

# TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES PHYTOECOLOGIQUES ET HIERARCHISATION DES VARIABLES ECOLOGIQUES, APPLICATION A UNE REGION EREMIQUE : LE TAFILALET

Patrick COQUILLARD<sup>1</sup>

ياتريك كوكيار

## ملخص

المعالجة الاحصائية للمعطيات النبات - إيكولوجية والترتيب التسلسلي للمتغيرات الإيكولوجية،  
تطبيق على ناحية قاحلة : تافيلالت.

إن المناهج الكلاسيكية لتحليل المعطيات النبات - إيكولوجية (التحليل العاملي للتطابقات : *Analyse factorielle des correspondances* والترتيب التسلسلي التصاعدي : *Classification hiérarchique ascendante*) لا تجيب إلا بصعوبة على سؤال الترتيب التسلسلي للعوامل الإيكولوجية المدروسة. لذا وحيث يطرح هذا المشكل بصيغة حادة في النواحي القاحلة (*régions érémiques*) يقترح الكاتب طريقة جديدة تنبني على النتائج العددية للتحليل العاملي للتطابقات. نتائج هاته الطريقة في حالة منطقة تافيلالت تجزم شرعية المنهج النبات - سوسيوولوجي وتؤكد الافتراضات المطروحة من طرف باحثين عديدين حول صلاحية المنهج النبات - السوسيوولوجي - الفيزيونيومي في مثل هاته المناطق. ويظهر أن المتغيرات الحيوية تشكل أدوات دمج جيدة لظروف التربة والمناخ.

## RESUME

Les programmes classiques d'analyse des données phytoécologiques (*Analyse factorielle des correspondances* et *classification hiérarchique ascendante*) ne répondent que difficilement à la question de la hiérarchisation des facteurs écologiques étudiés. Pour répondre à cette question particulièrement aigue dans les régions érémiques, il est proposé une méthode originale basée sur les résultats chiffrés de l'analyse factorielle des correspondances. Appliquée à une région érémique du Maroc (le Tafilalet), les résultats tranchent en faveur de la légitimité de la phytosociologie et confirment les hypothèses émises par divers auteurs quant à l'adéquation phytosociologie-physionomie dans ces régions. Les variables biotiques apparaissent comme d'excellents intégrateurs des conditions édapho-climatiques.

## SUMMARY

Statistical Mrocessing of phytoecological data and grading of ecological variables. Application to an eremic region : The Tafilalet. The standard programs of phytoecological data analysis (*factorial analysis of correspondances* and *ascendant hierarchical classifications*) answer, but hardly, the matter of the studied ecological factor hierarchy. To answer this particularly acute matter in eremic countries, there is an original method set up relying on the numbered results of factorial analysis of correspondances.

When applied to an eremic country of Morocco (Tafilalet), the results settled in favour of phytosociology legitimacy and corroborate hypothesis formulated by different authors as to the phytosociology-physionomical adequation in these regions. variables of biotic type appearing as excellent integrators of edapho-climatic conditions.

<sup>1</sup> Faculté de Médecine et de Pharmacie, B.P. 38, 633001, Clermont Ferrand Cedex, France.

## LES TRAITEMENTS CLASSIQUES DES DONNEES PHYTOECOLOGIQUES : CONTRAINTES ET INSUFFISANCES, PARTICULARITES

L'utilisation des traitements informatiques pour l'analyse des données phytoécologiques et phytosociologiques est maintenant très répandue. Parmi de très nombreux programmes mis en jeu, l'analyse factorielle des correspondances (ANAFAC) et les classifications hiérarchiques ascendantes (CHA) ont, sans aucun doute, les faveurs d'une large majorité d'auteurs.

Pour résumer, et sans entrer dans le détail de l'interprétation des résultats qu'offrent ces deux traitements, ni dans une simplification exagérée, disons que :

1. En ce qui concerne l'ANAFAC, celle-ci est une méthode d'ordination (FENELON, 1981). Elle n'a, en effet, pour but que de mettre en évidence des ressemblances ou des dissemblances au sein de la matrice des données, mais en aucun cas d'opérer des césures à l'intérieur de celle-ci. Procéder à des découpages, comme on l'a vu très souvent, dans une carte factorielle, représente un risque important d'erreurs et, en tout état de cause, l'élaboration des groupes ne repose alors que sur une très faible quantité d'information contenue par le graphe. Par ailleurs, un graphe factoriel ne représente qu'un des aspects, parmi d'autres, de la matrice. Il ressort de ces constatations que l'analyse "spatiale-naïve" (FENELON, 1981) consistant à dessiner des groupes à l'intérieur des graphes doit être abandonnée au profit de l'interprétation reposant sur la qualité de représentation des points (contribution du facteur au point : indice CFP) et l'inertie du point (contribution du point à l'inertie du facteur : indice CPF).

2. Le programme CHA est une méthode de classification. Opérant à partir du fichier résultat de l'ANAFAC (les indices CPF des points aux 7 premiers axes de la matrice), le programme élabore une classification qui débouche naturellement sur l'élaboration de groupes de variables étudiées. Nous avons d'ailleurs démontré, parmi d'autres, le bien fondé de l'utilisation de cette méthode en phytosociologie (COQUILLARD, 1980).

Il reste cependant qu'aucune de ces méthodes n'offre rapidement une hiérarchisation des facteurs entre eux. S'il reste possible au vu des graphes de l'ANAFAC de mettre en évidence les principaux facteurs qui régissent la matrice, il est difficile, à partir de ce type de résultats de proposer un classement de ceux-ci par ordre d'importance au delà des deux ou trois principaux, sans tomber dans le travers de l'aléa et de la subjectivité.

### NECESSITE D'UNE HIERARCHISATION DES FACTEURS EN MILIEU EMIQUE

Dès lors que l'on s'intéresse aux milieux fortement marqués par un facteur (l'eau en l'occurrence), le problème devient aigu. Les milieux extrêmes, imprégnés par la dominance d'un facteur écologique, lorsqu'ils sont étudiés au moyen des programmes statistiques dont nous parlions, offrent, comme on peut s'y attendre des résultats conformes à cette pression. Les autres facteurs sont alors obliérés, cachés à l'utilisateur, et l'interprétation devient alors délicate. La hiérarchisation est rapidement illusoire...

Cette dernière pose un réel problème dans de tels milieux. EMBERGER (1939) souligne que l'écologie de l'espèce au sein du groupement se réduit pratiquement à son autécologie... en raison du peu de rapports mutuels entre les espèces...". OZENDA (1977) écrit que "la phytosociologie présente au désert moins d'importance qu'ailleurs, les groupements végétaux restent plus clairement déterminés par des facteurs abiotiques... le tapis végétal donne souvent l'impression du continuum dans lequel la distinction des associations devient très arbitraire".

A l'inverse, CHESSEL et DONADIEU montrent en 1977, qu'en milieu aride "la compétition interspécifique pour l'occupation du milieu" n'est pas un vain mot ! Par ailleurs, des auteurs tels que DJEBAILI (1978), COULIBALY (1979), montrent l'importance des facteurs biotiques, tant au Sahara septentrional que méridional, comme intégrateurs de l'ensemble des conditions du milieu. Ils retiennent, en particulier, les facteurs suivants : première espèce vivace, seconde espèce vivace et type de végétation (formation végétale). Enfin, MANIERE et coll. (1981) montrent que les végétaux dominants (première et deuxième espèces) ont un rôle éminent d'intégrateurs des conditions et que "la préhension physiologique du monde végétal saharien est suffisamment riche d'informations pour rendre compte d'une diversité écologique et sociologique".

Nous sommes donc en présence de deux conceptions contradictoires de la logique de distribution des espèces et des sociétés végétales en territoire désertique. L'une nie la possibilité d'interactions spécifiques et par conséquent l'aspect synécologique du groupement. L'autre insiste, par contre, sur l'importance des facteurs biotiques (végétaux dominants) sans remettre en cause la légitimité de la phytosociologie dans ces milieux, donc de la synécologie.

Dans la présente note, nous nous proposons donc de vérifier qu'effectivement les facteurs biotiques sont prépondérants dans la détermination des groupements et que parmi ceux-ci la notion d'association garde toute sa valeur explicative de la distribution des végétaux en milieu érémitique.

### VARIABLES ETUDIÉES, CHAINAGE DE TRAITEMENT

Pour tenter de vérifier l'une ou l'autre de ces conceptions, nous avons intégré à notre matrice de données deux types de variables (voir tableau I) :

#### VARIABLES BIOTIQUES

Dans cette liste, nous avons retenu tout d'abord le type de végétation que COULIBALY (1979) considère comme une variable très importante. La nomenclature retenue est celle de MAIRE (1940) utilisée par BARRY et coll. (1972-73), puis la première espèce vivace ainsi que la deuxième, auxquelles nous rajoutons la première espèce herbacée.

Le pourcentage de recouvrement par la strate herbacée, si caractéristique dans sa variation en milieu érémitique, est pris en compte, de même que l'appartenance syntaxonomique, puisque la légitimité de la phytosociologie est mise en cause par divers auteurs.

#### VARIABLES ABIOTIQUES

On objectera à cette liste que le choix des variables est subjectif, sans grande originalité, et que bien d'autres variables auraient pu être codifiées. Toutefois, la taille de la matrice étant une contrainte non contournable, nous avons dû restreindre notre choix mais nous ne nions pas que celui-ci reste contestable... Quoiqu'il en soit, à travers la bibliographie, et en l'absence de plus amples informations, il apparaît que la géomorphologie puis le fait édaphique conditionnent très fortement la végétation des zones érémitiques QUEZEL (1965), CELLES (1975), COULIBALY (1979).

A ces deux variables, nous avons adjoint d'autres facteurs qui nous ont paru, a priori, pouvoir jouer un rôle : pente, exposition, géochimie, géologie structurale...

Enfin, le fait climatique est quantifié par les deux variables suivantes : la pluviométrie et la continentalité. Cette dernière repose sur l'expression : M-m dont EMBERGER (1939) souligne qu'il s'agit d'une valeur approchée, commode, de l'évaporation. Les calculs pour diverses stations de la région étudiée montrent que cet indice est largement variable, notamment en corrélation

<u>Texture (TE)</u>	<u>pH (PH)</u>	<u>Conductivité 1/5 (CE)</u>	<u>Calcaire total (CA)</u>	<u>Deuxième espèce vivace dominante (ED)</u>	
LA = 01 LAS = 02 AS = 03 SL = 04 LS = 05 S = 06	Deux classes d'effectifs égaux : PH01 et PH02	Quatre classes d'effectifs égaux: CE01, CE02, CE03, CE04.	Trois classes d'effec- tifs égaux: CA01, CA02, CA03.	<i>Parsetia hamiltonii</i> : 01 <i>Anabasis aetioïdes</i> : 02 <i>Arthrophytum scoparium</i> : 03 <i>Salsola tetragona</i> : 04 <i>Zygophyllum album</i> ssp. <i>gaetulum</i> : 05 <i>Lygeum spartum</i> : 06 <i>Artemisia herba alba</i> : 07	<i>Salsola tetrandra</i> : 08 <i>Helianthemum lippii</i> : 09 <i>Randonia africana</i> : 10 <i>Anvillea radiata</i> : 11 <i>Gymnocarpus decander</i> : 12 <i>Atractylis serratuloides</i> : 13 <i>Pithuranthos scoparius</i> : 14
<u>Profondeur de sol meuble (PS)</u>	<u>Pellicule de glaçage (PG)</u>	<u>Pourcentage de cailloux(PC)</u>		<u>Première espèce herbacée dominante (EH)</u>	<u>Pourcentage de recouvrement par la strate herbacée(SH)</u>
0-10 cm 01 10-20 cm 02 + 20 cm. 03 Indéterminé 04	Présente: 01 Absente : 02	25 % : 01 de 25 à 50 % : 02 de 50 à 75 % : 03 + de 75 % : 04		<i>Morettia canescens</i> : 01 <i>Eryngium ilicifolium</i> : 02 <i>Leyssera leysseroïdes</i> : 03 <i>Plantago akkensis</i> : 04 <i>Linaria aegyptiaca</i> : 05 <i>Plantago ovata</i> : 06 <i>Ifloga spicata</i> : 07 <i>Stipagrostis plumosa</i> s.l. : 08 <i>Plantago ciliata</i> : 09 <i>Schismus barbatus</i> : 10 Absente ou non échantillonnée : 11 <i>Odontospermum pygmaeum</i> : 12	5 % : 01 de 5 à 10 % : 02 10 à 20 % : 03 Indéterminé : 04
<u>Diamètre moyen des cailloux (DC)</u>	<u>Géochimie (GC)</u>	<u>Géologie structurale (GS)</u>			
2cm : 01 de 2 à 10cm : 02 10 et + : 03 Indéterminé : 04	Silice : 01 calcaire : 02 Indéterminé: 03	Massifs d'âge primaire : 01 Massifs d'âge secondaire et : 02 tertiaire : 03 Plaine alluviale : 04			
<u>Géomorphologie (GO)</u>	<u>Pente (PE)</u>	<u>Exposition (EX)</u>			
Terrains plats ss. : 01 Versants : 02 Regs : 03 Dépressions : 04 Oueds : 05	de 1 à 10 % : 01 10 à 40 % : 02 nulle : 03	Nord : 01 Ouest : 02 Nord- ouest : 03 Sud- est : 04 Pas d'exposit.: 05			
<u>Pluviométrie (PL)</u>	<u>Continentalité (CO)</u>	<u>Type de végétation (TV)</u>		<u>Appartenance syntaxonomique (AS)</u>	
de 100 à 150 mm : 01 60 à 100 mm : 02	Boudenib : 01 Errachidia : 01 Goulmima : 02 Jorf el hammam : 03 Alnif : 04 Rissani Erfoud : 05 Taouz : 06	39.3 °c 38.2 "" 42.5 "" 41.8 "" ? "" 45.2 ""		Dépression : 01 Oueds : 02 Steppe dense(>30%) : 03 Steppe diffuse(<30%) : 04 Steppe contractée : 05 Steppe arborée : 06	
<u>Première espèce vivace dominante (EP)</u>					
<i>Arthrophytum scoparium</i> : 01 <i>Limoniastrum feesi</i> : 02 <i>Convolvulus trautianus</i> : 03 <i>Atractylis serratuloides</i> : 04 <i>Randonia africana</i> : 05 <i>Parsetia hamiltonii</i> : 06	<i>Traganum nudatum</i> : 07 <i>Launaea arborescens</i> : 08 <i>Zygophyllum album</i> ssp. <i>gaetulum</i> : 09 <i>Artemisia herba alba</i> : 10 <i>Anabasis aetioïdes</i> : 11 <i>Suaeda mollis</i> : 12				

Tableau I : Codification des variables

Parcommodité, nous emploierons les termes suivants:

- AS01 : Glacis d'érosion, terrains peu profonds des hamadas,  
AS02 : Sols profonds des hamadas, plus ou moins sableux,  
AS03 : Oueds à *Zizyphus lotus*, *Retama retam*,  
AS04 : Sols sableux des hamadas,  
AS05 : Fortes pentes,  
AS06 : Stations xériques du massif d'âge primaire,  
AS07 : Sols salés.

avec la latitude - continentalité croissante vers le sud- mais aussi avec la longitude, la continentalité augmentant singulièrement avec les reliefs de l'Anti Atlas (Djbel Ougnate) CHAUMAT (1977) COQUILLARD (1982).

#### CHAINAGE DE TRAITEMENT

Nous avons à notre disposition 94 relevés de type phytosociologique effectués dans la région du Tafilalet, dans un rectangle limité, *grosso modo*, par les coordonnées suivantes : 31-32° de latitude nord et 3° 32' - 5° de longitude ouest (fig. 1). A 26 d'entre eux nous avons adjoint un prélèvement des données écologiques, dont les prélèvements pédologiques (les variables abiotiques et biotiques dont nous parlons ci-dessus).

L'intégration de la variable syntaxonomique (appartenance phytosociologique) se faisant au niveau de la deuxième matrice (voir fig. 2), constituée de 26 stations (relevés) et de 115 modalités (c'est à dire 23 variables "éclatées" en 115 modalités).

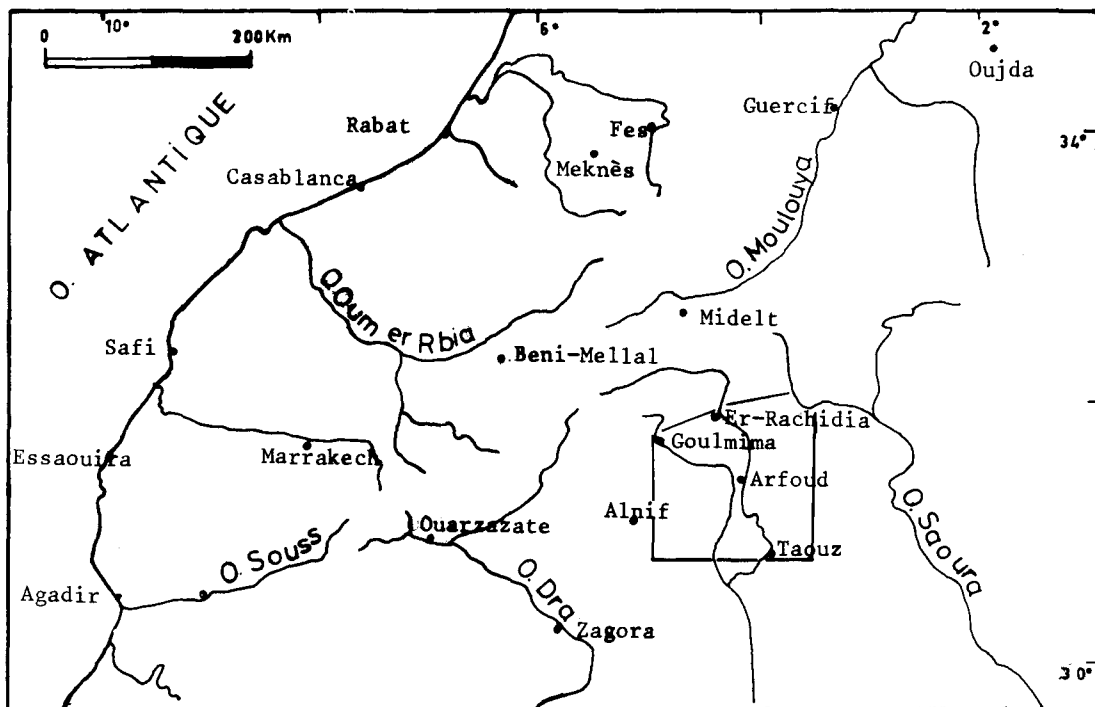


Fig. 1 : Carte de situation de la région étudiée

## RESULTATS

### ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

Obtenu par la CHA sur le fichier de l'ANAFAC<sub>1</sub> (fig. 2), elle conduit à distinguer 7 groupements que nous ne publions pas ici; cet aspect n'étant pas l'objet de la présente note. Chacun de ces groupements devient une modalité de la variable "appartenance syntaxonomique" lors du traitement suivant.

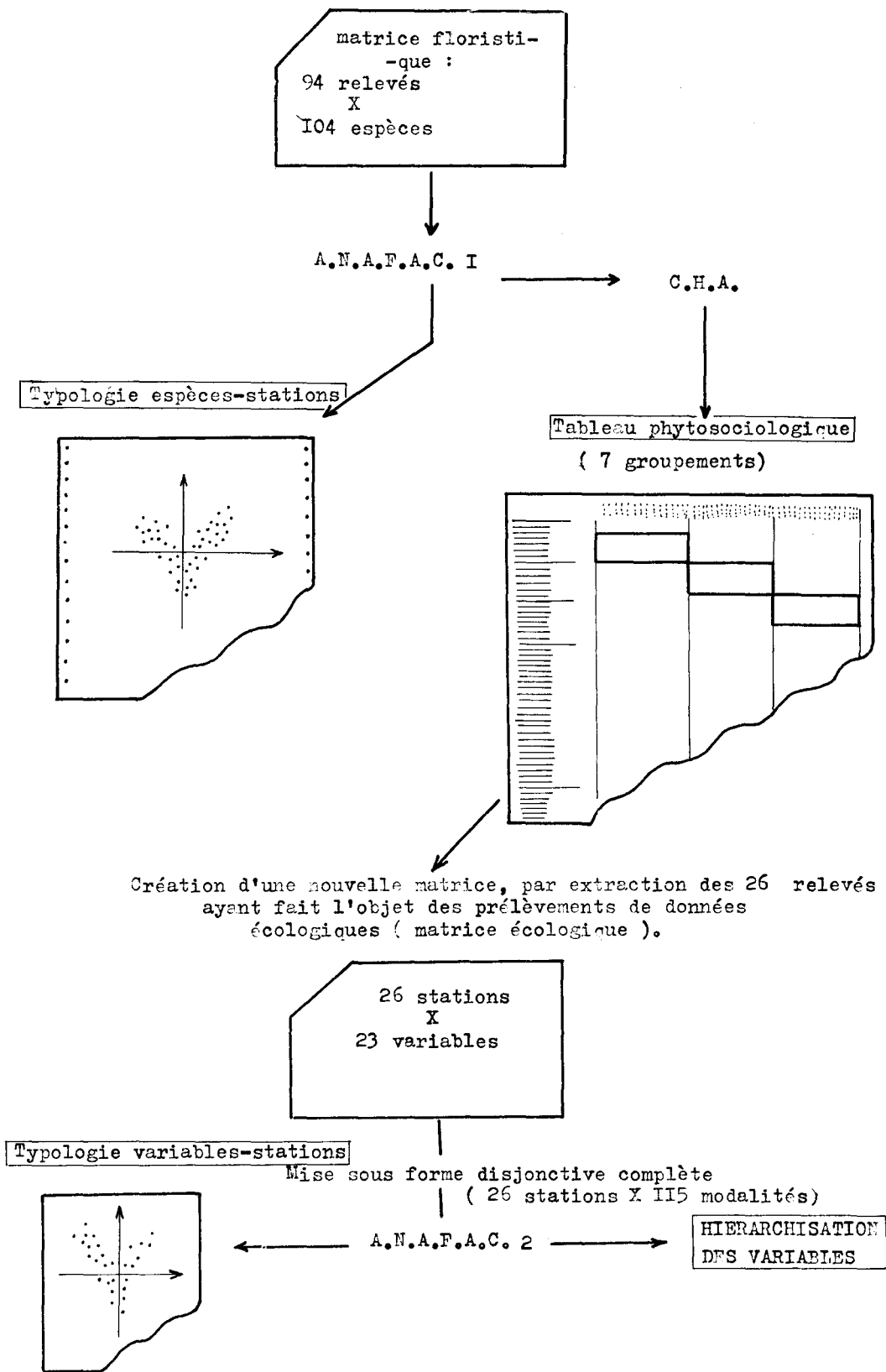
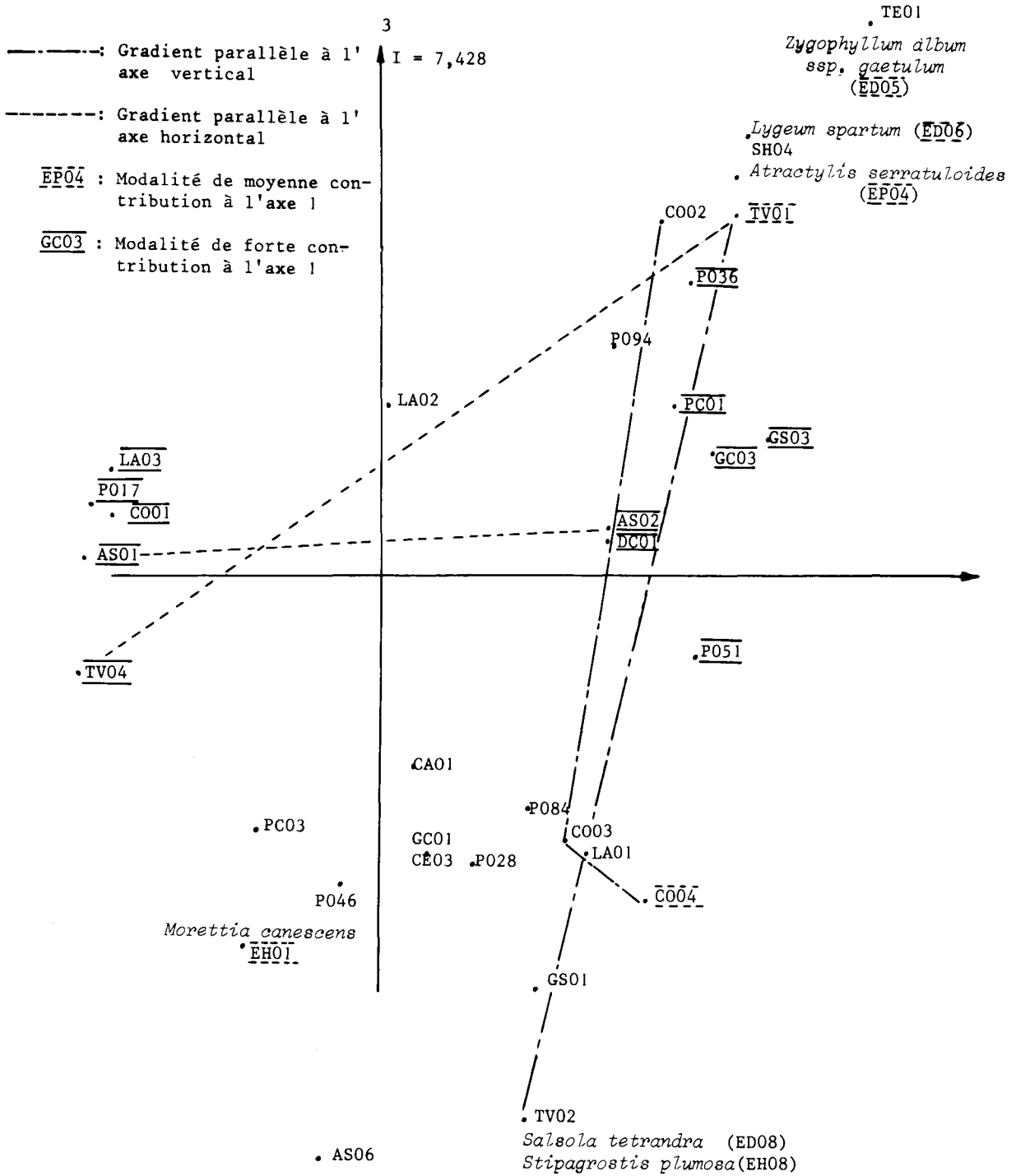


Figure 2 : Chainage de traitement



Figure 4 : ANAFAC N° 2, plan factoriel 1-3





- L'axe 1 représente très vraisemblablement un gradient bioclimatique, parallèle à une direction nord-sud, sur les hamadas<sup>1</sup> secondaires et tertiaires. En effet, sur la partie négative de l'axe nous trouvons rassemblées les modalités suivantes : latitude forte, continentalité faible, groupement des glacis d'érosion sur hamada (regs), les steppes diffuses. La partie positive concentre les modalités : latitude faible, continentalité moyenne, groupement des sols profonds sur hamada, massifs d'âge secondaire et tertiaire.

- L'axe 2 est un gradient de texture, où l'on passe des sols enrochés et siliceux du massif primaire, milieu à forte continentalité, à l'ouest, à des sols à texture sableuse (groupement des oueds à *Ziziphus lotus* et *Retama retam*) de la plaine alluviale Ziz-Rheris. A ces formations, s'adjoignent les formations dominées par *Traganum nudatum*, *Artrophytum scoparium*, *Plantago ovata* (une analyse plus approfondie au moyen d'autres traitements montre que ces espèces ont un comportement de psammophiles, que l'on retrouvera dans les oueds sableux des hamadas (COQUILLARD, 1982).

Plan factoriel 1-3 (fig. 4)

Sur ce plan, apparaît l'axe 3 qui représente un gradient de salinité-xéricité. En effet, sur cet axe s'opposent les oueds enrochés et xériques plus ou moins salés du massif primaire à forte continentalité, marqués par des espèces telles que *Salsola tetrandra*, *Stipagrostis plumosa*, aux dépressions à textures équilibrées (limono-argileuse), densément couvertes d'une végétation halotolérante à halophile : *Zygophyllum album gaetulum*, *Lygeum spartum*, *Atractylis serratuloides*.

Conclusion à l'analyse phytoécologique

Nous en étant tenu aux recommandations des statisticiens, l'analyse ne peut aller raisonnablement plus loin. Elle est cependant satisfaisante car elle correspond bien à la géographie de la région, confirme et affine les premières conclusions que le naturaliste retire de la prospection dans cette région.

Néanmoins, la recherche des facteurs dominants parmi ceux échantillonnés, donnant la clé de la répartition des espèces n'est pas satisfaite... Il reste à établir quels sont les facteurs qui intègrent le mieux l'ensemble des conditions édapho-climatiques, notion essentielle en cartographie. En bref, et là, nous revenons à la problématique exposée ci-dessus, il s'agit de hiérarchiser les variables étudiées.

#### PROPOSITION D'UNE METHODE POUR LA HIERARCHISATION DES VARIABLES A PARTIR DES RESULTATS CHIFFRES DE L'ANAFAC.

Pour ce faire, nous utiliserons les CPF par variable 'sur les 7 axes que nous fournit l'ANAFAC2 (tableau II). Dans un premier temps, nous totalisons les valeurs des CPF de chaque variable sur chacun des axes (exemple : la somme des CPF des modalités de la variable texture (TE), sur le premier axe est : 42 millièmes, sur le deuxième : 61 millièmes etc...). Puis nous exprimons en millièmes cette valeur par rapport à l'inertie totale de la matrice, en considérant successivement chaque axe (exemple : la texture représente 16,4 millièmes de l'inertie de la matrice par rapport à l'axe 1, 17,6 par rapport à l'axe 2 etc...). La somme d'une ligne d'une variable représente donc la contribution de cette variable à l'ensemble de la matrice, en ne considérant que les sept premiers axes, soit une inertie totale de 49,18% de celle-ci. Cette valeur est très suffisante pour considérer que nos comparaisons sont significatives (voir tableaux III et IV). Les calculs montrent que l'on peut hiérarchiser ainsi les variables :

<sup>1</sup> Vastes plateaux (formés à l'ère secondaire ou tertiaire) dont l'uniformité et la plaineité sont caractéristiques. Leur inclinaison est faible (quelques mètres au kilomètre) et leurs dimensions sont considérables : la hamada du Guir s'étend sur plus de 150 km du Nord au Sud.

M.	Axe 1		Axe 2		Axe 3		Axe 4		Axe 5		Axe 6		Axe 7	
	CFP	CPF	CFP	CPF	CFP	CPF	CFP	CPF	CFP	CPF	CFP	CPF	CFP	CPF
TE01	121	13	14	2	144	21	0	0	4	1	120	23	2	0
TE02	8	1	19	2	151	19	1	0	183	28	72	12	57	10
TE03	57	6	10	1	19	3	12	2	6	1	1	0	1	0
TE04	45	4	24	3	2	0	0	0	335	46	51	7	131	21
TE05	4	0	13	1	74	8	40	5	44	6	144	20	200	31
TE06	179	18	385	52	111	15	37	6	0	0	2	0	4	1
PH01	10	0	38	2	112	7	0	0	367	29	83	7	4	0
PH02	12	1	49	4	104	10	3	0	357	41	94	11	0	0
CE01	55	4	3	0	104	12	45	6	143	20	112	16	45	7
CE02														
.														
.														
etc,														

Tableau II : Indices CFP et CPF des modalités des variables de l'ANAFAC<sub>2</sub>. (variables écologiques). (partiel)

axes variables	1	2	3	4	5	6	7
TE	42	61	66	13	82	62	63
pH	1	6	22	0	70	18	0
CE	9	38	49	13	40	70	36
CA	0	30	43	23	31	4	83
PS	46	39	29	65	21	4	44
PG	5	9	4	6	6	51	1
PC	56	27	49	54	43	49	27
DC	63	1	5	4	18	5	5
GC	62	50	29	2	39	31	13
GS	73	52	45	20	9	33	18
GO	50	37	20	95	13	68	70
PE	5	22	6	22	16	2	3
EX	15	45	13	62	21	19	107
LA	47	5	8	12	5	56	1
LO	46	80	15	88	8	8	7
PL	44	0	21	5	0	4	8
CO	86	62	101	7	61	30	24
TV	54	76	76	69	119	104	37
EP	81	72	76	100	68	114	88
ED	59	126	95	161	161	149	118
EH	67	78	69	110	71	107	94
SH	10	18	14	50	25	16	105
AS	59	99	50	43	57	14	56
	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Tableau III : calcul des contributions relatives de chaque variable aux 7 premiers axes de la matrice écologique.

axes variables	1	2	3	4	5	6	7	TOTAL /7 axes
TE	16.4	17.6	18.5	3.2	18.9	13.6	12.6	100.8
pH	0.4	1.7	6.2	0.0	16.1	4.0	0.0	28.4
CE	0.4	11.0	13.7	3.2	9.2	15.4	7.2	60.1
CA	0.0	8.7	12.0	5.7	7.1	0.9	16.6	51.0
PS	17.9	11.3	8.1	16.2	4.8	0.9	8.8	68.0
PG	2.0	2.6	1.1	1.5	1.4	11.2	0.2	32.4
PC	21.8	7.8	13.7	13.5	9.9	10.8	5.4	82.9
DC	24.6	0.3	1.4	1.0	4.1	1.1	1.0	33.5
GC	24.1	14.5	8.1	0.5	8.9	6.8	2.6	65.5
GS	28.5	15.1	12.6	5.0	2.1	7.3	3.6	74.2
GO	19.5	10.7	5.6	23.7	3.0	14.9	14.0	91.4
PE	2.0	6.4	1.7	5.5	3.7	0.4	0.6	20.3
EX	5.8	13.1	3.6	15.5	4.8	4.2	21.4	68.35
LA	18.3	1.5	2.2	3.0	1.1	12.3	0.2	38.6
LO	17.9	23.2	4.2	22.0	1.8	1.8	1.4	72.3
PL	17.2	0.0	5.9	1.3	0.0	0.9	1.6	26.8
CO	33.5	18.0	28.3	1.7	14.0	6.6	4.8	106.9
TV	21.0	22.0	21.3	17.2	27.4	22.9	7.4	139.2
EP	31.6	20.1	21.3	25.0	15.6	25.1	17.6	156.3
ED	23.1	36.0	26.6	40.3	37.0	32.8	23.6	219.4
EH	26.1	22.6	19.3	27.5	16.3	23.5	18.8	154.1
SH	3.9	5.2	3.9	12.5	5.7	3.5	21.0	55.7
AS	23.0	28.7	14.0	10.7	13.1	3.1	11.2	103.8

Tableau IV : calcul des contributions relatives de chaque variable à l'ensemble de la valeur propre de la matrice, et sommée sur les sept premiers axes de celle-ci.

(ED) Deuxième espèce .....	219.4	(PS) Profondeur de sol meuble.....	68.0
(ÉP) Première espèce .....	156.3	(GC) Géochimie .....	65.5
(EH) Espèce herbacée.....	154.1	(CE) Conductivité 1/5.....	60.1
(TV) Type de végétation.....	139.2	(SH) Recouvrement herbacé.....	55.7
(CO) Continentalité.....	106.9	(CA) Calcaire total.....	51.0
(AS) Appartenance syntaxonomique...	103.8	(LA) Latitude.....	38.6
(TE) Texture.....	100.8	(DC) Diamètre des cailloux.....	33.5
(GO) Géomorphologie.....	91.4	(PG) Pellicule de glaçage.....	32.4
(PC) Pourcentage de cailloux.....	82.9	(PH) pH.....	28.4
(GS) Géologie structurale.....	74.2	(PL) PLuviométrie.....	26.8
(LO) Longitude.....	72.3	(PE) Pente.....	20.3
(EX) Exposition.....	68.5		

### DISCUSSION

Il ressort immédiatement de cette hiérarchisation que les variables de type biotique arrivent largement en tête. En effet, 5 de ces dernières sont aux 6 premières places. On remarquera que les quatre premières d'entre elles ont trait à la physionomie de la végétation. En cela, nous confirmons tout à fait les hypothèses de COULIBALY et de DJEBAILI exposées ci-dessus, à savoir leur qualité d'intégration des conditions édapho-climatiques de la région.

La bonne place prise par la variable "appartenance syntaxonomique" (phytosociologique) permet de postuler que :

- cette variable est bien une réalité au Sahara et que même si de nombreux travaux (dont les nôtres !) ont montré combien il est difficile de l'appréhender, la phytosociologie (GUINOCHE, 1973) est applicable aux milieux érémiques. Il n'est cependant pas exclu que des travaux montrent à l'avenir, qu'elles doivent recevoir quelques aménagements spécifiquement en rapport avec le fait désertique.

- plus qu'ailleurs, il existe bien une adéquation entre physionomie et phytosociologie. Nos résultats confirment tout à fait ceux de MANIERE et col. (1981). Dans le domaine de la cartographie à petite échelle, la caractérisation des groupements par les premières espèces devrait rendre les plus grands services. Il est à remarquer que notre hiérarchisation met en bonne place la variable "première espèce herbacée"; jouerait-elle un rôle similaire à celui de première et deuxième espèce? Ce résultat est inverse de celui obtenu par ces auteurs. Il est, à notre avis, prématuré de tirer des conclusions définitives à ce sujet. En effet, l'inconsistance de la "phénologie thérophytique" (MANIERE, 1975) rend la préhension de cette variable extrêmement délicate, l'éphémérophytisme imposant une contrainte climatique qui ne permet que rarement une récolte de données objectives.

Le pourcentage de recouvrement herbacé semble, au contraire, être peu porteur d'information (seizième place).

Si les variables abiotiques arrivent en seconde position, elles peuvent, pour certaines d'entre elles, apporter une quantité non négligeable d'informations: continentalité, texture, géomorphologie, pourcentage de cailloux... Ce résultat appelle quelques remarques. Il s'agit des variables qualifiables de synthétiques. Nous entendons par là qu'elles rendent compte d'un ensemble de facteurs. Par exemple la continentalité recouvre l'ensemble des facteurs dirigeant une partie du

cycle de l'eau dans ces écosystèmes. Par contre, les variables plus fines : pH, pluviométrie, conductivité 1/5, etc... n'ont pas lieu d'être prises en compte ici. Ceci indique qu'à une échelle de perception donnée (la région dans notre cas), les variables à collecter doivent être de type synthétique. A plus grande échelle que la nôtre (stationnelle par exemple) la hiérarchie eût sans doute changé pour donner la préférence au second type.

### CONCLUSION

La méthode que nous proposons a l'avantage de la simplicité et de l'accès direct après traitement. Basée sur les résultats chiffrés de l'ANAFAC, elle explicite la première analyse des graphes et répond à la nécessité de hiérarchiser les facteurs étudiés. Sans être très précise dans ses résultats, elle permet de relativiser l'importance des groupes de variables entre eux. Il faut cependant se garder d'affirmations trop définitives et péremptoires, la position d'une variable dépendant de l'inertie de plusieurs axes factoriels.

Toutefois, elle nous a permis de confirmer bien des aspects de nombreux travaux antérieurs :

- légitimité de la phytosociologie en milieu érémitique;
- adéquation entre physionomie et phytosociologie, dans ces mêmes milieux, déjà proposée par

MANIERE et col. (1981);

- Rôle éminent des variables synthétiques comme intégrateurs de l'ensemble des conditions édapho-climatiques;

Tous ces résultats devraient trouver une application directe en cartographie à petite échelle. Cependant, nous gardons à l'esprit qu'ils ne sont pour l'instant que des jalons et qu'ils s'entendent aux réserves suivantes :

- qualité de l'échantillonnage;
- échelle de perception.

Dès lors, nos conclusions ne pourront être comprises comme définitives que dans le contexte d'une étude beaucoup plus vaste. Le rôle des herbacées, en particulier, reste peu connu.

### BIBLIOGRAPHIE

- BARRY J.P. et CELLES J.C. (1972-1973). - Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara algérien. (entre 0° et 6° de longitude est). *Naturalia Monspelienisa, ser. bot.*, 23-24, 5-48.
- CELLES J.C. (1975). - Contribution à l'étude de la végétation des confins saharo-constantinois (Algérie). Thèse doct. Etat, Univ. Nice
- CHAUMAT R. (1977). - *Vers une analyse fine d'une limite bioclimatique et floristique : la limite septentrionale du Sahara au Maroc*. Doc. Carto. Ecol., 19 : 77-103.
- CHESEL D. et DONADIEU P. (1977). - Introduction à l'étude de la structure horizontale en milieu steppe. Dispersion locale, densité et niveau d'implantation. *Oecologia Plantarum*, 12, 3.
- COQUILLARD P. (1980). - Etude des formations et groupements végétaux du vallon de Laghet (A.M.), en vue de l'aménagement des abords de l'autoroute A8. In comité de gestion des ressources renouvelables (D.G.R.S.T.) : Structure, dynamique et utilisation des formations à chêne pubescent en zone méditerranéenne. 7 p.
- (1982). - *Approche phytoécologique d'une enclave saharienne au Maroc oriental : le Tafilalet*, Thèse de doc. 3ème cycle, Université de Nice.
- COULIBALY A. (1979). - *Approche phytoécologique et phytosociologique de pâturages sahéliens au Mali (région du Gourma)*. Thèse de 3ème cycle, Université de Nice.

- DAHDOUH J.F., DURANTON J.F., LECOQ M. (1978). - Analyse des données sur l'écologie des acridiens d'Afrique de l'ouest. *Les cahiers de l'analyse des données*, 3, 4 : 459-482.
- DJEBAILI S. (1978). - *Recherches phytosociologiques et écologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien*. Thèse de doc. d'état, Université des Sc. et techn. Languedoc, Montpellier.
- DONADIEU P; (1977). - *Contribution à une synthèse bioclimatique et phytogéographique au Maroc*. Inst. Agron. Vét. Hassan II, Rabat.
- EMBERGER L. (1939). - Aperçu général sur la végétation du Maroc. *Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc au 1/500 000*, *Veröf. Geobot. Inst. Rübel in Zürich*, 14, 40-157.
- FENELON J.P. (1981). - *Qu'est-ce que l'analyse des données ?* Lefonen, Paris.
- GUINOCHET M. (1973). - *Phytosociologie*, Masson, Paris.
- IONESCO T., SAUVAGE CH. (1962). - Les types de végétation au Maroc, essai de nomenclature et de définition. *Rev. géog. Maroc*, 1 et 2 : 75-86.
- JAHANDIEZ E., MAIRE R. (1941). - *Catalogue des végétaux vasculaires du Maroc*. 4 tomes, Minerve, Paris
- MANIERE R. (1975). - *Approche phytoécologique et phytosociologique de la steppe à Rhanterium suaveolens desf. (Sahara septentrional algérien)*. Thèse de doc. 3ème cycle, Université de Nice.
- MANIERE R., CELLES J.C., BARRY J.P. (1981). - *La cartographe de la végétation à petite échelle en région désertique : analyse critique*. *Col. Int. Carto. à petite échelle, Doc. Carto. Ecol.*, 24, Grenoble.
- OZENDA P. (1977). - *Flore du Sahara*. Deuxième édition (revue et augmentée), C.N.R.S., Paris.
- QUEZEL P; (1965). - *La végétation du Sahara, du Tchad à la Mauritanie*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart., 333 p.
- SAUVAGE Ch., GUINET P. (1954). - Les hamadas sud-marocaines, 3ème partie : botanique, *Trav. Inst Sci. Chérif. Edit. Internationales, Tanger.*

*Manuscrit reçu le : 31. 1. 1985*