arides de la plaine de Rich, 279 d'entre elles, soit 58,1 %, sont absentes, 350 km plus au Sud, du tapis végétal de la Hamada de la Daoura.

Deux chutes floristiques se singularisent par leur ampleur exceptionnelle : ce sont celles qui correspondent aux limites des régions 1 et 2 d'une part, 3 et 4 de l'autre. Ces deux ruptures brutales nous permettent d'individualiser nettement trois ensembles dans le Sud-Marocain : - la région n° 1 : la plaine du Rich ; - la région n° 4 : les hamadas Sud-Marocaines ; - une région intermédiaire formée par les zones 2 et 3, et qu'il nous faudra définir.

Les éléments géographiques (tableau IV, Fig. 6)

Les éléments holarctiques représentent dans toutes les zones entre 90 et 70 % de la flore. Les confins Sud-Algéro-Marocains appartiennent donc entièrement à l'Holarctis. Les éléments paléotropicaux sont présents mais rares. Presque absents (2 %) de la plaine de Rich, leur nombre augmente régulièrement pour atteindre 14 % sur les grandes hamadas ; seules celles-ci montrent nettement un début de nuance tropicale. La frontière entre l'Holarctis et la Paleotropis passe donc plus au Sud.

L'importance relative des taxons d'affinités méditerranéennes décroît de 65 à 26 % du Nord au Sud, tandis que celle du cortège saharo-syrien augmente de 17 à

TABLEAU III - LES CHUTES FLORISTIQUES

N.B. - La somme des % n'atteint pas 100 %. Le reliquat représente les éléments plurirégionaux.

		REGION n°1	Limite 1.2	REGION n°2	Limite 2.3	REGION n°3	Limite 3.4	REGION n°4
ESPECES QUI DISPARAISSENT								
<u>Espèces euro-sibériennes</u>								
Nombre d'espèces	N		15		5		4	
% du total des espèces qui disparaissent	%		11,1		8,7		4,5	
<u>Espèces méditerranéennes</u>								
Nombre d'espèces	N		113		43		51	
% du total des espèces qui disparaissent	%		84,3		75,3		57,9	
<u>Total : (279)</u>			134		57		88	
% des espèces disparues par rapport à la flore de la région qu'on vient de traverser								
			27,9		13,4		18,4	
			Sens du déplacement					
ESPECES QUI APPARAISSENT								
% des espèces apparues par rapport à la flore de la région qu'on va traverser								
			18,3		12,8		16,6	
<u>Total : (204)</u>			77		62		65	
<u>Espèces saharo-syriennes</u>								
Nombre d'espèces	N		55		41		31	
% du total des espèces qui apparaissent	%		71,4		66,1		47,9	
<u>Espèces soudano-deccaniennes et tropicales</u>								
Nombre d'espèces	N		6		4		20	
% du total des espèces qui apparaissent	%		7,7		6,5		30,7	

54 %. A l'intérieur des chutes floristiques (tableau III), le premier élément constitue plus des trois quarts des plantes qui disparaissent, alors que le deuxième forme plus de la moitié des plantes qui apparaissent. Nous sommes donc placés sur la limite des régions floristiques méditerranéenne et saharo-syrienne. Cette conclusion est d'ailleurs confirmée par la présence discrète mais constante (environ 12 %) du groupe de liaison méditerranéen-saharo-syrien.

Le versant méridional du Haut-Atlas central et oriental est colonisé par 64,9 % d'espèces méditerranéennes : il appartient donc nettement à la région méditerranéenne. Inversement le cortège saharo-syrien domine, à lui seul (54,5 %), la flore de la zone n° 4 : celle-ci fait donc partie de la région saharo-syrienne. Nous avons donc franchi entre Rich et Beni-Abbes la limite chorologique qui sépare ces deux régions floristiques. Où pouvons-nous placer cette limite ?

TABLEAU IV - LES ELEMENTS GEOGRAPHIQUES :
IMPORTANCE DANS LA FLORE DU SAHARA SEPTENTRIONAL

	REGION n°1		REGION n°2		REGION n°3		REGION n°4	
	N	%	N	%	N	%	N	%
ELEMENTS D'AFFINITES HOLARCTIQUES								
Eléments euro-sibériens	32	6,6	17	4,0	12	2,4	8	2,0
Eléments méditerranéens	259	53,9	150	36,1	113	23,9	61	15,8
Eléments de liaison méditerranéen-saharo-syrien	53	11,0	59	14,1	60	12,4	40	10,3
Eléments saharo-syriens	79	16,4	131	31,3	203	42,2	181	46,8
ELEMENTS D'AFFINITES PALEOTROPICALES								
Eléments de liaison saharo-syrien-soudano-deccanien	4	0,8	10	2,3	30	6,2	30	7,7
Eléments soudano-deccaniens	0	0	0	0	1	0,2	8	2,0
Eléments paléotropicaux	6	1,2	7	1,6	18	3,7	16	4,0
ELEMENTS PLURIREGIONAUX								
	47	9,7	44	10,5	44	9,1	42	10,2
T o t a l	480		418		481		386	

La forte pente des courbes concernant ces deux éléments géographiques (Fig. 6) entre les régions n° 1 et 2 exprime des gradients chorologiques violents. Il paraîtrait logique de placer ici la limite que nous recherchons, ce qui reviendrait à affirmer l'appartenance de la hamada de Meski à la région saharo-syrienne. Cette affirmation nous conviendrait dans la mesure où la flore de cette région serait dominée par le cortège saharo-syrien, ce qui n'est pas le cas. Nous sommes donc amenés à dissocier la limite méridionale de la région méditerranéenne de la frontière septentrionale de la région saharo-syrienne. Nous placerons la première entre les zones 1 et 2 et la deuxième entre les zones 3 et 4. Nous définissons ainsi entre ces deux limites un ensemble intermédiaire que nous appellerons le PRESAHARA. Aux contours proposés par F. JOLY (1951) pour le délimiter, à savoir :

- au Nord, l'accident Sud-atlasique ; - au Sud, le Krib des grandes Hamadas, nous ajouterons un contenu floristique et chorologique. Nous obtenons donc le schéma suivant :

- la zone n°1 : région méditerranéenne ;
- les zones n° 2 et 3 : Présahara avec une teinte méditerranéenne pour la Hamada de Meski et une couleur saharo-syrienne pour le Tafilalt ;
- la zone n°4 : région saharo-syrienne.

La pente faible des graphiques (Fig. 6) entre Beni-Abbes et Adrar matérialise les affinités de la zone n°4 avec le Sahara central. Elle n'en est donc probablement qu'un sous-ensemble.

Les éléments systématiques

L'analyse des éléments systématiques (Fig.7) confirme le schéma que nous venons de tracer.

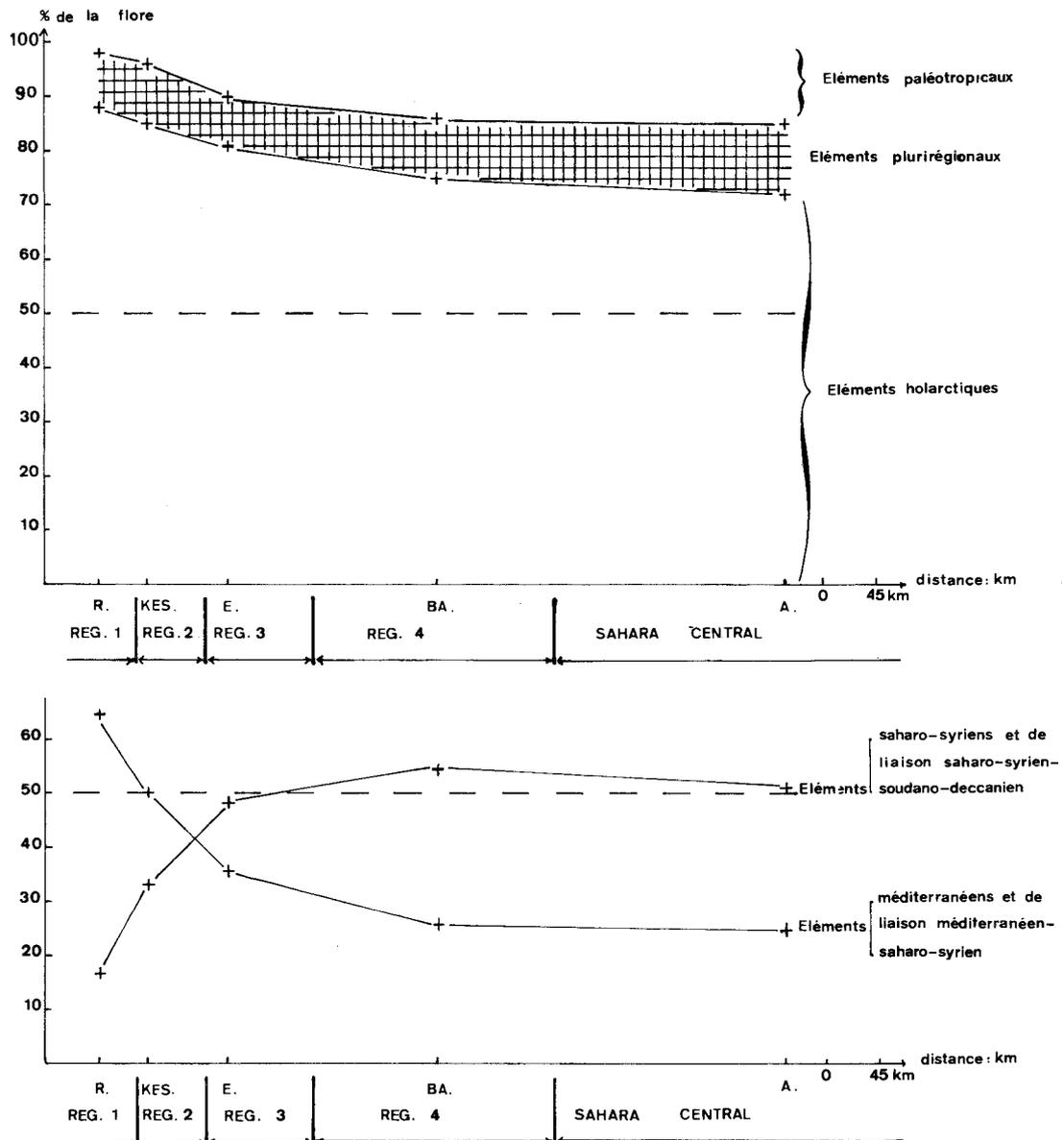


Fig.6- Variations des proportions des éléments géographiques dans la flore du Sahara septentrional.
(R=Rich; E=Erfoud; A=Adrar; KES=Ksar-Es-Souk; BA=Beni-Abbes)

Les familles à distribution nettement holarctique ne jouent qu'un rôle accessoire (Renonculacées, Ombellifères) ou sont pratiquement absentes (Rosacées). Un fléchissement très marqué s'observe pour les familles d'affinités méditerranéennes (Labiées, Caryophyllacées) entre les zones 1 et 2. Inversement, les Asclépiadacées et les Capparidacées, centrées sur la Paleotropis, augmentent progressivement d'importance au fur et à mesure qu'on traverse le Sahara du Nord au Sud. Enfin, trois familles présentent un maximum net dans la zone n°4 : ce sont les Chénopodiacées, les Crucifères et les Zygophyllacées. Les pentes fortes des graphiques de la Fig.7 entre Rich et Ksar-Es-Souk pour les familles holarctiques s.-l. ratifient l'existence de la limite méridionale de la région méditerranéenne entre ces deux localités. Par contre, leur pente faible ou nulle entre Beni-Abbes et Adrar certifie l'appartenance de ces deux oasis au Sahara central.

Les Graminées, les Légumineuses et les Composées forment à elles trois plus du tiers de la flore de tous les secteurs du Sahara. Nous avons profité de leur nombre pour porter l'analyse systématique à un niveau taxonomique inférieur : les sous-familles. Ainsi, trois sous-familles, les Panicoïdées, les Mimosacées et les Césalpi- niacées augmentent nettement d'importance au Sud du Sahara central, tandis que les Cynarocéphales et les Liguliflores chutent brutalement. Nous avons là un argument supplémentaire pour penser qu'existe à cet endroit la frontière chorologique : Holarctis- Paleotropis.

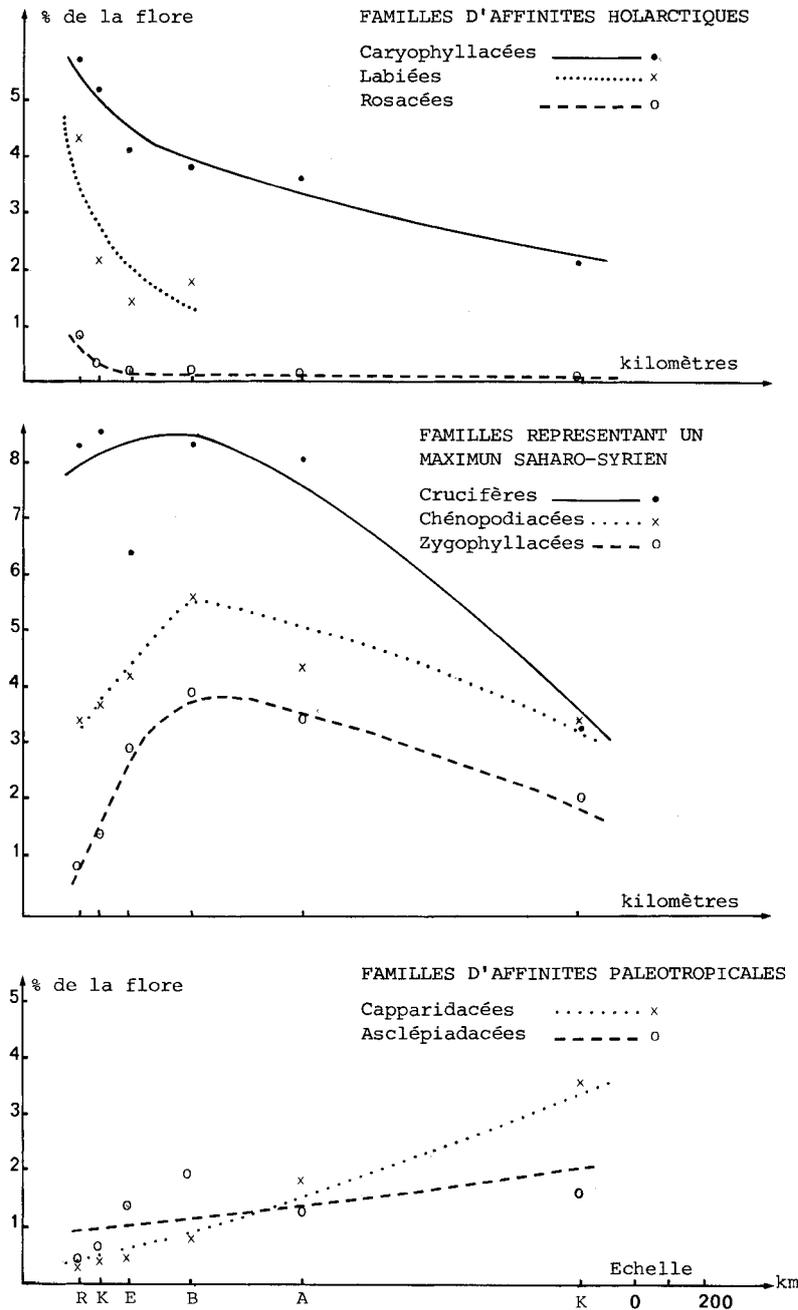


Fig.7- Variations des proportions de quelques familles dans la flore du Sahara. (R:Rich; K:Ksar-Es-Souk; E:Erfoud; B:Beni-Abbes; A:Adrar; K:Kidal).

III. ANALYSE DES ÉLÉMENTS DU CLIMAT

(pluviométrie annuelle)

Nos régions sont définies sur des critères géographiques et floristiques. Il paraît a priori aisé de regrouper les stations dans les territoires ainsi délimités.

Cependant, certaines d'entre elles ont une appartenance équivoque. Ce sont par exemple : Boumalne du Dades et Tinejdad.

De par sa situation dans le sillon sud-atlasique, Boumalne du Dades appartient à la région n°2. Cependant, son altitude relativement élevée (1586 m) et son oasis formée d'arbres fruitiers mais dépourvue de Palmiers-Dattiers la rapprochent nettement des postes de la plaine de Riche. La place de cette localité dans les secteurs 1 ou 2 est donc incertaine.

Tinejdad est également localisé dans le sillon sud-atlasique. Son appartenance géographique à la région n°2 paraît donc certaine. Pourtant son oasis où la palmeraie domine largement l'oliveraie lui offre des traits communs avec les cultures irriguées du Tafilalt. Sa pluviométrie annuelle moyenne pour la période 1925-1949 est de 115 mm. Elle est donc intermédiaire entre celle de Ksar-Es-Souk (146 mm) et celle d'Erfoud (86 mm). Sa place dans les régions 2 et 3 est donc équivoque.

En conséquence, nous distinguerons dans chaque secteur : - un noyau central de stations dont la situation dans le secteur paraît sûre ; - un nuage périphérique de postes dont la position dans une région ou une autre semble incertaine (voir Tableau I).

Toutes les zones ont une définition géographique et floristique. Il nous reste à leur donner un contenu bioclimatique.

A nos quatre régions correspondent quatre séries statistiques de mesures de la pluviométrie annuelle. Chaque série est en réalité composée de n sous-séries qui proviennent des n stations de la région.

Afin de confirmer la valeur de nos critères floristiques et géographiques et la réalité des regroupements de stations effectués, il nous est nécessaire d'accomplir au moins un test d'homogénéité sur chacune des séries complètes. C'est donc une analyse de variance, telle qu'elle est décrite dans le test de FISHER-SNEDECOR (test F).

A - ANALYSE DE VARIANCE: TEST DE FISHER-SNEDECOR

1 - Conditions d'application du test

Deux conditions doivent être vérifiées avant d'appliquer ce test. Elles portent sur les sous-séries. Ce sont les suivantes

- distribution normale de chaque sous-série ;
- même variance pour toutes les sous-séries.

Le test F est "robuste". Nous pouvons donc nous contenter d'une vérification approximative de ces deux conditions.

Pour contrôler ces deux clauses, nous avons choisi une épreuve graphique. En effet, la courbe des fréquences cumulées relatives sur papier gaussien-arithmétique est, pour une distribution normale, une droite appelée *Droite de Henry*. Celles-ci sont parallèles quand les séries statistiques ont la même variance.

La Fig. 8 produit ces tests graphiques pour trois stations importantes par région. Elle corrobore valablement pour les secteurs 2 et 3, approximativement pour le secteur 1, les conditions de l'analyse de variance. Celle-ci est donc possible.

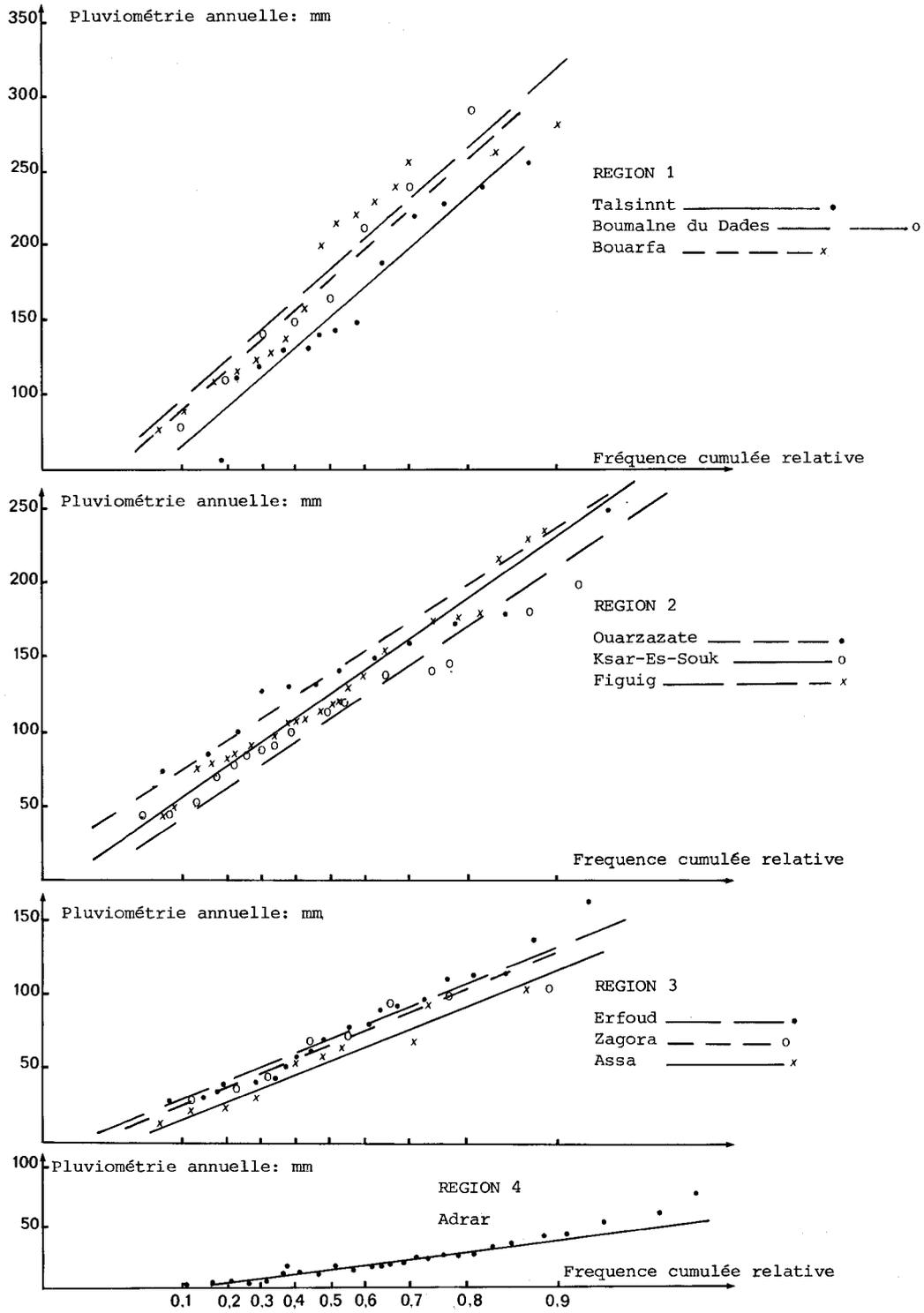


Fig.8- Vérifications des conditions d'application du test F

2 - L'analyse de variance

L'analyse de variance aboutit à l'obtention d'un coefficient F réel, observé (F_0). Il est ensuite comparé au coefficient théorique au point 5 % (F_T). Deux cas sont à envisager : $F_0 < F_T$ et $F_0 > F_T$

• $F_O < F_T$:

Les moyennes de la pluviométrie annuelle des stations d'une même région ne diffèrent pas significativement. L'identité des distributions des mesures de cet élément climatique pour toutes les localités d'un même secteur n'est pas à rejeter. Les regroupements des postes météorologiques, effectués sur des critères géographiques et floristiques ne sont pas à exclure.

• $F_O > F_T$:

Au moins la moyenne de la pluviométrie annuelle d'une station d'un secteur diffère significativement des autres. L'identité des distributions n'est donc pas réalisée. Le regroupement effectué est à éliminer.

Pour chaque région, nous avons établi au début du § III l'existence d'un "noyau" de stations appartenant sûrement à la même région et d'un "nuage périphérique" de stations équivoques, qui peuvent d'ailleurs appartenir à deux "noyaux élargis" contigus. Ces nuances nous contraignent d'exécuter l'analyse de variance à deux "niveaux" différents au moins :

- une analyse sur les "noyaux" (stations sûres seules) ;
- une analyse sur les "noyaux élargis". Ceux-ci contiennent, à côté des stations sûres, les stations équivoques les plus proches.

Au niveau des "noyaux", le test de FISHER-SNEDECOR peut se dérouler à l'intérieur de chaque noyau (analyse intra-noyau) ou entre deux noyaux contigus (analyse inter-noyau). Cette dernière permet d'aboutir au raisonnement suivant :

• $F_O > F_T$: au moins la moyenne de l'élément climatique étudié d'une station d'un des deux noyaux diffère significativement des autres. L'identité des distributions des deux noyaux n'est donc pas réalisée. Ces deux régions sont donc significativement différentes pour l'élément climatique utilisé. Celui-ci est donc déterminant dans la distinction de ces deux secteurs.

• $F_O < F_T$: les moyennes de l'élément climatique étudié de toutes les stations des deux noyaux ne sont pas significativement différentes. L'identité des distributions des deux secteurs n'est donc pas à rejeter. Nous pouvons donc regrouper ces deux noyaux en un seul dans lequel nous incluons les stations qui leur sont intermédiaires. L'élément climatique utilisé n'est donc pas déterminant dans la distinction de ces deux régions.

Ces niveaux d'analyse aboutissent au protocole d'application du test F suivant :

- analyse des "noyaux" :
 - . analyse intra-noyau : test d'homogénéité des regroupements précédemment effectués sur des critères géographiques et floristiques ;
 - . analyse inter-noyau : différenciation des regroupements, mise en évidence des éléments climatiques déterminants.
- analyse des "noyaux élargis" : tracé statistique des limites climatiques.

Résultats de l'analyse de variance

Les résultats de l'analyse de variance sont consignés au tableau V . Ils confirment statistiquement l'homogénéité des regroupements effectués (analyse intra-noyau, analyse des "noyaux élargis") et leur individualité (analyse inter-noyau) vis-à-vis de la pluviométrie annuelle.

D'autre part, ces conclusions sont ratifiées par le tracé rectiligne et divergent des épreuves graphiques de normalité portant sur l'ensemble des données relatives aux quatre secteurs (voir Fig.9).

TABLEAU V - RESULTATS DE L'ANALYSE DE VARIANCE

	COEFFICIENT F		CONCLUSIONS
	F _O	F _T	
ANALYSE DES "NOYAUX"			
Analyse intra-noyau			
Région n° 1	1,32	2,20	} F _O < F _T
Région n° 2	1,71	2,50	
Région n° 3	1,40	1,70	
Analyse inter-noyau			
Régions n° 1 et 2	2,88	1,80	} F _O > F _T
Régions n° 2 et 3	3,98	1,54	
ANALYSE DES "NOYAUX ELARGIS"			
Région n° 1	1,09	2,50	} F _O < F _T
Région n° 2	1,73	1,82	
Région n° 3	1,58	1,70	

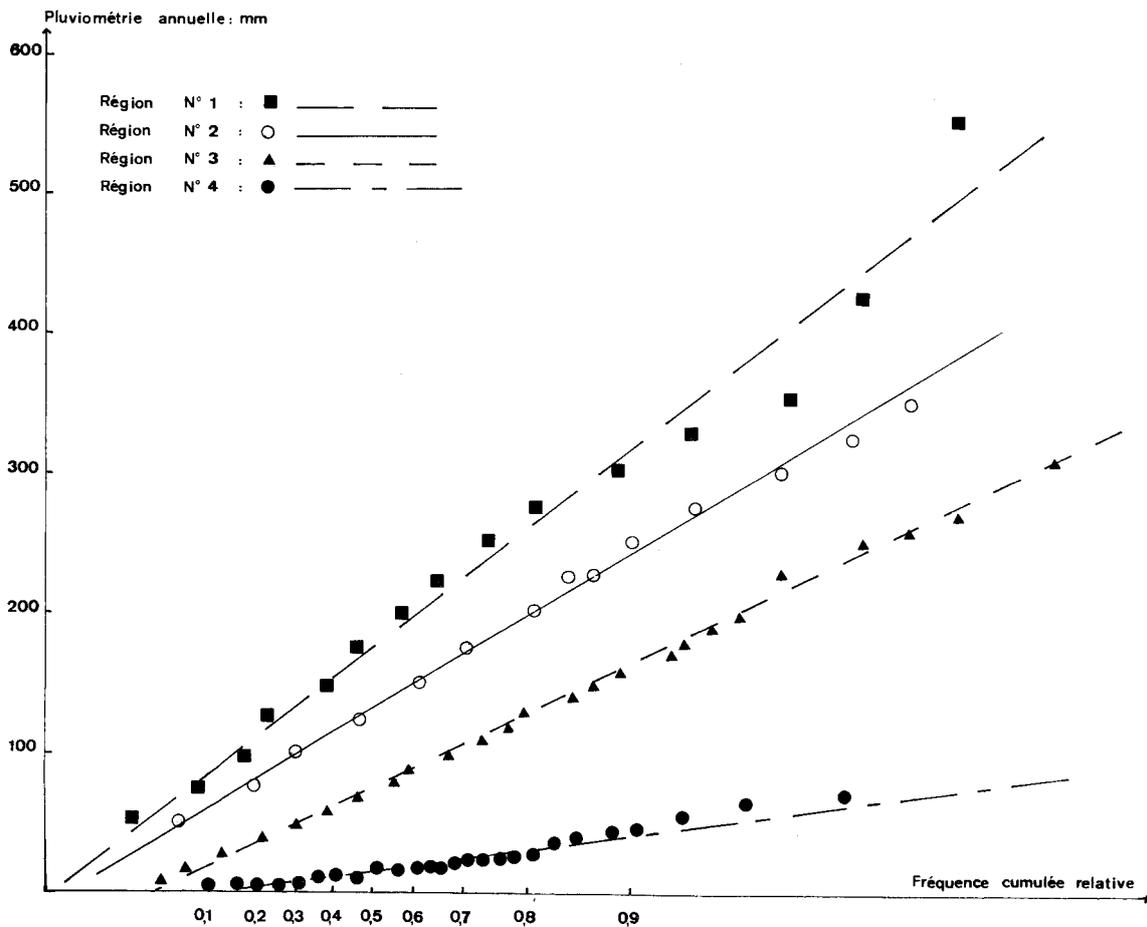


Fig.9- Epreuves graphiques de normalité pour les 4 régions

B - ETUDE DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE (fig.10, tabl.VI)

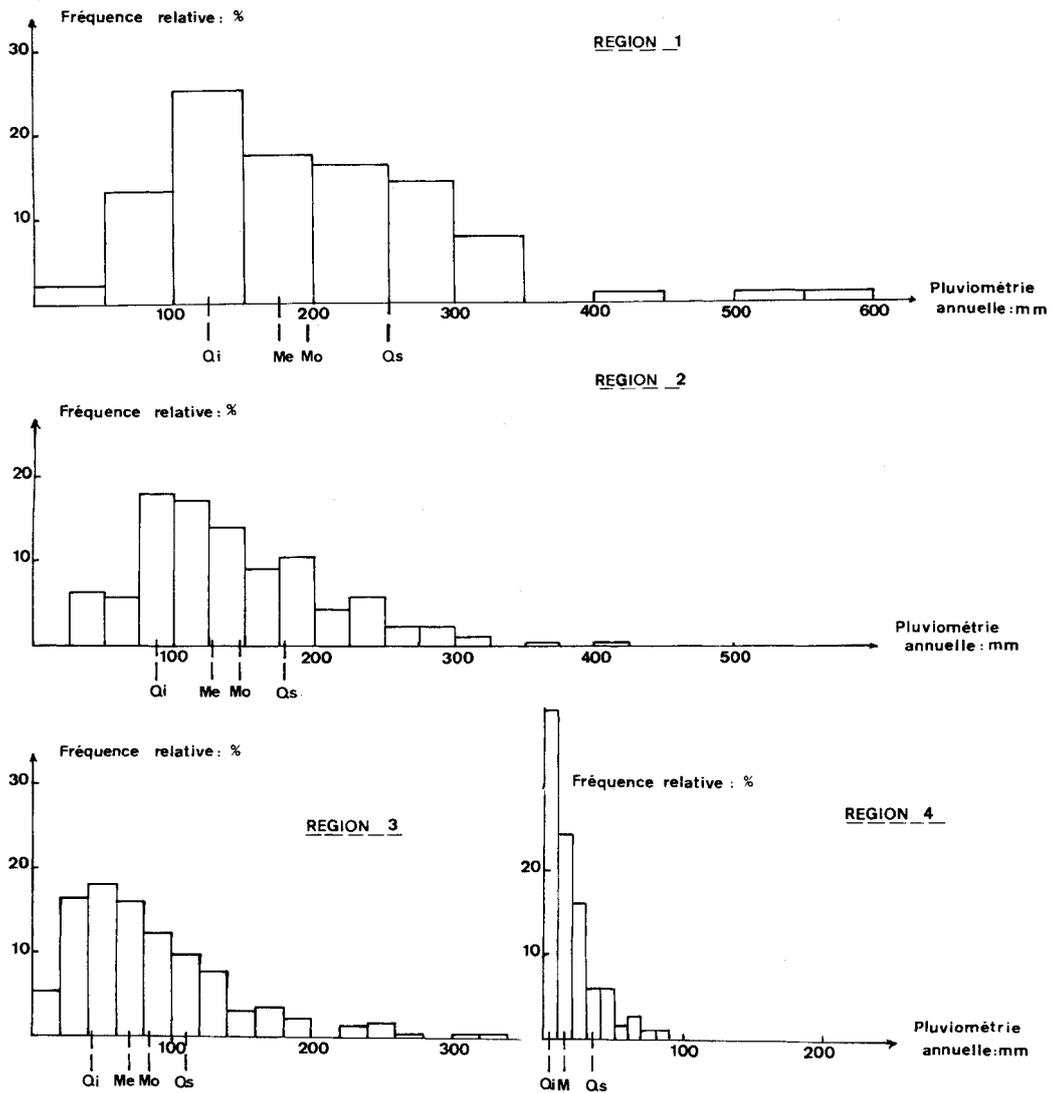


Fig.10- Histogrammes des distributions de la pluviométrie annuelle pour les 4 régions

Le tableau VI nous livre les valeurs obtenues pour les classiques paramètres de position et de dispersion des distributions relatives aux quatre régions, auxquelles nous avons ajouté, à titre comparatif, les résultats acquis par DUBIEF (Le climat du Sahara, 1963) pour certaines stations sahariennes de l'Algérie et de la Tunisie. Ce tableau appelle quelques commentaires.

Les valeurs des paramètres de position (médiane, moyenne) diminuent régulièrement du Nord au Sud. Les nuances que semble exprimer cette décroissance progressive ne paraissent pas correspondre avec la brutalité des discontinuités constatées dans l'analyse floristique. Par cette observations, nous retrouvons une remarque faite par F. JOLY (Les Hamadas sud-marocaines, 1954) à propos de la limite du Sahara dans le Sud-Marocain : "Contrairement à ce qu'on pourrait attendre, les facteurs climatiques sont très probablement parmi les moins significatifs"., et nous confirmons partiellement son hypothèse : " ... les données climatiques ne paraissent pas suffire, à elles seules, pour fixer une limite entre Présahara et Sahara marocains".

Nous ne nions pas, pour autant, l'importance des données climatiques moyennes comme repère à l'échelle mondiale. Mais, il nous a semblé nécessaire de rechercher, parmi les autres paramètres mis à notre disposition, ceux dont les variations épouseraient le plus fidèlement les courbes de l'analyse floristique. (voir Fig.6)

Un seul paramètre paraît répondre à nos exigences: le maximum absolu. En effet, celui-ci présente deux variations négatives spectaculaires entre:

- les régions n° 1 et 2 : 571-403 = 167 mm
- les régions n° 3 et 4 : 337-147 = 190 mm. (tabl. VI).

TABEAU VI - VARIABILITE DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE (mm)

Les chiffres des stations les plus orientales (Biskra, Tozeur, Touggourt...), étrangères au territoire étudié, sont donnés à titre de comparaison.

PLUVIOMETRIE ANNUELLE	REG.n°1	REGION n°2				REGION n°3				REGION n°4			
	Maroc	Maroc	Algérie	Tuni- sie	Maroc							Sahara central	
			Beni-Dunif Laghouat Biskra	Tozeur		Colomb-Béchar Ghardaïa Touggourt El Oued				Tindouf Beni-Abbes Tâmineun El Golea		Adnat In Salah	
PARAMETRES DE POSITION													
Moyenne	192	145	121 166 148	85	83	85 62 59 74				52 41 20 40		15 16	
Médiane	176	128	114 166 148	89	72	72 58 60 69				42 34 16 37		10 12	
PARAMETRES DE DISPERSION													
Maximum absolu	571	404	260 300 298	400	337	183 127 120 160				147 98 64 147		66 70	
Quartile supérieur	250	181	166 212 183	273	111	110 80 78 100				73 58 27 55		21 20	
Quartile inférieur	125	88	80 118 103	124	42	55 38 34 44				16 22 6 16		3 4	
Minimum absolu	40	30	37 31 31	49	3	29 16 8 19				0 0 0 0		0 0	
NOMBRE TOTAL DE DONNEES	88	143	27 35 35	29	207	35 35 50 35				26 35 35 35		35 35	

Nous retrouvons donc ici les coupures définies floristiquement. Bien que rarement pris en considération par les études bioclimatiques classiques, ce maximum absolu semble posséder au Maroc une signification particulière. En effet, la Fig.11 montre clairement que ces années exceptionnellement humides affectent, en plus du Sud-Est marocain, tout le reste de ce pays (voir : Khenifra, Sidi-Slimane). Elles seraient donc l'expression de perturbations océaniques particulièrement puissantes qui, après avoir arrosé tout le Maroc atlantique jusqu'à la plaine de Rich, éclabousseraient le Présahara sans toutefois atteindre le Sahara central. Il serait utile de connaître la période saisonnière de ces cyclones (étude en cours sur la pluviométrie mensuelle) et de démontrer que ces années sont ou ne sont pas synchrones avec celles du Sahara central. Quels que soient les résultats de ces nouvelles investigations, il est déjà certain que, pour la 4ème région, ce maximum absolu s'élevant à 147 mm, la pluviométrie annuelle est toujours un facteur limitant pour la végétation.

Un autre paramètre de dispersion prend une valeur biologique intéressante. En effet, dans le Sahara central, le minimum absolu est nul. Dans ces régions, la végétation subvient donc durant au moins douze mois à ses besoins hydriques sur les réserves en eau du sol et les précipitations occultes. Là aussi, il serait intéressant de connaître la répartition saisonnière des pluies des années particulièrement sèches des régions 1, 2 et 3.

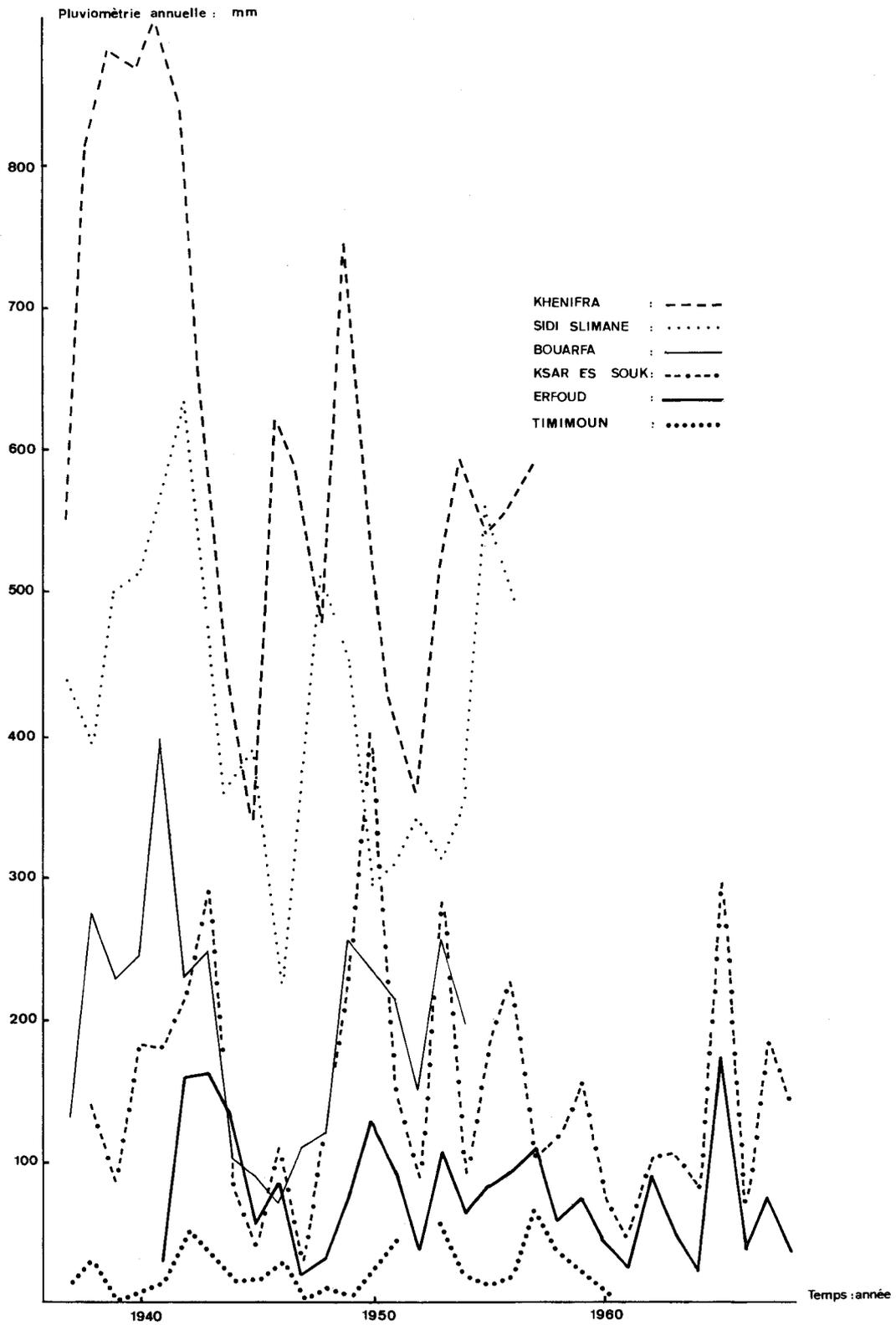


Fig.11- variations temporelles de la pluviométrie annuelle pour quelques stations du Maroc et du Sahara septentrional.

La Fig. 12 permet de retrouver l'ensemble des résultats de l'étude de la pluviométrie annuelle. Cette étude de la pluviométrie annuelle confirme donc le découpage proposé sur des critères géographiques et floristiques.

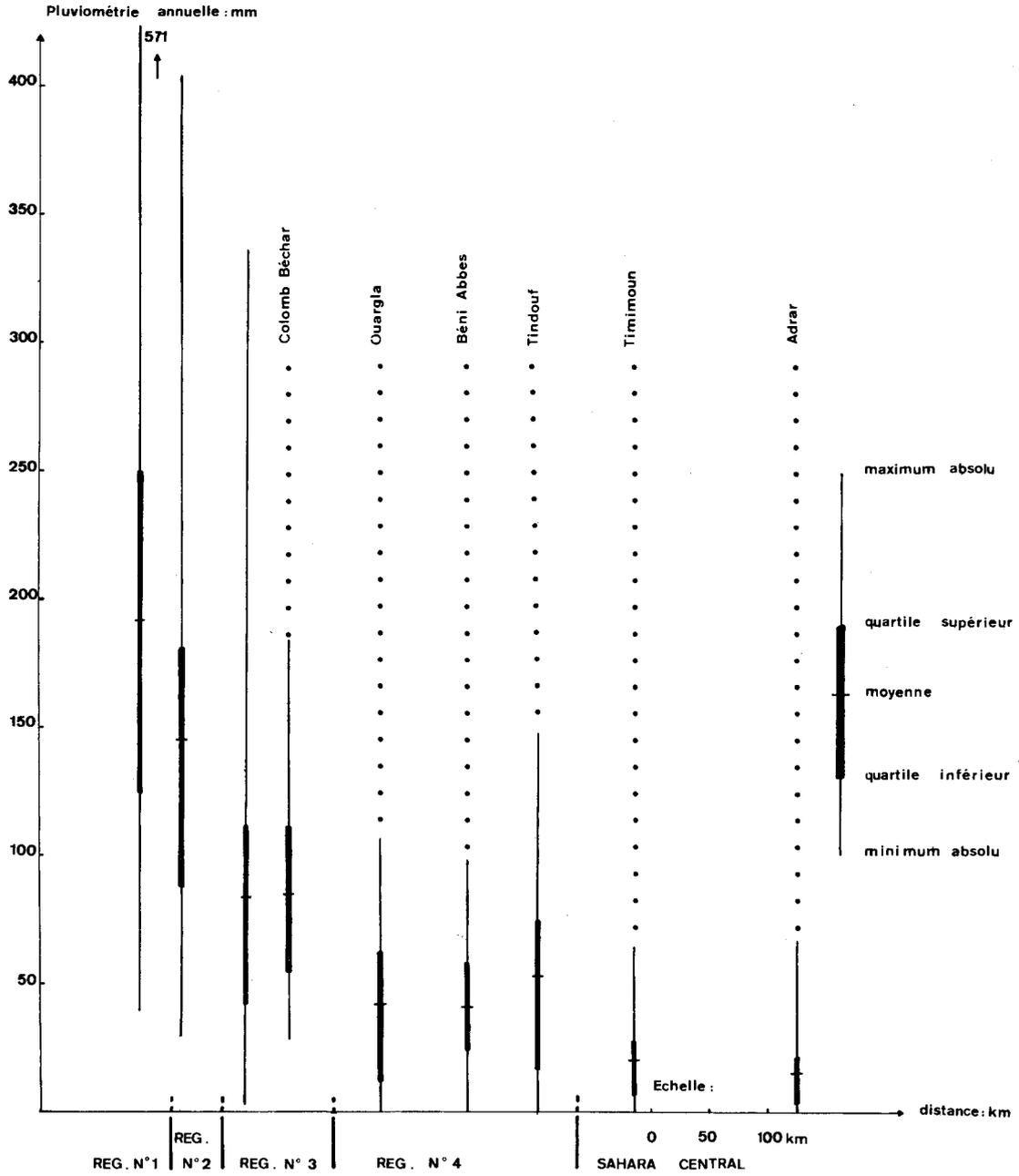
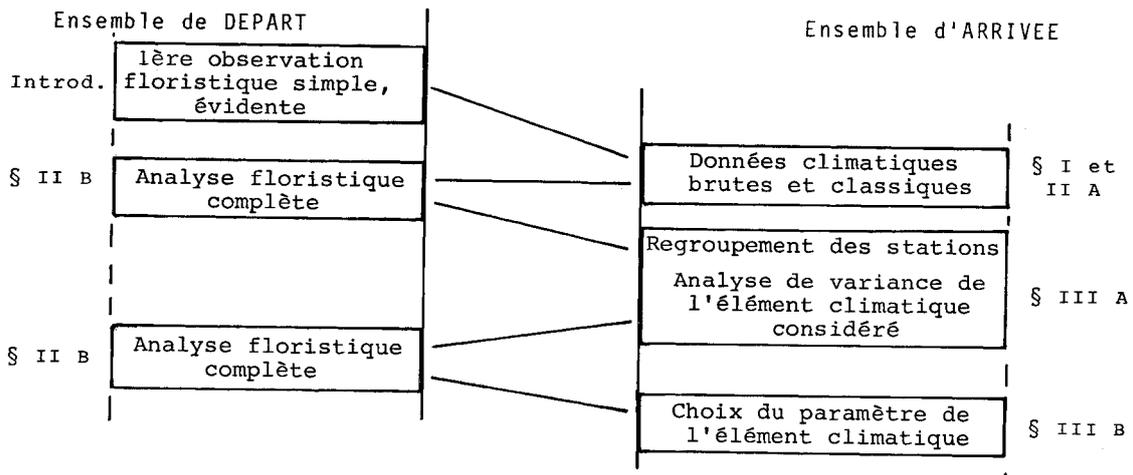


Fig.12- Variabilité géographique de la pluviométrie annuelle au Sahara septentrional et central

CONCLUSION

Le protocole de recherche que nous venons de définir est avant tout caractérisé par une suite de bijections itératives dont l'ensemble de départ est la flore d'un territoire et l'ensemble d'arrivée certains éléments climatiques. Cette suite peut être résumée par le schéma suivant :



Une originalité de la méthode est également l'utilisation de l'analyse de variance pour trier les différents éléments climatiques en notre possession, définir statistiquement puis conserver ceux qui sont déterminants pour la flore. Ainsi, partis d'un nuage hétéroclite de stations météorologiques réelles, nous pensons pouvoir proposer, pour chaque région floristique homogène, une station virtuelle, théorique définie d'après les paramètres des éléments climatiques déterminants et qui pourra être placée en tout point de cette région.

Grâce à ce protocole, nous avons identifié dans les confins saharien algéro-marocains quatre secteurs ou régions: (tabl.VII)

- une région typiquement méditerranéenne (région n° 1)
- un présahara Nord (région n° 2)
- un présahara Sud (région n° 3)
- un Sahara proprement dit (région n° 4), dont les caractères géographiques, floristiques et climatiques sont résumés au tableau VII. Nous constatons entre notre région n° 4 et le Sahara tel qu'il est défini par OZENDA et QUEZEL l'absence de chutes floristiques associée à l'identité des critères retenus pour la pluviométrie annuelle; en conséquence, nous estimons que leur définition est trop restrictive et nous proposons donc, au moins provisoirement, de l'étendre à notre région n° 4.

Nous sommes conscients que la simplicité apparente du Sud-Est marocain a favorisé la mise au point de ce protocole ; mais il doit être possible de l'étendre à des cas plus complexes. Dans un premier stade, nous espérons affiner notre technique en essayant d'établir des relations bijectives entre l'endémisme saharien et d'autres éléments climatiques. Dans une deuxième étape, nous envisagerons son application à des limites floristiques et climatiques plus floues, traversant des régions géographiques différentes ; nous pensons analyser par exemple, la complexité des séries de végétation de l'étage subalpin dans l'ensemble de l'arc alpin.

TABLEAU VII - DEFINITION DES QUATRE REGIONS

M. Eléments méditerranéens; M.S. Eléments de liaison méditerranéen-saharo-syrien

S. Eléments saharo-syriens; S.S.D. Eléments de liaison saharo-syrien-soudano-deccanien

ANALYSE	REGION n°1	REGION n°2	REGION n°3	REGION n°4
CRITERES GEOGRAPHIQUES				
Dénomination géographique	Plaine du Rich	Sillon sud-atlasique	Tafilalt Draa inférieur	Grandes Hamadas
Stations principales	Rich Bouarfa	Ouarzazate Ksar-Es-Souk Figuig	Akka Zagora Erfoud	Tindouf Beni-Abbes
Altitude	1600 à 1300 m	1200 à 900 m	900 à 600 m	800 à 500 m
Limites	Accident Sud-atlasique		Kreb des grandes hamadas	
CRITERES FLORISTIQUES				
Chutes floristiques :				
Espèces qui disparaissent	Total	134	57	88
	% M	84,3	75,3	57,9
Espèces qui apparaissent	Total	77	62	65
	% S	71,4	66,1	47,9
Eléments géographiques				
M + M.S.	64,9 %	50,2 %	36,9 %	26,1 %
S + S.S.D.	17,2 %	33,6 %	48,2 %	54,5 %
Conclusions	REGION MEDITERRANEENNE	PRESAHARA méditerranéen saharo-syrien		REGION SAHARO-SYRIENNE
CRITERES CLIMATIQUES (pluviométrie annuelle)				
Maximum absolu	<u>571 mm</u>	404 mm	337 mm	<u>147 mm</u>
Minimum absolu	40 mm	30 mm	3 mm	<u>0 mm</u>

BIBLIOGRAPHIE

- ARBOST (J.) 1892.- Rapports sur les herborisations faites par la Société Botanique de France à El Kantara.- *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 39, LXXXVI-XC.
- BAGNOULS (F.) et LEGRIS (P.) 1970.- La notion d'aridité en Afrique du Nord et au Sahara.- *Trav. Lab. For. Toulouse*, V, sect. 3, vol. 3
- BATTANDIER (J.A.) 1900.- Résultats botaniques de la mission Flamand.- *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 47, 241-253.
- BRAUN-BLANQUET (J.) 1939.- Premier aperçu phytosociologique du Sahara tunisien.- *Mém. h.s. Soc. Hist. Nat. Afr. du N.* (Trav. dédiés à R. MAIRE).
- CAPOT-REY (R.) 1953.- *Le Sahara français*.- Paris.
- CHEVALLIER (Abbé L.) 1892.- Rapports sur les excursions de la Société Botanique de France dans la région de Biskra.- *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 39, LXXI-LXXXVI.
- CLAUDIN (J.) 1973.- *Etude phytoécologique du Hodna*.- F.A.O., Alger.
- DEBRACH (J.), OUSSET (J.) et MICHEL (M.) 1958.- Données nouvelles sur la température de l'air au Maroc. 1ère partie : Températures maxima et minima.- *Ann. Serv. Phys. Gén. Météo., Inst. Sc. Chérif.*, XVIII, 67-115.
- DOUMET-ADANSOM (M.) 1892.- Liste des espèces récoltées entre Biskra et Ouargla.- *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 39, XLVII-XLVIII.
- DUBIEF (J.) 1963.- *Le climat du Sahara*.- *Inst. Rech. Sah.*, Alger, 2 tomes.
- DUBUIS (A.), FAUREL (L.) et SIMONNEAU (P.) 1960.- Note sur la flore et la végétation de la partie orientale de la Seguiet el Hamra.- *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du N.*, 51.
- EMBERGER (L.), GAUSSEN (H.), KASSAS (M.) et DE PHILIPPIS, 1963.- *Carte bioclimatique de la région méditerranéenne (2 coupures 1/5 000 000). Notice explicative*.- U.N.E.S.C.O.-F.A.O., *Rech. Z. Ar.*, XXI, 56 p.
- FLAHAUT (Ch.) 1906.- Rapports sur les herborisations de la Société Botanique de France pendant la session d'Oranie de 1906.- *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 53, CXXXV-CLXII.
- GAUSSEN (H.) 1963.- *Ecologie et Phytogéographie*.- *Précis de Botanique*.- Masson, Paris.
- GUINET (Ph.) 1958.- Notice détaillée de la feuille de Beni-Abbès (coup.sp.) de la Carte de la Végétation de l'Algérie au 1/200 000.- *Bull. Serv. Cart. Phytogéog., sér. A, Carte Vég.*, 3, fasc. 1.

- GUINET (Ph.) et SAUVAGE (Ch.) 1954.- Les Hamada Sud-Marocaines. Botanique.- *Trav. Inst. Sc. Chérif. Rabat, Serv. gén.*, 2, 75-167.
- GUINOCHET (M.) et QUEZEL (P.) 1954.- Reconnaissance phytosociologique autour du Grand Erg occidental.- *Trav. Inst. Rech. Sah.*, 12, 11-27.
- HELLER (R.) 1968.- *Manuel de statistique biologique.*- Gauthier-Villars, Paris.
- IONESCO (T.) 1965.- Considérations bioclimatiques et phytoécologiques sur les zones arides du Maroc.- *Cah. Rech. Agron.*, INRA, Rabat.
- JAHANDIEZ (E.) et MAIRE (R.) 1931.- *Catalogue des plantes du Maroc.*- Alger, 3 tomes.
- JOLY (F.) 1953.- Essai d'une définition du Présahara marocain.- *Bull. Soc. Roy. Géogr. Egypte*, 25, 57-70.
- KILLIAN (C.) 1939.- *Anabasis aretioides* Coss. et Moq., endémique du Sud-Oranais.- *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du N.*, 30, 422-436.
- KILLIAN (C.) 1943.- Sols et plantes indicatrices dans les parties non irriguées des oasis de Figuig et Béni-Ounif.- *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du N.*, 32, 301-314.
- LE HOUEROU (H.N.) 1962.- Recherches écologiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. Les milieux naturels, la végétation.- *Mém. Inst. Rech. Sah.*, 6, p. 281, Alger.
- LE HOUEROU (H.N.) 1969.- La végétation de la Tunisie steppique (avec références au Maroc, à l'Algérie, à la Libye).- *I.N.R. A.T.*, 42, fasc. 5.
- LEMEE (G.) 1953).- Contribution à la connaissance phytosociologique des confins saharo-marocains : les associations à Thérophytes des dépressions sableuses et limoneuses non salées.- *Vegetatio*, 4, 137-154, Den Haag.
- MAIRE (R.) 1952.- *Flore de l'Afrique du Nord.* - Lechevallier, Paris, tomes 1 à 13.
- OZENDA (P.) 1954.- Observations sur la végétation d'une région semi-aride : les Hauts-Plateaux du Sud-Algérois.- *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. d. N.*, 45, 189-224, Alger.
- OZENDA (P.) 1958.- *Flore du Sahara septentrional et central.*- C.N.R.S., Paris, 486 p.
- POLUNIN (N.) 1960.- *Introduction to Plant Geography.*- London et New-York.
- QUEZEL (P.) 1954.- Reconnaissance phytosociologique autour du Grand Erg occidental.- *Trav. Inst. Rech. Sah.*, 12, 11-27.
- QUEZEL (P.) 1965.- *La végétation du Sahara du Tchad à la Mauritanie.*- Masson, Paris.
- QUEZEL (P.) et SANTA (S.) 1963.- *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales.*- C.N.R.S., 2 tomes.
- SAUVAGE (Ch.) 1946.- Notes botaniques sur le Zemmour oriental (Mauritanie septentrionale).- *Mém. Off. Nat. anti-acridien*, n°2.
- SAUVAGE (Ch.) 1949.- Nouvelles notes botaniques sur le Zemmour oriental (Mauritanie septentrionale).- *Mém. Soc. Hist. Nat. Afr. d.N.*, 2 (Trav. dédiés à R. MAIRE).
- SAUVAGE (Ch.) 1962.- Le quotient pluviométrique d'Emberger, son utilisation et la représentation géographique de ses variations.- *Ann. Serv. Phys. Globe et Météo.*, *Inst. Sc. Chérif.*, Rabat.
- SAUVAGE (Ch.) 1963.- *Etages bioclimatiques. Atlas du Maroc : notices explicatives.*- Rabat.
- SAUVAGE (Ch.) et VINDT (J.) 1952.- *Flore du Maroc analytique, descriptive et illustrée : Spermatophytes.*- Tanger, fasc. 1 et 2 (Trav. Inst. Sc. Chérif.).
- SCHWARTZ (D.) 1963.- *Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes.*- Flammarion, Paris.
- VINDT (J.) 1953.- *Monographie des Euphorbiacées du Maroc.*- Tanger, 2 tomes (Trav. Inst. Sc. Chérif.).
-