

J. KERBE

L'image climatique des mois et saisons de l'Arabie Saoudite

Les cahiers de l'analyse des données, tome 12, n° 4 (1987),
p. 419-442

http://www.numdam.org/item?id=CAD_1987__12_4_419_0

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1987, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Les cahiers de l'analyse des données » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

L'IMAGE CLIMATIQUE DES MOIS ET SAISONS DE L'ARABIE SEOUDITE

[CLIMAT ARABIE]

*J. KERBE**

1 Du problème aux analyses :

1.1 But de l'étude :

En dépit d'une aridité partout écrasante, le subcontinent arabe, dont la superficie dépasse les 2 millions de km², connaît des nuances climatiques non négligeables ; ou qu'il ne faut du moins pas négliger si l'on veut saisir le vécu -humain et économique- de ce type de climat. Pour un pays qui n'a, jusqu'ici fait l'objet que d'un tout petit nombre de recherches climatiques, l'analyse des données multidimensionnelles nous a paru pouvoir être d'une grande utilité pour tracer sans a priori les grandes lignes d'une structure spatiotemporelle ; ou, à tout le moins pour poser des hypothèses de recherche.

1.2 Les données disponibles :

Immense par son étendue, l'Arabie Séoudite est également un pays très faiblement peuplé, et ceci d'autant plus que la plupart de sa population est concentrée dans quelques villes. Ces facteurs de base de la géographie du pays expliquent le faible développement du réseau de stations météorologiques ; étant donné par ailleurs que les techniques actuelles ne permettent pas encore d'automatiser les dites stations dans un milieu aussi agressif.

Nous avons voulu, pour une période T de longueur au moins décennale, choisir parmi les stations représentatives des différentes régions de l'Arabie, un ensemble S de stations en fonctionnement pendant toute la période, et ceci avec les mêmes qualités de mesure pour l'ensemble V de mesures (ou variables) retenues. Compte tenu d'autre part de la capacité de travail d'un chercheur isolé, voici quel a été notre choix.

(*) Collège d'Education, B.P. 908, ABHA, Saudia Arabia

1.2.1 L'ensemble T des points temporels :

C'est l'ensemble T des 120 mois de la décennie 1970-1979 . Dans la suite, chaque mois sera noté par un couple (m,a) : (mois,année) . Les 12 mois seront désignés chacun par un sigle de 2 lettres ; dont la première est l'initiale en capitale du nom du mois ; et la deuxième, en minuscule, est choisie dans le corps du nom afin d'éviter toute confusion : par exemple, Mr pour Mars et Mi pour Mai .

$$M = \{Jv, Fv, Mr, Av, Mi, Jn, Jl, Ao, Sp, Oc, Nv, Dc\} .$$

1.2.2 L'ensemble S des stations :

Comme l'atteste la carte (cf *infra* p.441), l'ensemble S des 18 stations retenues assure une couverture acceptable du pays, la région Sud-Est exceptée. Chaque station sera, le plus souvent désignée par une lettre capitale unique ; laquelle, si l'on veut éviter les confusions, ne peut être dans tous les cas l'initiale. Dans la liste qui suit, les stations sont énumérées par région; avec un sigle de 3 lettres, dont une capitale généralement utilisée pour désigner la station :

Régions du Nord : Aljof (Xof), Badana (Bdn), Turef (tUr), Rafha (Rfh), Tabouk (tbO) ;

Régions centrales : Riyad (rId), Sulayel (Sly), Najrane (Njr), Hayel (hyE), Gassim (Gsm), Médina (Mdn) ;

Régions de l'Ouest : Alwajeh (Wjh), Yenbo (Ynb), Gizane (giZ), Djedah (Jdd) ;

Régions montagneuses : Khamis (Khm), Taïf (Tif) ;

Région côtière du Golfe : Dahrane (Dhr) .

1.2.3 L'ensemble V des variables :

On a retenu 6 variables, désignées chacune ci-dessous par une seule lettre, capitale ou minuscule :

T : Maximum Maximorum des températures du mois ;

t : minimum minimorum des températures du mois ;

H : humidité relative Maxima du mois ;

h : humidité relative minima du mois ;

P : total des précipitations tombées en un mois ;

p : total maximum précipité en un seul jour de 24 heures ;

Chaque mesure d'une variable se rapporte à un triplet (m,a,s) : par exemple T(Jn,1975,K) est le maximum des températures enregistrées à la station de Khamis au cours du mois de Juin 1975 ; (on parle de Maximum Maximorum parce que, pratiquement, T est déterminée comme le maximum des températures maxima relevée chaque jour du mois).

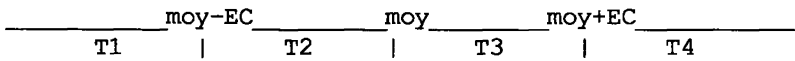
Nous pensons que, dans leur simplicité, ces 6 variables sont le mieux capables de refléter les champs thermiques et humides de chaque mois ; tant dans leur moyenne que dans leurs caractéristiques exceptionnelles ; notamment pour ce qui est de la concentration des précipitations ; caractéristique majeure des climats arides.

1.3 Codage des données :

Pour traiter par l'analyse des correspondances (ou par la classification automatique) un ensemble hétérogène de variables, il est d'usage de découper celles-ci en classes ou modalités.

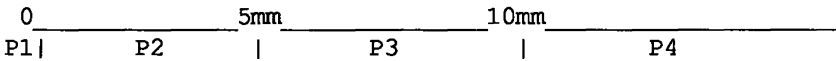
On a pour chacune des variables un ensemble de 2160 mesures (une mesure par triplet mas ; soit $2160 = 12 \times 10 \times 18$) ; ce qui permet de construire un histogramme de ces valeurs. A la simple vue des histogrammes, nous avons pu, sans trop d'hésitation, retenir pour chaque variable un découpage en 4 classes ; ces classes étant numérotées de 1 à 4, comme de faible à fort.

Pour les 4 variables de température et d'humidité (T,t,H,h) l'allure unimodale de l'histogramme a permis une approche classique, en termes de moyenne et d'écart-type (EC) : l'intervalle de variation de v étant découpé par les 3 valeurs { moy(v)-EC(v), moy(v), moy(v)+EC(v) } ; la modalité T3 de la température maxima correspondant, par exemple à l'intervalle compris entre la moyenne de T et cette moyenne augmentée de l'écart-type : soit le schéma suivant :



Il ne faut pas dissimuler les inconvénients de ce codage qui ne rend pas justice aux valeurs extrêmes, qu'il place dans les modalités 1 et 4 avec d'autres modalités plus tempérées. On pourrait mieux faire en définissant initialement plus de 4 modalités qu'on recoderait ensuite sur 4. Ici il nous suffira de tenir compte de cette ambiguïté lors de l'interprétation.

Pour les précipitations, mensuelles (P) on a adopté des tranches fixes de 5mm , seuil inférieur d'une quantité d'eau significative pour notre climat. La modalité 1 est l'absence de précipitation ; la modalité 2 va de 0 à 5mm ; la modalité 3 de 5 à 10 ; la modalité 4 s'étend au delà de 10mm :



On a procédé de façon semblable pour les précipitations exceptionnelles en 24h (p).

Au total, on a un ensemble J de 24 modalités :

{T1,T2,T3,T4,t1,t2,t3,t4,H1,H2,H3,H4,h1,h2,h3,h4,P1,P2,P3,P4,p1,p2,p3,p4}

L'ensemble des données codé par classes constitue un tableau quaternaire, de 1 et de zéros : $M \times A \times S \times J$; avec :

$k(m,a,s,j) = 1$ si pendant l'année a, le mois m de la station s rentre dans la modalité j ; et zéro sinon.

1.4 Enchaînement des analyses :

Un tableau quaternaire ne peut être analysé tel quel. Pour réduire la multiplicité des ensembles on peut soit considérer comme un seul ensemble des produits de produits de 2 ou plusieurs ensembles ; soit effectuer des cumuls (ce qui revient à considérer des tableaux de marge). Nous avons utilisé simultanément ces deux procédés. Au §2, on considère un tableau (Stations x Mois) x Modalités (SMxJ) construit par cumul sur les modalités : dans ce tableau, le climat d'un mois m en une station s est décrit comme la moyenne de ce qui a été observé sur la décennie 1970-79. En se fondant principalement sur la classification automatique on peut, aux §§3 et 4, proposer un schéma climatique précis de chaque station. Il reste à voir dans quelle mesure les mois de même nom se ressemblent, d'une année à l'autre sur l'ensemble du pays : c'est ce qu'on fait au §5 par l'analyse du tableau rectangulaire en (0,1) croisant l'ensemble MA des 120 mois de la décennie avec l'ensemble SJ des modalités rapportées à chacune des stations. Nous avons effectué encore d'autres analyses et classifications ; et il ne fait pas de doute que beaucoup reste à dire sur le climat du subcontinent arabe ; nous espérons seulement avoir mis dans le présent article quelques conclusions utiles.

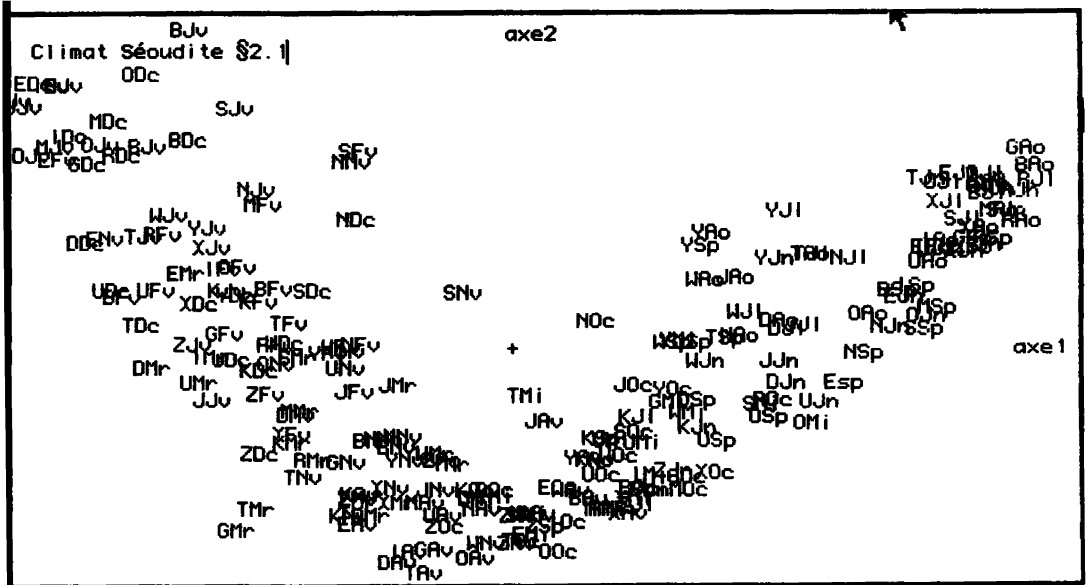
2 Le tableau (Stations x Mois) x Modalités :

Un couple (station,mois) est désigné par un sigle de trois lettres, dont la première désigne la station et les deux dernières le mois. On lit à l'intersection de la ligne sm et de la colonne j le nombre des années de la décennie (1970-1979) où, au mois m, la station s rentrait dans la modalité j. Par exemple on a : $k(EJv,P4)=4$, parce que, pour 4 des mois de Janvier de la décennie, le total des précipitations tombées sur la station E (Hayel) rentrait dans la modalité 4 (très forte). D'une part, ce tableau a été soumis à l'analyse factorielle ; d'autre part, on a effectué des CAH (classifications ascendantes hiérarchiques) sur les deux ensembles des lignes et colonnes : SM et J.

2.1 Analyse de correspondance du tableau SMxJ :

Le tableau des valeurs propres montre l'importance du plan (1,2) qu'on considérera d'abord.

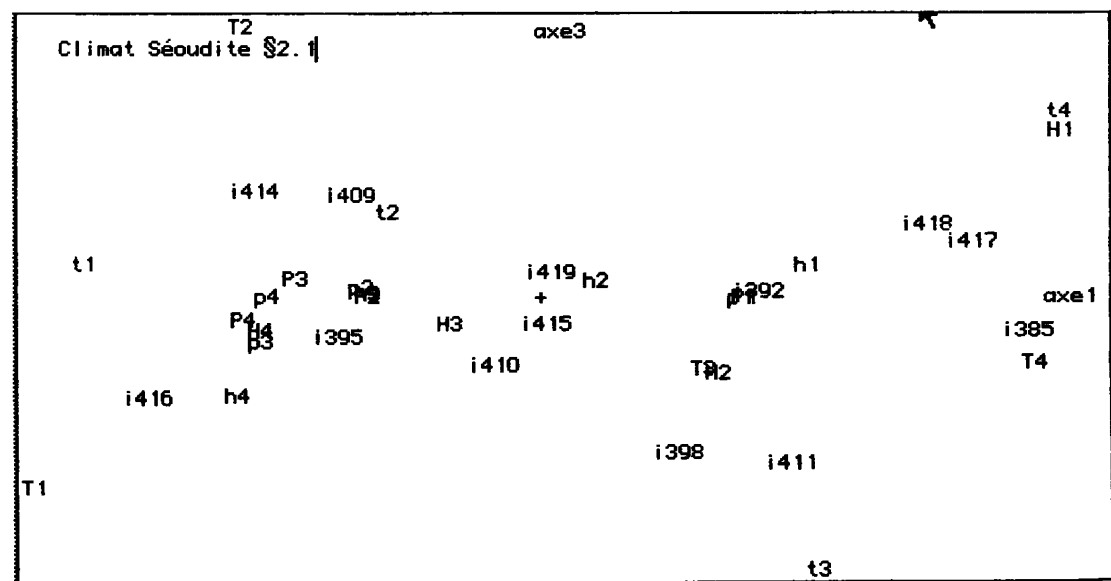
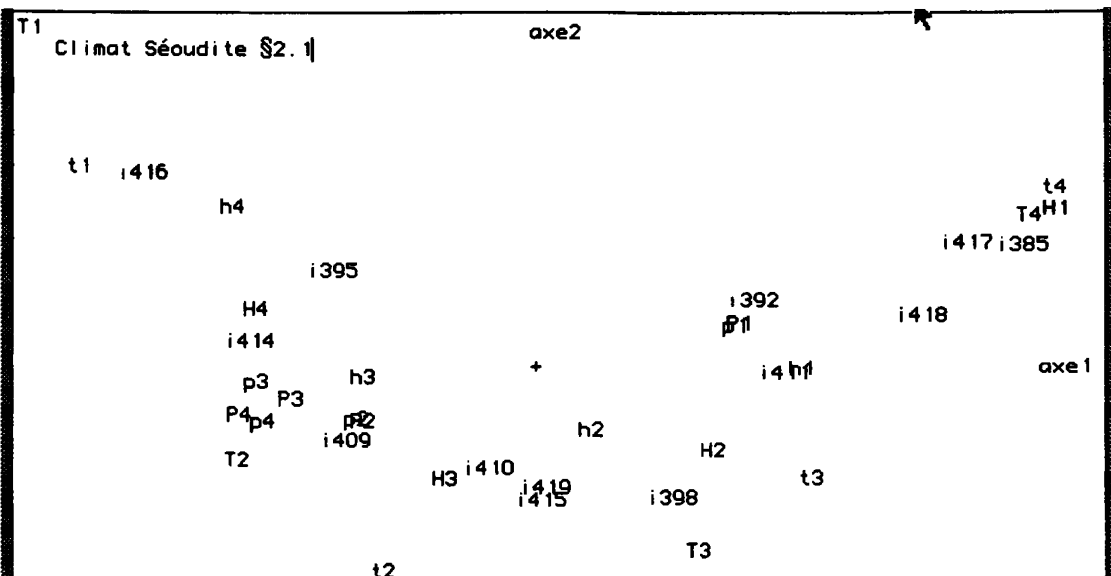
rang	1	2	3	4	5	6	7	8	
lambda	4351	1752	1062	984	825	603	539	506	e-4
taux	3344	1346	816	756	634	463	414	389	e-4
cumul	3344	4690	5506	6263	6897	7361	7775	8164	e-4



Tel que le programme planw l'affiche à l'écran, avec superposition des sigles des individus, le nuage de l'ensemble SM des couples (station,mois) se présente comme un croissant dense. A l'extrémité gauche ((F1<0), (F2>0)), s'accroissent des mois de Décembre et Janvier ; puis apparaissent graduellement des mois de Février, Novembre et Mars. Au sommet du croissant, (F1<0), on déchiffre Avril, Octobre et Mai ; et l'on termine avec l'été dans le quadrant ((F1>0), (F2>0)). Il serait possible sur un graphique à plus grande échelle de suivre les 12 profils mensuels d'une station s donnée : de sJv à sAo avec retour à sDc : mais la classification automatique nous offrira simultanément les détails de ce parcours pour toutes les stations ; et de plus, en tenant compte de la réalité multidimensionnelle, sans nous borner au plan (1,2).

Le nuage J des 24 modalités se lit facilement : on ne s'étonnera pas de trouver du côté des mois Jv et Dc les températures les plus faibles (T1,t1) et les plus fortes humidités (H1,h1) ; tandis que chaleur et sécheresse vont avec l'Été ; les modalités moyennes (2,3) de toutes les variables allant avec les mois de transition. On remarquera que vont généralement ensemble les modalités de même rang des variables désignées par la même lettre en majuscule et en minuscule : H4 est proche de h4 ; P1 est superposé à p1. Cette remarque sera confirmée au §2.2 par la CAH.

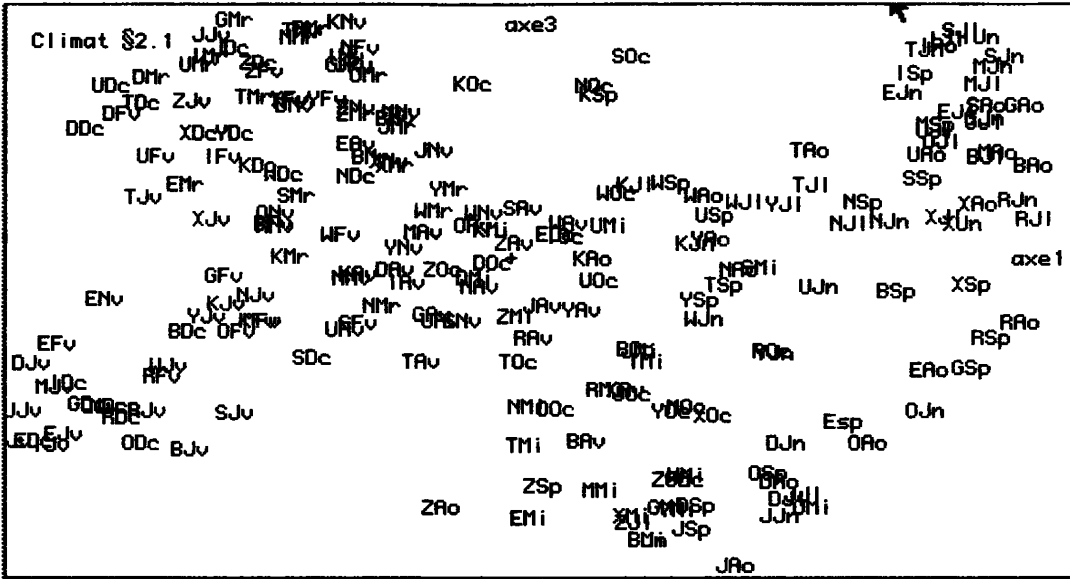
Sur le même graphique que le nuage J des 24 modalités, on a placé les centres de gravité des 13 classes de la partition retenue pour MS . Anticipant sur le §2.3 nous annoncerons que la classe numéro 416 (notée ici i416, pour la distinguer d'une classe de modalités qui recevrait l'initiale j) comprend quasi exclusivement des mois Jv et Dc ; tandis que dans 417 et 385 on a {Jn, Jl, Ao, Sp}.



Dans le plan (1,3), le nuage SM a la forme d'une lettre S : Après le croissant du plan (1,2) cette figure confirme l'existence d'un effet Guttman : de même que le facteur 2 est approximativement une fonction du 2-ème degré du facteur 1, le facteur 3 en est une du 3-ème. Le plan (1,3), où le nuage SM est plus étalé que sur le plan (1,2) permet d'observer dans le détail la dispersion des points sm afférents à un même mois ; par exemple, pour Août les points sAo.

2.2 Classification de l'ensemble J des modalités :

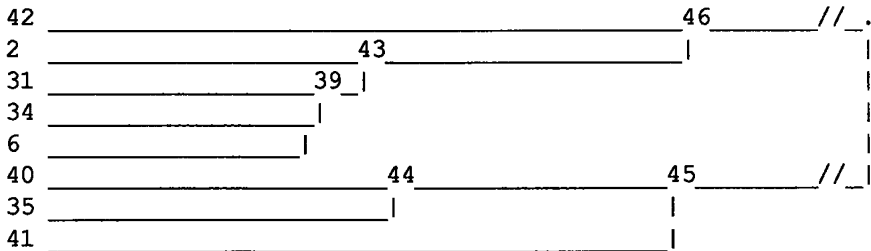
D'après la décroissance des indices de niveau, on a d'abord retenu une partition en 12 classes, définie par les 11 noeuds les plus hauts ; puis, d'après le contenu des classes, on a adopté une partition en 8 classes qui servira au §3.2 à étiqueter l'arbre de la classification des couples (station,mois); et finalement à décrire le climat de chaque station.



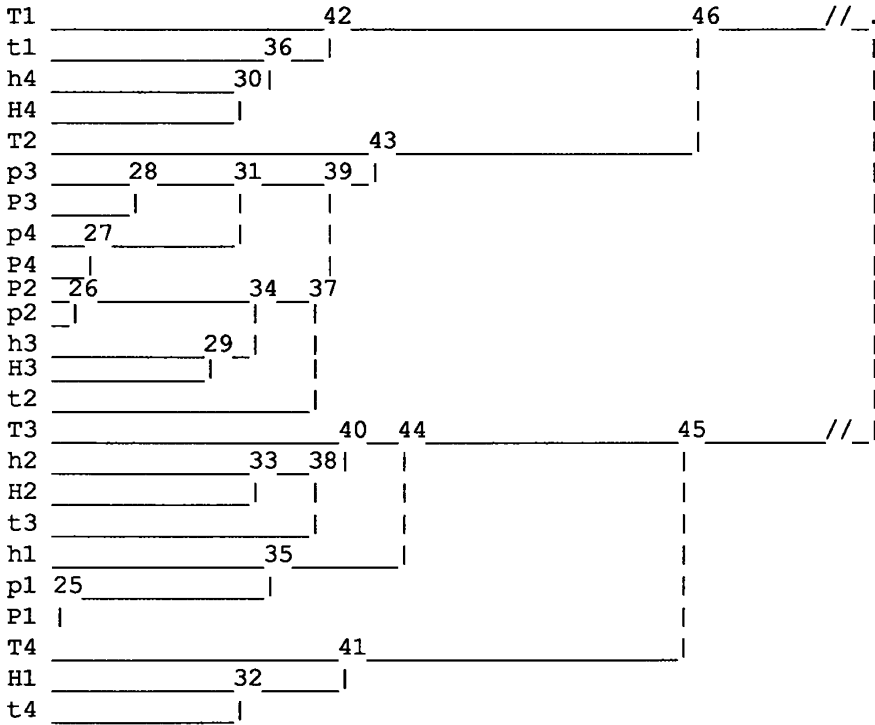
Voici donc la partition obtenue en demandant au programme Chrbz la sous hiérarchie la moins fine contenant les noeuds 37 et 44 . En bref, retenir le noeud 44 introduit ses deux descendants, les classes 40 et 35 ; et le père de 44 qui est 45; donc l'autre fils de celui-ci qui est 41 . Retenir 37 comme noeud en introduit les deux fils 34 et t2 ; ainsi que son père 39 et ses ancêtres 43 et 46 : et donc les descendants de ceux-ci : 31,T2 et 42.

c | Partition en 8 classes:
 | Sigles des individus de la classe c

42	T1	t1	h4	H4	froid humide
2	T2				
31	p3	P3	p4	P4	averses
34	P2	p2	h3	H3	pluvieux
6	t2				
40	T3	h2	H2	t3	subdésertique
35	h1	p1	P1		anhydre
41	T4	H1	t4		désertique



ci après l arbre de la CAH générale



Il est remarquable que, dans la partition que nous avons retenue, les modalités majuscules et minuscules de même nom aillent dans la même classe ; il n'y a que 2 exceptions : h1 séparé de H1 et t2 séparé de T2 . Ainsi les maxima et les minima apparaissent liés par une relation assez étroite ; et de même pour les précipitations mensuelles et exceptionnelles.

Quant à l'interprétation des syndromes météorologiques représentés par chaque classe elle nous a paru être claire ; et mériter le choix d'un terme, fût-il impropre.

2.3 Classification des couples (station,mois) :

D'après la décroissance des indices de niveau, on a retenu la partition de SM en 13 classes définie par les 12 noeuds les plus hauts. Il est commode de présenter le contenu des classes sur un tableau rectangulaire ayant pour lignes les classes et pour colonnes les mois ; avec à l'intersection de la ligne c et de la colonne m les

sigles (lettres) des stations s pour lesquelles le couple sm es compris dans la classe c .

Au niveau supérieur, SM est partagé en 3 blocs : 429, 425 et 428 ; subdivisés respectivement en 3, 4, et 5 classes dans la partition retenue; (sur le tableau, ces blocs sont séparés par des lignes doubles). Il est remarquable que le contenu de ces blocs s'interprète nettement en terme de mois, sans qu'il soit nécessaire de considérer les stations .

Le bloc 429 correspond aux 5 mois d'hiver {Nv,Dc,Jv,Fv,Mr} : en effet, le bloc 429 ne contient rien d'autre que 79 des 90 couples sm formés d'une station quelconque s et de l'un de ces mois ; il n'y a pas d'exception pour Décembre et Janvier et il y en a une seule pour Février (JFv est dans la subdivision 419 du bloc 425) . Il va sans dire que cette notion d'Hiver doit être nuancée ; et d'abord comprise dans le cadre du subcontinent arabe.

De même le bloc 428 correspond aux 4 mois d'été {Jn,Jl,Ao,Sp} ; avec seulement 9 couples perdus (ils sont dans 425) ; et 5 parasites : 3 de Mai {SMi,YMi,WMi} et 2 d'Octobre {XOc,YOc}.

Enfin le bloc 425 est celui des mois de transition : {Av,Mi, Oc}.

Pour la climatologie, ce résultat est remarquable : il signifie qu'en première approximation, si m est d'un mois d'Hiver, le profil sur J d'un couple sm a un caractère déterminé,indépendant de la station s considérée;et de même pour les mois d'Été : en ce sens, le climat du sous continent arabe est relativement homogène.

Cependant, nous devons aller au delà de cette première approximation.

Tel quel, le tableau du contenu des classes offre matière à des remarques sur la diversité du climat.

Puisque les 3 blocs 429, 425, 428 ont été interprétés respectivement comme un hiver de 5 mois, 3 mois intermédiaires et un été de 4 mois, une station s moyenne doit avoir 5 couples sm dans 429, 3 dans 425 et 4 dans 428 . Or la station J n'a que 2 mois (Dc et Jv) dans le bloc 429 : nous dirons, en bref, que J n'a que 2 mois d'Hiver au lieu de 5 .

Au contraire, selon la même terminologie, Z n'a pas d'Été ; et K n'a qu'un mois d'Été. La station U a 5 mois intermédiaires {Av,Mi, Sp,Oc,Nv} ; au lieu de la normale, qui est 3 .

Afin de compléter ces remarques et de les présenter synthétiquement, nous ferons, au §3, l'analyse d'un tableau de correspondance construit à partir du contenu des classes de SM ; puis, au §4 nous préciserons, à l'aide du programme VACOR, l'interprétation de la CAH de l'ensemble SM de couples (station,mois).

Tableau du contenu des classes de la partition des couples Mois-Station

cls	Jv	Fv	Mr	Av	Mi	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
416	BDEGI	GRE									E	BEGI
	MORSUW											ROM
395	KNY	KMOSW									NS	S
414	JTZ	DINT	DEIU								I	DJKN
		UZ										TUWY
409	X	BXY	BGMO								BDGKM	XZ
		RSTZ									ORTYZ	
419		J	JWXY	EJOS	JZ				K	DEIJK	JWX	
			WXYZ							NOSTW		
415		N	DGIN	DIRU		K	K	U	UZ	U		
			RTU									
410		K	KM	GKT			Z					
398			B	BEMN	BZ	Z		Z	BGMR			
392						WY	WY	WY	WY			
411				WY	DJ	DJ	DJO	DEJO	Y			
385					R	R	ER	GR	GR			
417						GOT	BEGO	BGMS	BTX			
							TX	TX				
418				S	EIKM	IMNS	INU	IMNS	X			
					NSUX	S						

On lit, eg, à l'intersection de la colonne Nv et du bloc de 2 lignes dévolu à la classe 409, que cette classe contient les profils du mois de Novembre pour les 10 stations {B,D,G,K,M,O,R,T,Y,Z}.

3 Le tableau de correspondance (MOIS U stations)x CLASSES :

Notons $k(m,c)$ le nombre (compris a priori entre 0 et 18) des couples ms (s quelconque) inclus dans la classe c et, de même $k(s,c)$ le nombre des mois m pour lesquels le couple ms est dans c :

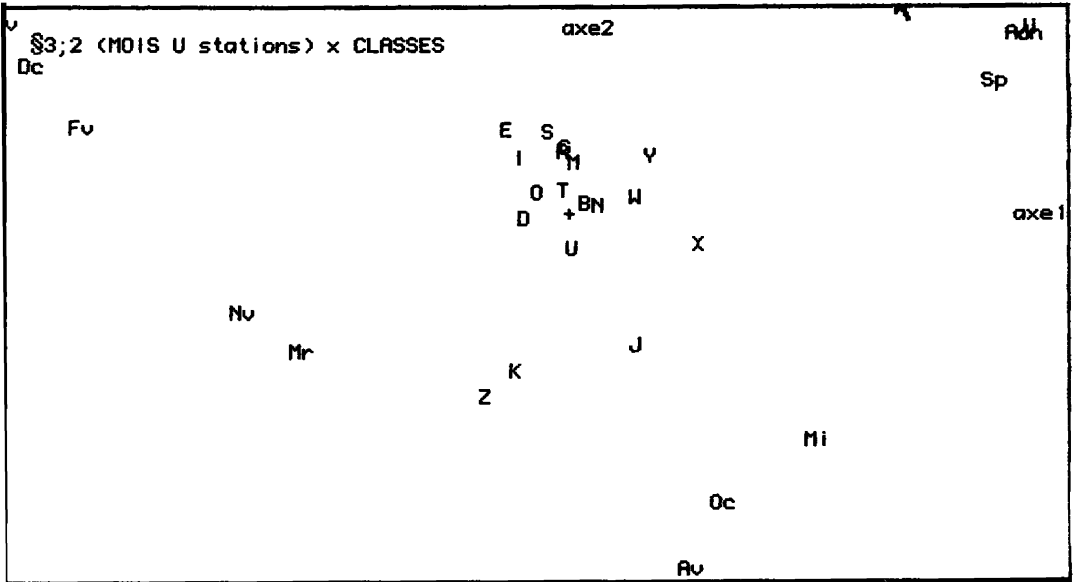
$$k(m,c) = \text{Card} \{ s \mid ms \text{ in } c \}; \quad k(s,c) = \text{Card} \{ m \mid ms \text{ in } c \}.$$

3.1 Analyse du tableau avec les mois en principaux :

Le tableau sera d'abord analysé en mettant l'ensemble M des mois en principal et l'ensemble S des stations en supplémentaire. Ainsi l'ensemble C des

classes, étant caractérisé par sa correspondance avec l'ensemble des mois sera disposé selon l'ordre des saisons ; comme on l'a déjà fait, mais avec des nuances et des précisions. Quant aux stations, en vertu du principe barycentrique, chacune, s, sera attirée par une classe c en proportion du nombre $k(s,c)$ des couples ms qui sont dans c ; et en définitive la place des stations pourra aussi être interprétée en terme de saisons.

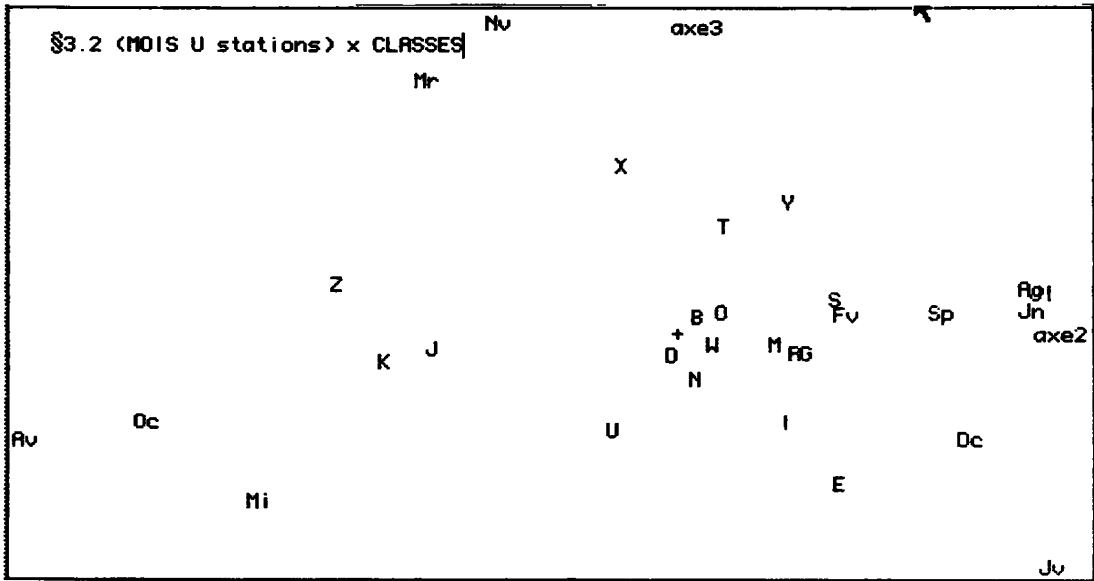
Nous présentons les plans (1,2) et (2,3) ; d'après des copies de l'affichage instantané donné par le programme planw . Dans ces graphiques, l'ensemble de l'écran est rempli sans que l'échelle soit la même pour les deux axes. C'est pourquoi on a donné d'une part des graphiques ne comportant que l'ensemble des stations (sans les mois) ; et d'autre part des graphiques avec stations et mois. Sur les premiers, l'ensemble des stations est largement étalé ; sur les seconds, il est resserré relativement à l'ensemble des mois ; ce qui ne surprend pas, puisque les axes ont été ajustés à l'ensemble des mois (éléments principaux) et non à celui des stations (éléments supplémentaires).



3.2 Représentation de l'ensemble des mois :

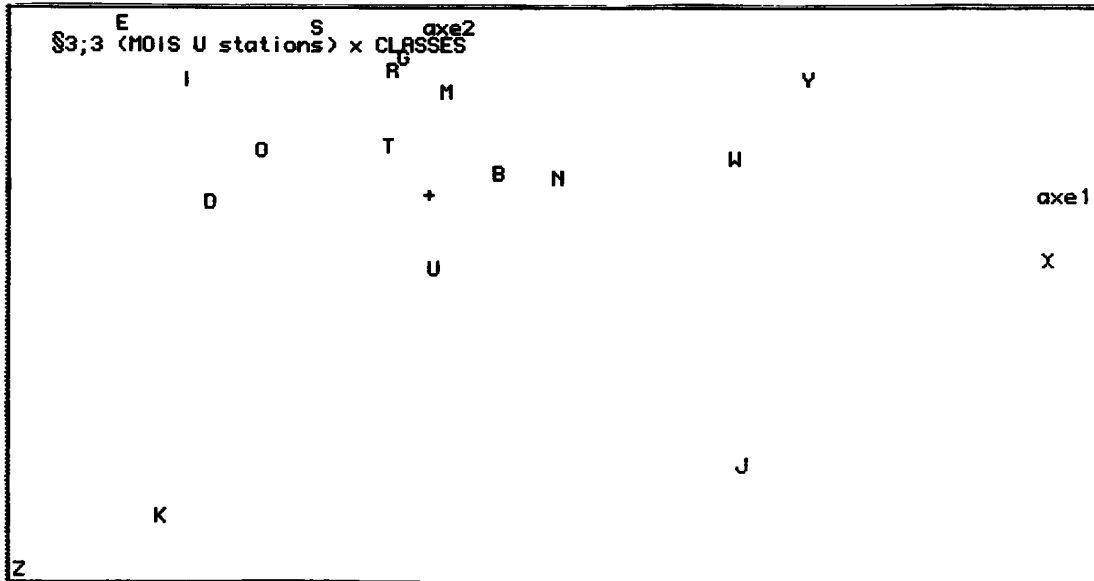
Dans le plan (1,2) l'ensemble des mois dessine une parabole ; où les mois se succèdent dans l'ordre {Jv,Dc,Fv, Nu,Mr, Av,Oc,Mi, Sp,Ao,Jl,Jn} ; Novembre et Mars, mois extrêmes de ce qu'on a appelé Hiver, sont décalés vers les mois intermédiaires d'Avril Octobre et Mai, sans toutefois rejoindre ceux-ci. On dira donc que le véritable hiver ne compte que 3 mois, {Dc,Jv,Fv} ; mais que le printemps n'en a que 2 : {Av,Mi} ; et que l'automne est presque absent, étant réduit au seul mois d'Octobre.

Pour l'Eté, Septembre est tout proche des 3 autres mois qui sont quasi superposés. L'axe 1 oppose donc l'Hiver ($F1 < 0$) à l'Eté ($F1 > 0$) ; et l'axe 2 oppose les mois extrêmes (d'Eté ou d'Hiver) aux mois intermédiaires.

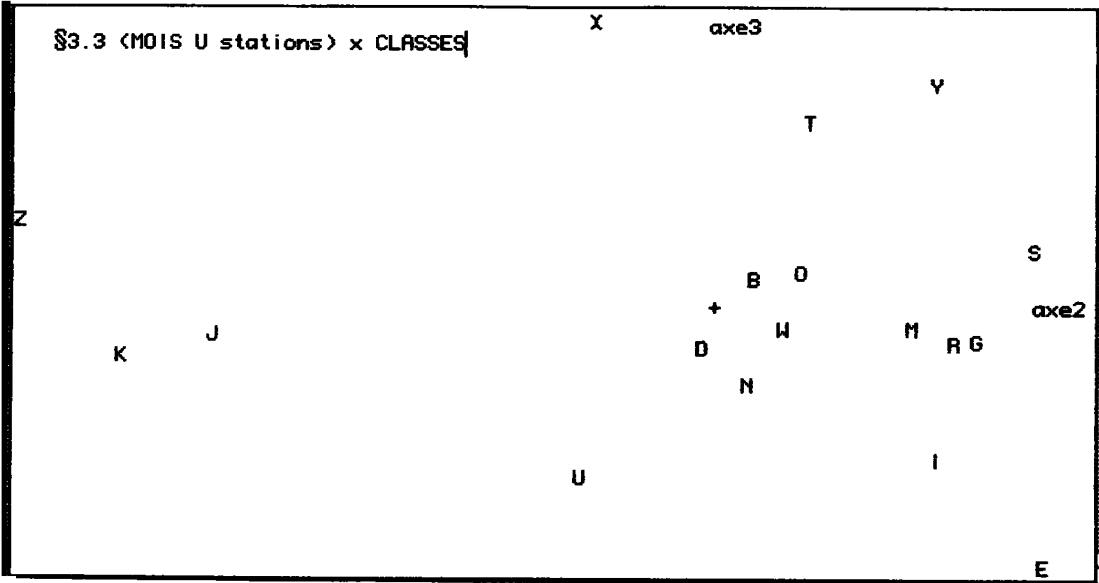


3.3 Représentation de l'ensemble des stations :

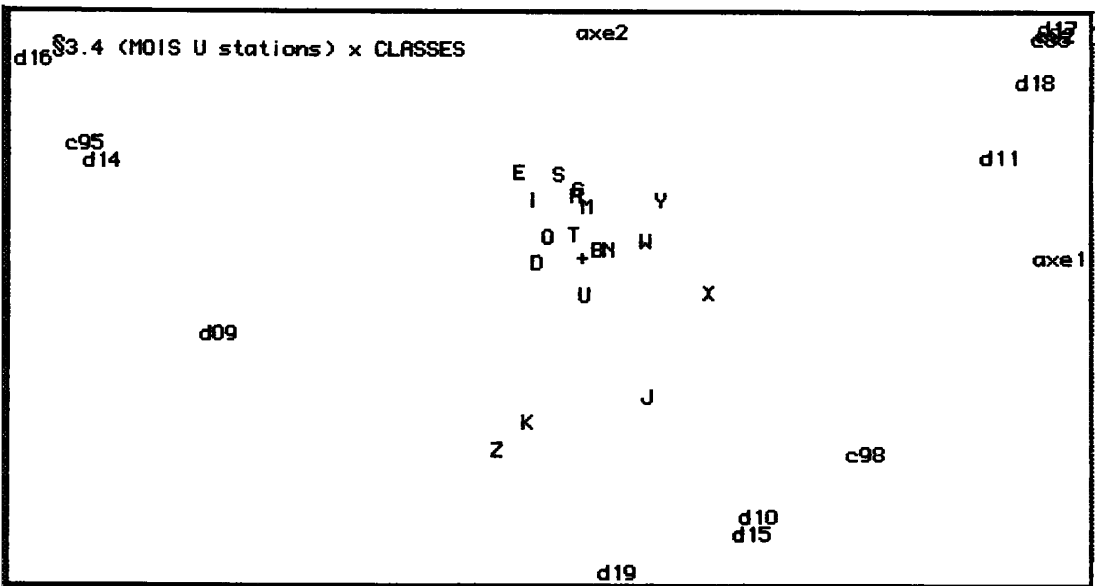
Sans les mois, l'ensemble des stations se présente comme une bande orientée suivant l'axe 1 de E à X ; de laquelle se détachent, du côté ($F2 < 0$) les trois stations Z, K et J (ainsi que U, dans une moindre mesure). On a vu que Z et K n'avaient pas d'Été : elles s'opposent donc aux mois de cette saison ; de même J s'oppose à l'Hiver. Sur la bande on a une gradation : E tend vers l'Hiver parce que ses mois de Février et Novembre tombent dans la classe 416 où il y a surtout des mois de Jv et Dc (mois les plus excentriques et EMr (Mars) est dans 414 où prédominent Dc et Fv . A l'autre extrémité de la bande, X tend vers l'Été ; parce que 4 de ses mois d'Hiver sont dans 409 qui est dominée par Nv et Mr, mois à la limite de l'Hiver ; tandis que XM_r va dans 419 , avec des mois intermédiaires.



Si l'on considère à la fois les mois et les stations on découvre que ce qu'on a appelé bande principale est peu étalé sur l'axe 1 ; car toutes ces stations ont à la



fois Eté et Hiver ,même s'il y a des nuances dans un sens ou dans l'autre. Au contraire, dans la direction ($F2 < 0$) , Z,K et J se détachent nettement de l'origine.

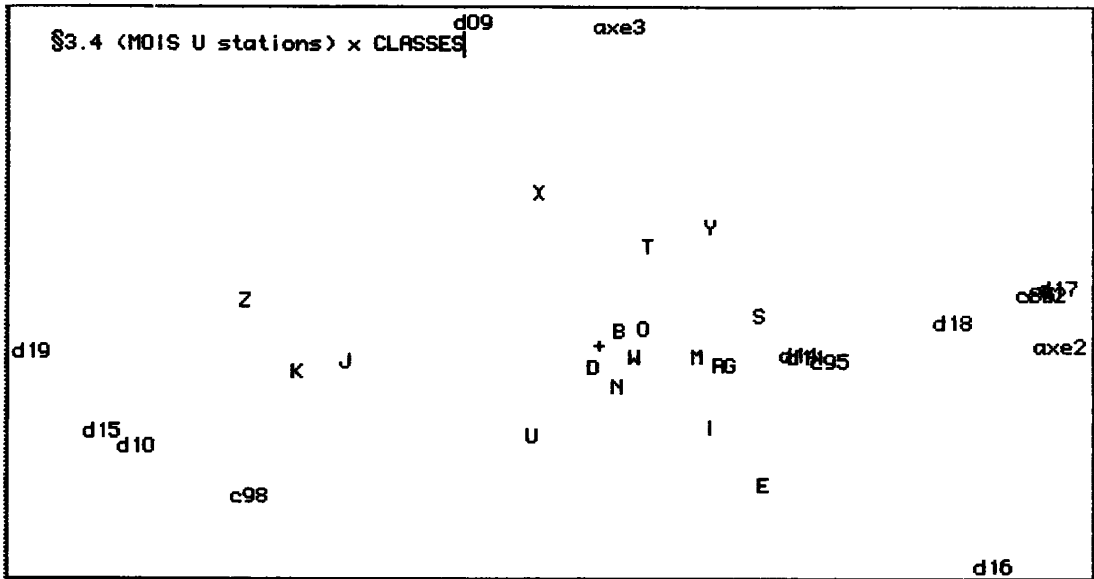


3.4 Représentation de l'ensemble des classes :

Les classes, qui sont celles de la partition de $S \times M$ considérée au §3.2, sont ici désignées par leur numéro modifié en remplaçant le premier chiffre par une lettre : d pour 4 et c pour 3 ; soit d14 pour 414 et c95 pour 395 . Il est remarquable que, dans le plan (1,2) de la présente analyse, les classes soient disposées comme dans le plan (1,2) considéré au §2.1.

3.5 Analyse du tableau avec les stations en principales :

Nous ne considérerons pas le détail de cette analyse ; mais il nous paraît bon de considérer la classification sur l'ensemble S des stations obtenue d'après les facteurs issus de cette analyse. On trouve agrégé à un bas niveau quelques paires



de stations que la géographie rapproche : Y et W (Yenbo et Alwajeh) le long de la Mer Rouge ; N et S (Najrane et Sulayel) dans la région intérieure Sud ; J (Djedah) qui est sur la Mer Rouge va avec D (Dahrane) qui est sur le Golfe ; etc. Ces rapprochements sont valides puisque fondés sur la répartition des couples (s,mois) afférents à chaque station s entre les classes de la partition retenue pour SM : en bref, deux stations proches passent au cours de l'année par des mois de mêmes caractéristiques climatiques. Il faut cependant noter que les résultats dépendent du choix de la partition : ainsi la station de Rafha (R) est isolée parce qu'on a retenu la classe 385, qui s'identifie presque avec l'été de R ; en fondant 385 et 417 on rapprocherait R de T. De plus l'interprétation directe en termes de climat ne pourra se faire que d'après le tableau de correspondance duquel est issue la classification de SM. Tel est l'objet du §4.

NB l'arbre de la CAH, objet du §3.5 se trouve en page 442.

4 Vers une étude approfondie du climat par stations :

4.1 Le listage Vacorjq :

L'ensemble SM est représenté par un nuage dans l'espace RJ des profils sur l'ensemble J des modalités. Dans cet espace, l'analyse factorielle des correspondances construit un système d'axes orthonormés : les axes factoriels. Mais d'autre part à chacune des modalités j elles-mêmes est associé un axe ; et ces axes sont deux à deux orthogonaux. Les listages Facor et Vacor donnent respectivement dans ces deux systèmes d'axes les coordonnées des centres de gravité des classes ; avec les contributions (CO₂) de chaque axe à l'écart du centre de la classe au centre de gravité g du nuage général ; (ainsi que des données semblables relatives aux dipôles formés par les deux descendants a(n) et b(n) d'un noeud n de la hiérarchie). On sait ainsi suivant quel facteur ou quelle variable (ici, plus exactement, quelle modalité j) une classe c s'écarte du centre g ; (ou un noeud n se scinde en a(n) et b(n)). Cependant l'utilité du listage Facor est

limitée par l'imprécision de l'interprétation des facteurs ; et celle du listage Vacor par l'émiettement des contributions sur un grand nombre de modalités. C'est pourquoi, il est souhaitable d'exprimer l'écart entre c et g (ou entre a(n) et b(n)) en terme de groupe de modalités ; qui sont précisément les classes j_q de la partition retenue sur J : c'est ce qu'on trouve dans le listage Vacorj_q, créé par le programme Chrbz.

4.2 L'arbre étiqueté de la classification de SM :

Pour l'étiquetage de l'arbre nous avons seulement retenu les classes j_q de modalités qui apportent des contributions majeures ; du fait qu'elles ont, sur la classe i_q (de couples ms) considérée, une fréquence nettement supérieure (ou inférieure) à la moyenne générale ; le nombre des signes (+ ou -) donnant en centaines de millièmes un ordre de grandeur de la contribution. Les classes j_q de modalités sont désignées par l'interprétation proposée au §2.2. Ces indications ont été complétées de pourcentages calculés comme suit. Prenons pour exemple la mention froidhumide (ou froih) : celle-ci se réfère à la classe j₄₂ de la CAH de J : j₄₂={T1, t1, H1, h1} ; j₄₂ comprend des modalités des 4 variables T, t, H, h : le nombre maximum de modalités de j₄₂ que peut posséder un sm donné est donc 4 ; de même le nombre moyen des modalités de j₄₂ possédées par les sm rentrant dans une classe de SM ne peut dépasser 4 ; or pour la classe 416, cette moyenne est de 3.08, soit 76% de 4. C'est le pourcentage écrit après le sigle froih++++ pour étiqueter la classe 416. De même, la mention subdes- <2% portée sous 429 vaut pour les 4 descendants retenus de ce noeud, {416, 395, 414, 409} ; etc. On ne s'étonnera pas de voir (avec 395) la mention pluie+ et un taux de seulement 30% : en effet, dans la classe pluie= {p2, P2, h3, H3}, un sm donné peut prendre au plus 4 modalités ; la moyenne générale sur SM est de 1.04 (26% de 4) ; sur 395 la moyenne est de 1.44 (36% de 4) : ce qui est donc beaucoup en valeur relative. Les pourcentages de référence afférents à SM sont écrits au dessus de l'arbre.

4.3 Quatre exemples de stations:

Nous montrerons sur quatre exemples comment lire le climat d'une station en consultant simultanément le tableau du contenu des classes donné au §2.3 et l'arbre étiqueté proposé au §4.2.

4.3.1 Djedah :

Consultons successivement les blocs 429 (Hiver), 425 (transition) et 428 (Eté) du tableau du contenu des classes. L'Hiver apparait réduit à deux mois: Jv et Dc ; et encore ceux-ci sont-ils dans la classe 414, pour laquelle l'étiquetage indique un partage entre froid humide et T2 ; doc un froid modéré, même si on le mesure selon les normes de l'Arabie.

Corrélativement, il y a six mois de transition, formant ce qu'on appellera un Printemps, {Fv, Mr, Av, Mi}, et un automne, {Oc, Nv}. Ces mois sont dans

419, classe étiquetée désert--, t2++ : ce qui écarte toute température extrême, mais ne laisse pas espérer par ailleurs d'abondantes précipitations.

SM {froidhumide=23% ; T2=26% ; averse=19% ; pluie=26%;}
{t2=28% ; subdésert=28% ; anhydr=43% ; désert=20%}.

416	_____	423	_____	429	_____	//430_
	froi++++=76%		froidhumide+++>46%		subdés-<15%	
	averse+=50%				désert-<2%	
395	_____					
	pluie+=36%					
414	_____	426	_____			
	froi++++=45%		T2+++≈78%			
409	_____					
	t2++=74%					
419	_____	425	_____			//_
	désert---=8%		froidhumide-<12%		subdésert+>37%	
	t2+++≈65%					
415	_____					
	averse++=40%					
	anhydr-=30%					
410	_____	420	_____			
	averse++ =45%					
	anhydr-- =13%					
398	_____					
	subdés+++≈62%					
392	_____	424	_____	428	_____	//_
					désert++>40%(sauf 411)	
411	_____				anhydr+=66%, averse-<5%	
	subdésert++=50%					
385	_____	421	_____	427	_____	
	anhydr++=90%		désert++++>72%(sauf 418)			
	pluie---=4%		froi≈1%			
417	_____					
418	_____		désert+++≈57%			

Les 4 mois d'Eté, {Jn, Jl, Ao, Sp}, sont dans 411; avec la mention subdésert++, c'est-à-dire une prédominance des modalités 2 d'humidité et 3 de température. En somme, ce port de la Mer Rouge jouit d'un climat peu contrasté et modéré, relativement au pays répétons le.

4.3.2 Sulayel :

Il y a 5 mois dans le bloc 429 (Hiver) ; mais seul Janvier est dans la classe associée le plus étroitement aux températures minima et à l'humidité maxima **ربيع الحيا** , (avec l'espoir de quelques averses); les autres mois, {Fv, Nv, Dc} dans 395 et Mr dans 409, sont moins froids.

Il y a seulement deux mois de transition, {Av, Oc} dans 419; l'Eté s'étend sur 5 mois, dont 4 dans 418; classe dont l'étiquetage montre qu'elle est, pour la saison d'une rigueur moyenne. Sulayel est une station d'oasis ; mais aux confins Ouest du **ربيع الحيا** , le quart "vide" de l'arabie; l'un des déserts les plus absolus du monde.

4.3.3 Khamis :

Il y a 4 mois d'Hiver partagés entre 395, {Jv, Fv}, 414, {Dc} et 409, {Nv}. Les 7 mois intermédiaires, outre {Sp, Oc} dans 419, forment un printemps relativement humide : {Mr, Av, Mi} dans 410 : averse++, anhydre--. Juillet et Aout eux-mêmes, dans 415, peuvent être favorisés d'averses : ce sont les mois habituels des moussons humides qui caractérisent l'individualité climatique des Sarwats d'Assir de l'Arabie, au coeur desquels est situé Khamis. Il ne reste dans le bloc de l'Eté que Jn.

4.3.4 Gizane :

Dans le bloc de l'Hiver, Gizane (Z) compte 5 mois ; mais aucun n'est dans la classe 416 associée aux froids les plus francs. Les 7 autres mois sont tous de type intermédiaire ; aucun n'est dans le bloc 428 de l'Eté. Sans entrer dans le détail de l'étiquetage, nous rappellerons que Gizane, situé sur la Mer Rouge, bénéficie tout au long de l'année de l'air humide maritime ; ne connaissant éventuellement des mois de sécheresse que par vents du Nord ou de l'Est.

5 Etude de la stabilité du climat :

5.1 La correspondance MA x SJ :

Dans les analyses des §§ 2, 3 et 4 ,les mois sont toujours représentés par des moyennes, (ou, ce qui revient au même, par des cumuls), portant sur la décennie toute entière. Cette simplification nous a paru indispensable pour aborder l'étude de la diversité spatiale du climat sans être en but aux variations annuelles dont l'importance peut être grande en zone aride. Il convient maintenant de prendre en

compte ces variations. A cette fin, on analyse un tableau qui contient, sous forme binaire (en 0,1), l'ensemble des informations recueillies, sans cumul ni moyenne: le tableau quaternaire $MxAxSxJ$, défini au §1.3, est simplement considéré comme un tableau binaire croisant les deux ensembles produit MA et SJ. Un couple ma, ou mois d'une année de la décennie, est désigné par les deux lettres du sigle du mois m suivies du chiffre de l'année a : Mr6 = Mars 1976, etc. Un couple sj, ou modalité j considérée en la station s, est notée de même : Yh2 = modalité 2 du minimum de l'humidité observée à Yenbo. Et on note

$$k(\text{Mr6}, \text{Yh2}) = 1 ,$$

parce que l'humidité minima relevée à Yenbo au cours du mois de Mars 1976 rentre dans la modalité 2 de cette variable.

On a ainsi dans la ligne ma du tableau $MAxSJ$ l'ensemble des informations relevées pour le mois ma.

Puisqu'il s'agit d'apprécier la stabilité du climat, nous concentrerons notre attention sur l'ensemble MA des 120 mois ; l'ensemble SJ des 432 modalités localisées ne sera cité que pour expliquer des faits relatifs aux mois.

5.2 Classification sur l'ensemble des mois :

c	Partition en 13 classes :											
	Sigles des individus de la classe c											
226	Jv0	Jv6	Dc4	Dc3	Fv6	Dc7	Dc8	Fv4	Fv8	Jv3	Dc2	Dc9
	Dc6	Fv5	Dc5	Jv8	Dc1	Jv1	Dc0					
216	Jv2	Jv4	Jv9	Jv7	Jv5							
230	Mr6	Mr4	Av5	Av1	Oc7	Av2						
212	Mr0	Mr9	Mr8	Mr7	Mr2	Nv6	Mr1	Mr5				
203	Fv2	Fv7	Fv1	Fv0	Nv8	Fv9						
224	Fv3	Nv9	Nv1	Nv2	Nv5	Mr3	Nv7	Nv3	Nv0	Nv4		
219	Oc9	Oc3	Oc2	Oc5	Oc8	Oc4	Oc0	Oc1				
225	Mi9	Mi4	Av6	Mi6								
223	Mi5	Mi2	Mi7	Mi1	Mi0	Mi8	Mi3					
218	Av4	Av0	Av7	Av3	Av8	Av9	Oc6					
164	Sp6	Sp7	Sp0	Sp4	Sp5	Sp2						
217	Jl6	Ao6	Ao8	Jn3	Jn5	Jn4	Jn2	Sp8	Jn9	Jn7	Sp9	Jn1
	Jn8	Jn0	Jn6	Sp1	Sp3							
220	Ao5	Ao9	Jl8	Jl5	Ao7	Jl9	Jl1	Jl0	Jl7	Ao3	Jl3	Ao2
	Jl2	Ao1	Ao0	Ao4	Jl4							

226	_____	233	_____	238	/.
216	_____		_____		
230	_____	236	_____	237	
212	_____	232	_____		
203	_____	228			
224	_____				
219	_____	235	_____		
225	_____	234	_____		
223	_____	229			
218	_____				
164	_____	227	231	_____	/
217	_____				
220	_____				

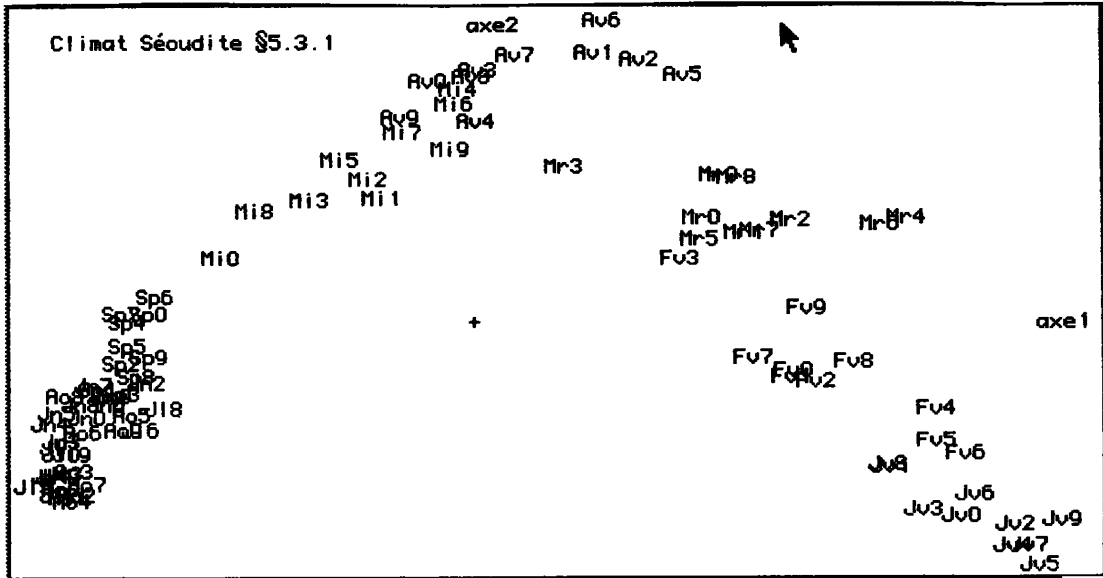
Avant les graphiques plans dont la densité embarasse, considérons les résultats d'une CAH. La partition en 13 classes retenue ici atteste que les mois ont une individualité et une stabilité temporelle (au cours des ans) que nous n'attendions pas. Comment se fait-il, par exemple, que les mois intermédiaires d'Octobre Avril et Mai fournissent des classes pures (ou quasi-pures): 219, 225, 223, 218 ; alors que ces mêmes mois ont au niveau des stations (ensemble MS) des profils moyens qui se mêlent dans les subdivisions du bloc 425 (cf §2.3). C'est apparemment que la considération simultanée de l'ensemble des stations donne de chacun de ces mois une image qui, même si elle fluctue d'année en année, garde des caractères distinctifs qui permettent une certaine discrimination. Il vaut la peine de suivre cette discrimination sur les graphiques plans.

5.3 Examen des résultats de l'analyse factorielle:

Si l'on crée des fichiers de facteurs séparés pour chacun des mois (ie un fichier pour les 10 mois de Janvier de Jv0 à Jv9; et de même jusqu'à Décembre), le programme planw permet de commander l'affichage successif de ces sous fichiers un par un et dans l'ordre qu'on a spécifié : on évite ainsi d'être placé d'emblée devant un agrégat ininterprétable. Le parcours peut évidemment être fait plusieurs fois ; et l'on garde la copie d'écran des images intermédiaires les plus claires ou les plus suggestives.

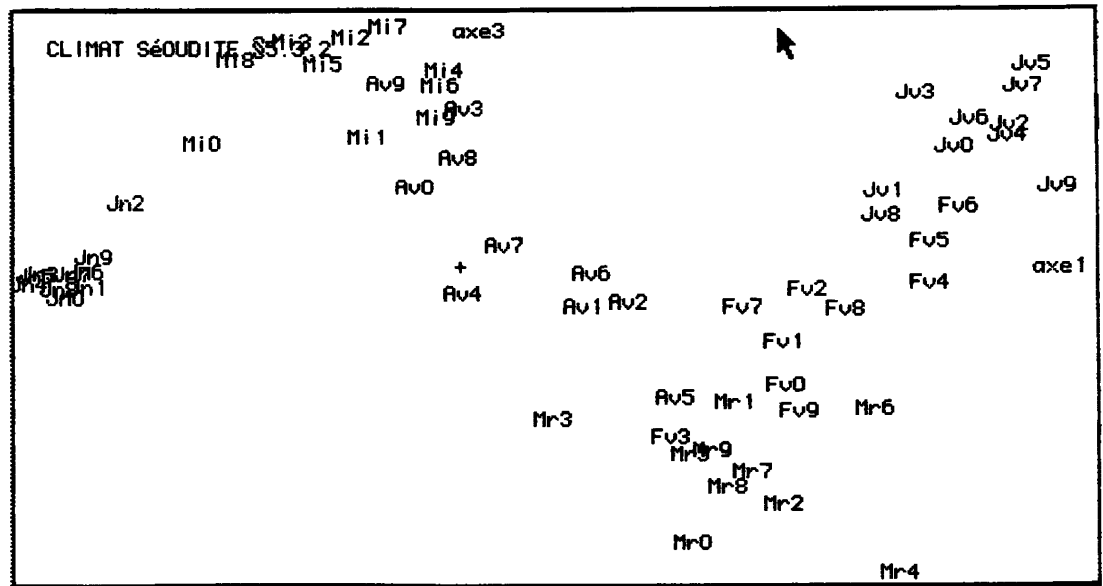
Comme le suggère le tableau de valeurs propres notre interprétation n'ira pas au delà de l'axe 4.

rang		1	2	3	4	5	6	7	8	
lambda		4957	2017	1031	921	656	597	565	543	e-4
taux		1685	685	350	313	223	203	192	185	e-4
cumul		1685	2371	2721	3035	3258	3461	3653	3838	e-4



5.3.1 Le plan (1,2) :

Demandons l'affichage sur le plan (1,2) des mois dans leur ordre naturel de Jv à Dc. Les 6 premiers mois, de Jv à Jn se placent successivement, presque sans confusion ni superposition en dessinant le croissant parabolique dont l'interprétation nous est familière. On remarque même un vide entre Mai,(Mi) et Juin,(Jn) ; ce dernier étant très concentré. Juillet,(Jl) se place sur Juin ; avec seulement un décalage vers l'extrémité du croissant. Aout recouvre Jn et Jl. Septembre vient occuper le vide remarqué entre Mi et Jn. C'est à cette étape de l'affichage qu'a été saisie l'image qui illustre notre exposé ; avant qu'Octobre ne vienne à la jonction d'Av et de Mi ; Novembre sur Fv; Dc sur Jv, mais peut-être moins excentrique.

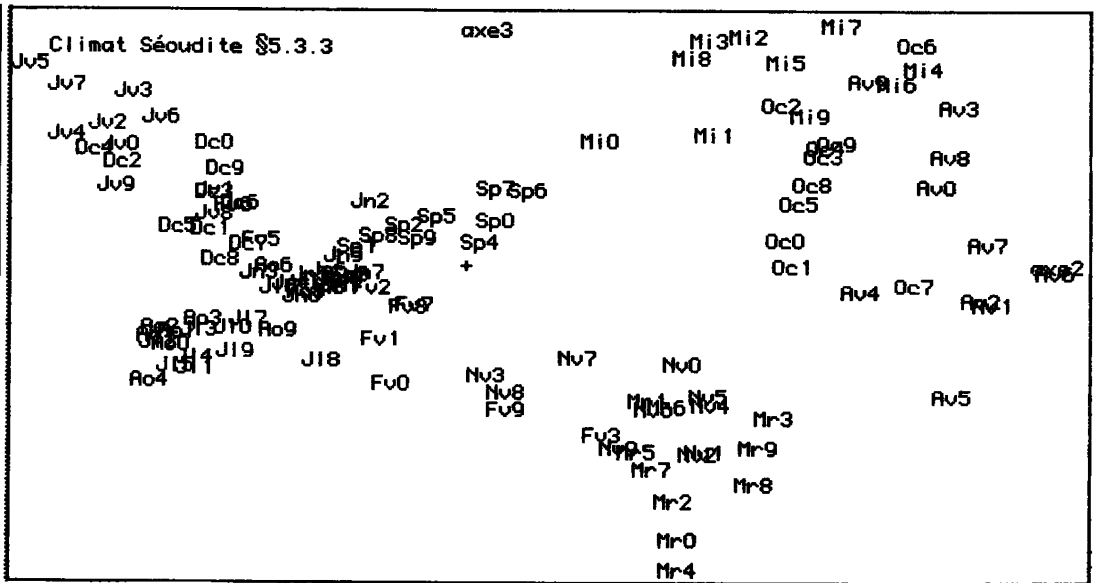


5.3.2 Le plan (1,3) :

Pour plus de clarté, on considérera le plan (2,3) après affichage des six premiers mois seulement (de Jv à Jn). On pourrait répéter, au sujet de la succession des mois, tout ce qui a été dit pour le plan (1,2). On notera seulement que le nuage a une forme en S, caractéristique de l'effet Guttman (cf §2.1) après le croissant du plan (1,2).

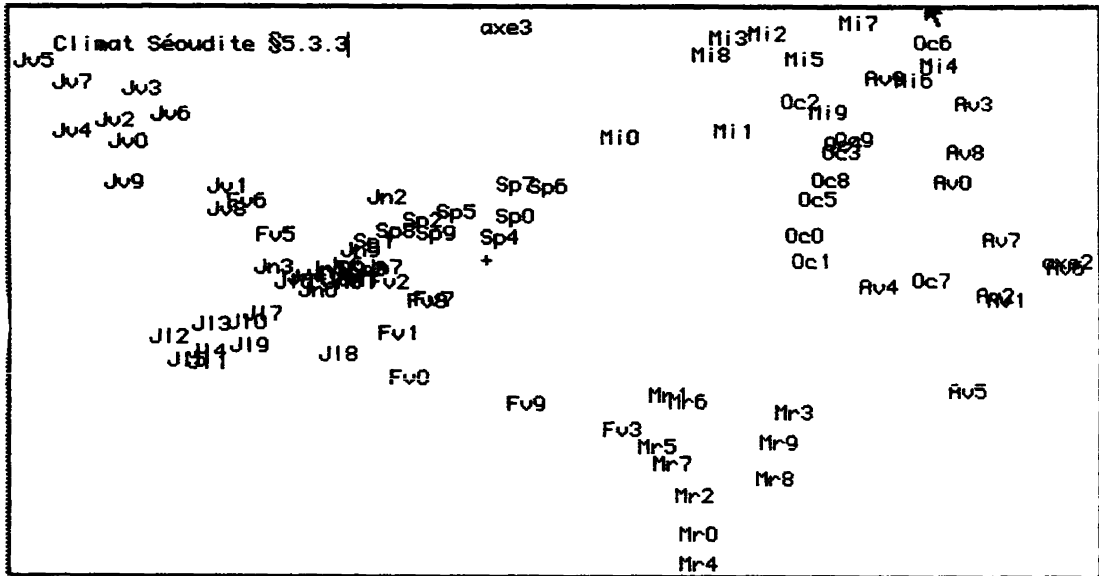
5.3.3 Le plan (2,3) :

C'est dans le plan (2,3) qu'on retrouve, quant à la séparation des mois, les faits révélés par la CAH (cf §3.2) et non encore expliqués sur les plans (1,2) ou (1,3) : le relatif isolement du mois de Mars (cf classe 212) et la bonne séparation entre Av Oc et Mi.



Les mois de Mars ont (entre autres caractéristiques) un facteur F3 nettement négatif. Le listage de l'analyse factorielle nous apprend que, du côté (F3<0), les principales contributions (CTR) à l'axe 3 viennent des 5 modalités localisées {UT2, WT3, Wt2, Xt2, Yt2} ; or sur les 10 mois de Mars Mra, on en a respectivement 6, 10, 7, 9 et 7 qui rentrent dans ces modalités : notamment, au cours de la décennie étudiée, à la station d'AlWajeh, la température Maxima de Mars a toujours été dans la modalité 3.

La figure en patte d'oie créée par les sous-nuages des mois d'Avril Octobre et Mai est digne d'attention. Il apparaît que, considéré avec sa variabilité diachronique et sur l'ensemble de la péninsule, le climat d'Octobre est intermédiaire entre ceux d'avril et de Mai; comme si la saison intermédiaire réduite au seul mois d'Octobre correspondait à l'autre saison formée d'Avril et de Mai. On peut encore conjecturer que si les relevés météorologiques quotidiens étaient repris pour créer un mois fictif allant du 15 Avril au 15 Mai, ce mois se superposerait à Octobre. on voit ici tout le parti que la climatologie pourrait tirer de semblables analyses pour observer avec précision le rythme de déroulement des saisons.



Si l'on demande l'affichage de tous les mois à l'exception de ceux d'Août, Novembre et Décembre, l'image du plan (2,3) reste nette : on voit seulement que Jn , placé entre Jl et Sp, se superpose au nuage étélé de Fv: mais cette superposition n'est d'aucune conséquence, puisque Jn et Fv sont très écartés l'un de l'autre sur l'axe 1 (cf §§3.3.1 et 3.3.2). Si on complète le nuage MA, Ao se superpose à Jl (voire à Jn) ; Dc vient sur Jv (en tendant vers Fv); et Nv va de Fv à Mr.

5.3.4 L'axe 4 :

Cet axe est créé par une pluviosité élevée en de nombreuses stations du pays (nous citerons B, D, E, I, K, N, R, S, X, Y) au cours de certains mois de printemps (Mr4, Mr6, Av5, Av6, Mi4, Mi6, Mi9). Il a l'intérêt de mettre en évidence, au-delà des tendances constantes inscrites sur les axes 1, 2 et 3, ces faits exceptionnels inséparables de la notion même de climat.

5.4 Etude locale de la stabilité du climat :

Pour achever l'étude des fluctuations du climat sur la décennie considérée, il resterait à se placer au niveau de chaque station s ; et à suivre pour chaque mois m la suite des 10 images climatiques observées en s. cela peut se faire en adjoignant en supplémentaire au tableau SMxJ, défini au §2, le tableau SMAxJ ; tableau en (0,1) qui, comme le tableau MAxSJ contient l'ensemble des inormations codées dans le tableau quaternaire MxAxSxJ. Nous ne le ferons pas ici.

6 Conclusion :

Notre but était de répondre à des questions jusqu'à présent peu ou mal formulées; tant l'absence de moyens d'y répondre inhibe la faculté de poser de telles questions. Grâce à l'outil informatique, l'analyse des données nous a permis d'éclairer le sujet de la climatologie de l'Arabie, tant à l'échelle globale du

6 Conclusion :

Notre but était de répondre à des questions jusqu'à présent peu ou mal formulées; tant l'absence de moyens d'y répondre inhibe la faculté de poser de telles questions. Grâce à l'outil informatique, l'analyse des données nous a permis d'éclairer le sujet de la climatologie de l'Arabie, tant à l'échelle globale du pays qu'à celle, locale, des 18 stations représentatives des régions ; et notamment d'appréhender le problème des transitions climatiques caractérisées dans leur instabilité et leur variabilité propre.

Nous pensons que l'application de la même méthode à des données plus nombreuses relevées à une échelle spatiotemporelle plus fine, permettrait d'aboutir à des conclusions non seulement climatiques mais météorologiques. "

Remerciements : L'auteur remercie vivement Monsieur O. Bouchta, Directeur du Centre de Calcul de la Maison des Sciences de l'Homme d'Aquitaine qui a bien voulu l'accueillir en stage dans son Laboratoire ; et Monsieur P. Barrère, Directeur de l'U.E.R. de Géographie Physique Appliquée qui l'a admis pour son année sabbatique, généreusement accordée par son Collège d'Education de l'Université du Roi Saoud à Abha.

جاءت بحمد الله تعالى

