

PHYTOPLANCTON DES EAUX NATRONÉES DU KANEM (Tchad)

VIII. CLASSIFICATION DES MILIEUX ÉTUDIÉS ET ESPÈCES CARACTÉRISTIQUES

A. ILTIS

Hydrobiologiste de l'O.R.S.T.O.M., B.P. 65, N'Djaména (Rép. du Tchad)

RÉSUMÉ

Le calcul des coefficients de corrélation de Kendall et de Bravais-Pearson et la définition des espèces caractéristiques par la méthode de l'écart réduit permettent de classer les milieux permanents étudiés en trois grandes zones biologiques. Les mares temporaires où les variations de teneur en sels dissous sont continues et de grande amplitude constituent un groupe de milieux à part, toutefois leur flore algale présente certaines affinités avec celle des lacs polycarbonatés.

ABSTRACT

The calculation of rank correlation of Kendall, correlations of Bravais-Pearson and the definition of characteristic species by the method of the « ecart réduit » let class the permanent lakes studied in three great biological zones. Temporary ponds where the variations of the salinity are continuous and important compose particular biotops, however their algal flora presents some affinities with that from polycarbonated lakes.

1. INTRODUCTION.

Au cours de l'étude systématique des algues, les milieux prospectés ont été classés à priori suivant la classification retenue pour les eaux saumâtres, le terme halin ayant été remplacé dans les vocabulaires utilisés par carbonaté pour tenir compte de la nature des sels dissous dominants dans les eaux natronées. Rappelons que l'on avait distingué après les eaux douces, les eaux oligocarbonatées (0,5 à 3 g/l de concentration en sels) puis les eaux mésocarbonatées (3 à 16 g/l) ; venaient ensuite les milieux polycarbonatés (16 à 30 g/l) et eucarbonatés (30 à 40 g/l). Au-delà de quarante grammes par litre de concentration en sels, les eaux étaient appelées hypercarbonatées (1).

L'analyse qualitative des peuplements a permis de partager en trois grands domaines biologiques ayant des caractéristiques propres l'ensemble de l'éventail des salinités couvert par cette étude ; ces zones biologiques qui se répartissent comme suit : 0,3 à 3,5 g/l ; 3,5 à 30 g/l et plus de 30 g/l, correspondent au point de vue découpage à celui défini par Beadle (1959) pour les eaux saumâtres. Connaissant la composition quantitative et la structure des biocénoses algales existant dans les milieux, il nous a paru nécessaire de tester la valeur des groupes ainsi définis, d'apprécier les affinités existant entre les différents types de milieux et de déterminer les groupements d'espèces qui leur sont liés.

2. GROUPEMENT DES STATIONS.

Pour chacun des milieux étudiés, on a défini à l'aide de tous les prélèvements effectués un peuplement algal moyen. Pour dix lacs ou mares, celui-ci

(1) Voir « Algues des eaux natronées du Kanem (Tchad) », 1^{re} partie, *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, 1972, 6, 3-4, 173-246.

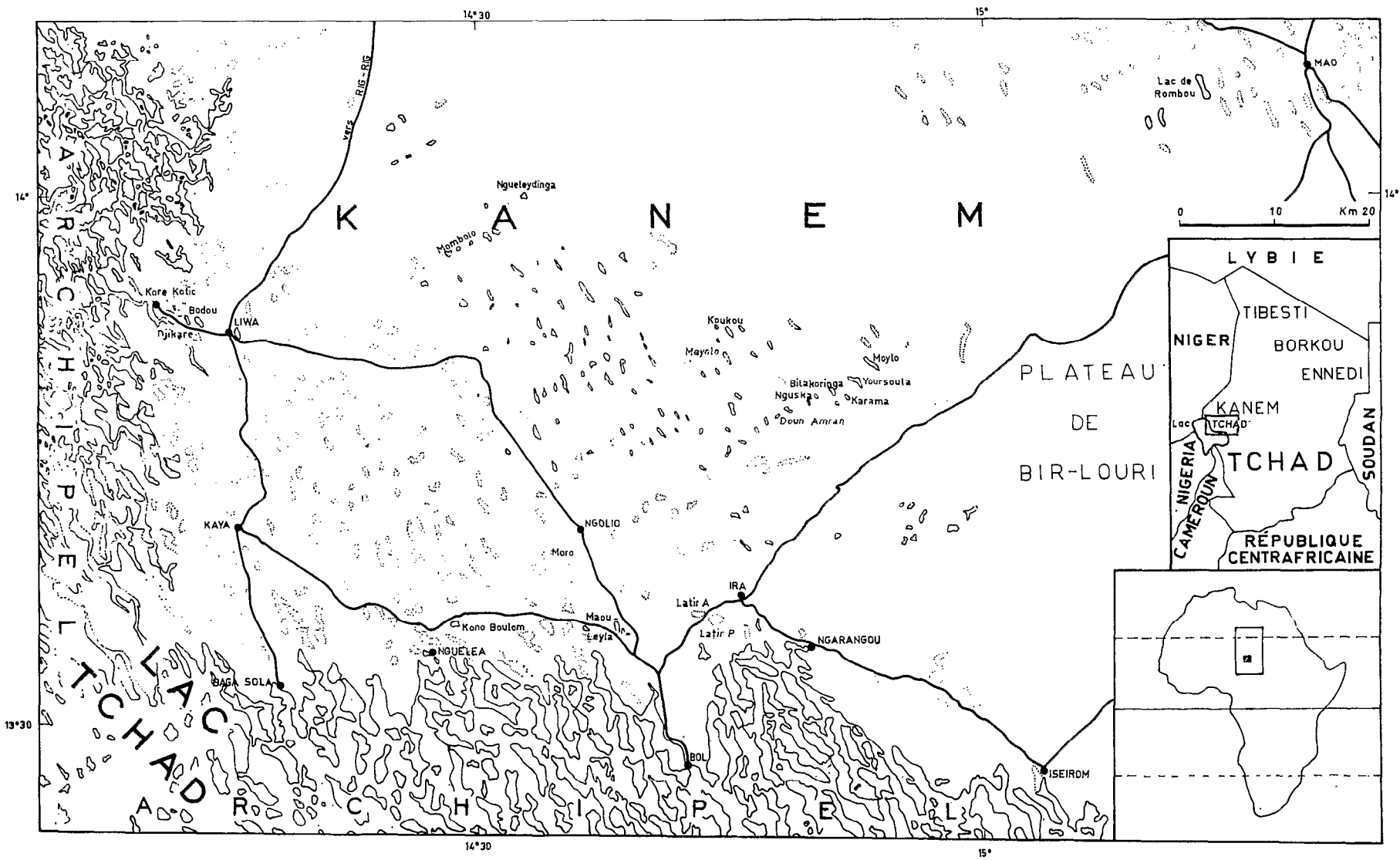


Fig. 1. — Carte de situation des milieux étudiés.

a été calculé d'après onze à dix-sept relevés, et pour six autres d'après un ou deux relevés seulement. Les seize peuplements moyens obtenus correspondent aux différents milieux suivants ; la valeur inscrite entre parenthèses indique le nombre de relevés à partir duquel le peuplement moyen a été calculé.

1. Bodou.....(16)	9. Karama..... (2)
2. Rombou.....(20)	10. Moylo.....(17)
3. Liwa.....(14)	11. Yoursoula.....(14)
4. Latir P.....(32)	12. Mombolo 5..... (2)
5. Maou-Leyla....(11)	13. Troisième barrage...(14)
6. Djikare.....(15)	14. Koukou..... (1)
7. Mombolo 4.....(16)	15. Mayolo..... (1)
8. Kono Boulom... (2)	16. Doun Amran..... (1)

Pour évaluer le degré de similitude entre les différentes stations de prélèvement, deux coefficients ont été calculés : en premier lieu, les coefficients de corrélation de rang de Kendall qui font intervenir uniquement le rang de classement des espèces observées dans les échantillons d'après leur volume total ;

ils ne tiennent compte en pratique que de la structure des peuplements ; en second lieu, les coefficients de corrélation de Bravais-Pearson, déjà utilisés ici pour l'analyse des variations saisonnières des populations ; ils font intervenir les biomasses de chacune des espèces inventoriées, les données utilisées pour leur calcul sont normalisées par transformation logarithmique afin que leur signification puisse être testée.

Ces deux méthodes ont l'avantage d'utiliser la plus grande partie de l'information contenue dans les données de base.

(a) Coefficients de Kendall.

La matrice de corrélation (tableau 1) a été obtenue à partir des corrélations de rang des espèces dans chacun des milieux ; les valeurs des coefficients varient entre $-0,323$ et $0,768$; ils sont présentés ici multipliés par 1000 :

TABEAU 1

Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	361														
3	132	655													
4	113	461	720												
5	161	293	531	715											
6	268	074	144	268	299										
7	177	195	000	079	119	485									
8	328	275	102	258	277	636	768								
9	062	079	— 107	070	076	431	751	550							
10	067	— 223	— 144	— 091	050	123	— 014	067	022						
11	— 090	— 051	000	022	141	067	— 003	020	— 006	070					
12	144	— 029	— 137	— 010	036	141	363	364	414	418	— 115				
13	050	— 184	— 151	— 207	— 056	024	— 194	— 036	— 140	369	074	— 030			
14	141	— 216	— 144	— 112	079	116	— 107	014	— 064	576	065	311	336		
15	324	— 158	— 323	— 180	— 159	169	249	253	158	500	174	318	— 226	101	
16	173	— 162	— 209	— 110	— 025	073	116	160	093	668	035	396	— 020	297	580

Avec un coefficient de risque de 5 %, le seuil de signification pour $N = 58$ est en l'absence d'ex-aequo de 0,188 d'après la table indiquant les seuils au-dessus desquels le coefficient de corrélation peut être considéré comme significatif. En tenant compte des ex-aequo dus aux espèces absentes dans les deux séries comparées, ce seuil est légèrement relevé (LOUBENS, 1969) et plutôt que de calculer tous les seuils correspondant à tous les couples de relevés, ce qui aurait été très long, nous avons choisi pour l'ensemble de la matrice un seuil de signification égal à 0,26 figuré en tireté sur la représentation graphique.

Pour visualiser les résultats obtenus, on a représenté les seize stations par seize points équidistants

sur une circonférence (fig. 2 a) et l'on a relié ces points par des segments de droite figurés différemment suivant la valeur du coefficient de corrélation. Les stations de prélèvement se répartissent en gros en trois groupes principaux. Le premier comprend les mares de Latir (4) et Maou-Leyla (5) et l'ouadi de Liwa (3) dont le peuplement présente comme on l'a vu des caractéristiques de milieu temporaire. Le lac de Rombou (2) et à un degré moindre le lac eucarbonaté de Bodou (1) sont reliés à ce groupe. Les milieux temporaires sont ainsi liés aux lacs permanents dont les concentrations en sels dissous sont les plus élevées, la salinité moyenne étant toujours forte dans les mares temporaires et les espèces présentes

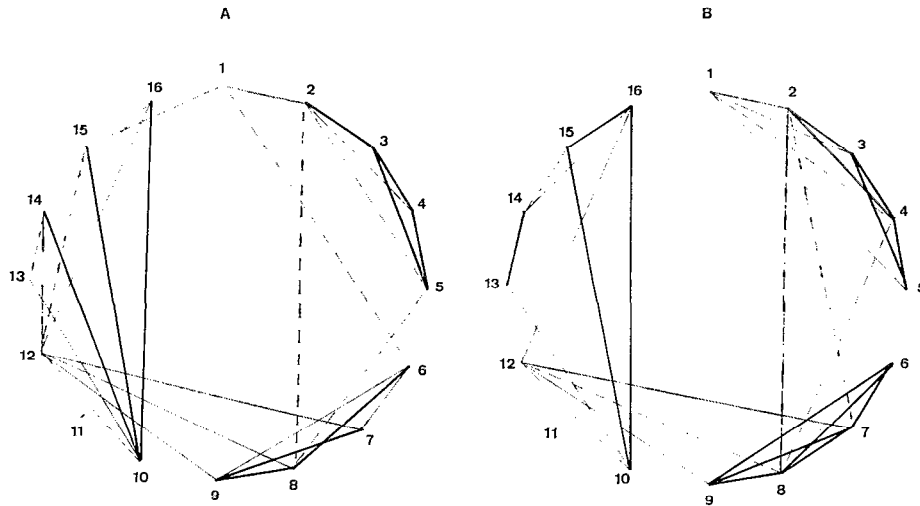


Fig. 2 a. — Interprétation de la matrice de similitude entre les seize milieux étudiés (Corrélations de rang de Kendall) :

- Corrélations supérieures à 0,50
- Corrélations supérieures à 0,33, inférieures à 0,50
- - - - Corrélations supérieures à 0,26, inférieures à 0,33

Fig. 2 b. — Interprétation de la matrice de similitude entre les seize milieux étudiés (Corrélations de Bravais-Pearson) :

- Corrélations supérieures à 0,55
- Corrélations supérieures à 0,33, inférieures à 0,55
- - - - Corrélations supérieures à 0,26, inférieures à 0,33

étant le plus souvent identiques dans ces deux sortes de milieux ; on sait en effet que les espèces vivant dans les eaux les plus concentrées en sels sont les plus aptes à supporter de fortes variations de salinité. Le deuxième groupe de stations comprend les lacs de Djikare, Mombolo 4, Kono Boulom et Karama (6 à 9) tous bien reliés entre eux ; ce sont pour trois sur quatre des milieux mésocarbonatés ; le lac de Karama dont la concentration est d'environ 2,5 g/l se rattache à ce groupe. Un troisième groupe enfin comprend de 10 à 16 les lacs de Moylo, Mombolo 5, Koukou, Doun Amran et la mare du troisième barrage à Bol. Les lacs de la partie centrale du Kanem, Moylo, Koukou, Mayolo, Doun Amran (10, 14, 15, 16) sont bien reliés entre eux tandis que la mare du troisième barrage et Mombolo 5 sont légèrement différents, ce dernier dont la salinité est d'environ 1,5 g/l possède un peuplement ayant des affinités avec celui des milieux mésocarbonatés 7, 8 et 9. Le phytoplancton récolté dans le lac de Yoursoula (11)

n'est lié à aucun groupe et paraît indépendant de celui de toutes les autres stations. On a vu précédemment que les conditions particulières dans lesquelles les échantillonnages ont été faits étaient à l'origine du caractère aberrant des résultats trouvés pour le peuplement algal de cette station.

(b) Coefficients de Bravais-Pearson.

La matrice obtenue figure dans le tableau 2 où les valeurs ont été multipliées par 1000. Les coefficients obtenus varient entre $-0,223$ et $0,801$, soit un écart très important montrant l'hétérogénéité des peuplements suivant les stations ; les seuils de signification pour un nombre d'espèces prises en considération égal à 58 sont approximativement de 0,26 et 0,33 pour des sécurités de 95 et 99 % :

TABLEAU 2

Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	456														
3	347	773													
4	278	575	801												
5	376	541	704	779											
6	005	185	255	221	236										
7	— 030	267	144	093	113	585									
8	— 012	347	306	261	257	751	648								
9	— 047	243	138	088	071	565	745	732							
10	— 089	— 212	— 154	— 141	003	075	— 034	042	— 019						
11	— 098	— 046	— 004	— 085	070	— 106	— 043	— 077	— 160	146					
12	— 035	092	014	085	074	152	348	263	423	402	— 223				
13	— 077	— 156	— 096	— 176	002	002	— 227	— 089	— 181	327	096	— 088			
14	— 026	— 078	— 067	— 145	053	008	— 200	— 117	— 171	468	064	191	553		
15	— 036	— 064	— 177	— 200	— 163	011	085	— 026	— 107	599	217	220	135	280	
16	— 026	— 125	— 129	— 107	— 042	— 008	055	012	— 034	765	054	435	093	352	655

Comme pour la matrice précédente, on a représenté les seize stations par seize points équidistants sur une circonférence (fig. 2 b) et l'on a relié ces points par des segments de droite. La répartition des stations prospectées en trois grands groupes identiques à ceux définis à l'aide des coefficients de rang de Kendall se trouve confirmée. Les affinités de la station 12 (Mombolo 5) avec les lacs mésocarbonatés et l'isolement de la station 11 (Yoursoula) apparaissent ici aussi.

La représentation graphique sous forme de dendrogramme effectuée à partir de la matrice de corrélation de Bravais-Pearson confirme cette répartition des stations en trois grands groupes (fig. 3). Dans le

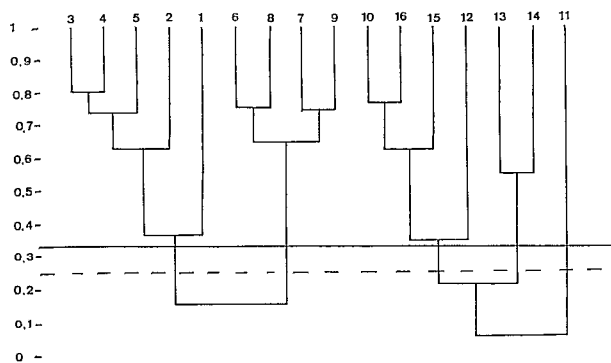


Fig. 3. — Interprétation sous forme de dendrogramme de la matrice de similitude entre les seize stations (Corrélations de Bravais-Pearson).

premier, le lac de Bodou apparaît le moins bien relié aux autres de ce groupe. Les stations 6, 7, 8 et 9 sont très similaires tandis que les liaisons dans le dernier

groupe (10 à 16) apparaissent beaucoup plus lâches, les populations algales étant alors beaucoup plus diversifiées dans ces lacs d'eau douce ou oligocarbonatés en raison de la diminution de l'emprise de la concentration en sels sur les peuplements. La mare du troisième barrage et le lac de Koukou forment un sous-groupe légèrement différent des autres. Comme sur les figures précédentes, le lac de Yoursoula ne se rattache au groupe des stations oligocarbonatées qu'à un niveau très bas, situé au-dessous du seuil de signification.

3. GROUPEMENT DES ESPÈCES.

Les coefficients de corrélation de Bravais-Pearson ont été calculés entre chacune des vingt-trois espèces les plus abondantes à partir de leur biomasse moyenne à chacune des stations étudiées ; le but était de mettre en évidence les groupements spécifiques existants et d'évaluer les niveaux d'association entre les différents taxons. La matrice obtenue (tableau 3 où les coefficients ont été multipliés par 1000) comprend des valeurs variant entre —0,746 et 0,963, le seuil de signification se situant à 0,540 et 0,420 pour une sécurité liée à des probabilités de 0,99 et 0,95. L'exploitation sous forme de dendrogramme (fig. 4) laisse apparaître trois grands groupes nettement séparés. Le premier comprend :

- Monoraphidium contortum*
- Microcystis aeruginosa*
- Tetraedron pl. sp.*
- Scenedesmus pl. sp.*
- Crucigenia triangularis*
- Pediastrum duplex*
- Anabaenopsis sp.*

TABLEAU 3

ESPÈCES	CHL	TET	CRU	PED	SCE	MON	SPH	CYC	ANO	CRY	GYM	SYS	SYM	MIA	MIE	GPH	CHR	ANA	ANS	RAP	OPL	OPM	OAY
2 TET.....	013																						
3 CRU.....	172	794																					
4 PED.....	211	786	929																				
5 SCE.....	001	942	780	795																			
6 MON.....	049	842	858	733	767																		
7 SPH.....	564	-436	-325	-320	-482	-366																	
8 CYC.....	322	525	496	686	554	355	-197																
9 ANO.....	278	-487	-290	-280	-542	-387	857	-286															
10 CRY.....	575	026	118	145	062	104	679	255	452														
11 GYM.....	-206	616	391	440	515	409	-519	312	-376	-213													
12 SYS.....	-503	-177	-005	004	-201	-111	-158	-194	195	-329	054												
13 SYM.....	599	-290	-216	-212	-320	-243	-725	-131	607	397	-498	-212											
14 MIA.....	040	867	825	790	798	963	-380	414	-386	104	465	-088	-252										
15 MIE.....	351	635	337	218	601	580	-354	019	-330	-237	324	-031	-235	539									
16 GPH.....	323	-367	-273	-269	-406	-308	796	-166	718	485	-317	-049	308	-320	-298								
17 CHR.....	062	-289	-215	-212	-320	-242	-215	-131	-049	-382	326	291	-143	-252	-234	-181							
18 ANA.....	192	-681	-399	-408	-746	-523	519	-369	704	-025	-352	439	328	-547	-455	500	420						
19 ANS.....	-042	836	437	361	742	661	-370	278	-537	026	552	-365	-246	640	603	-312	-245	-722					
20 RAP.....	-334	-075	036	114	-086	-082	-293	064	013	-401	056	-872	-194	-031	-099	-246	414	323	-258				
21 OPL.....	314	-516	-384	-378	-570	-432	818	-233	673	506	-476	-177	546	-449	-418	671	-254	295	-438	-346			
22 OPM.....	-206	-383	-241	-244	-436	-299	-327	-059	-096	-487	120	410	-274	-338	-341	-230	638	528	-342	458	-381		
23 OAY.....	-011	-294	-165	-216	-411	-073	058	-301	271	-388	-212	445	108	-085	059	003	444	703	-374	475	-178	537	

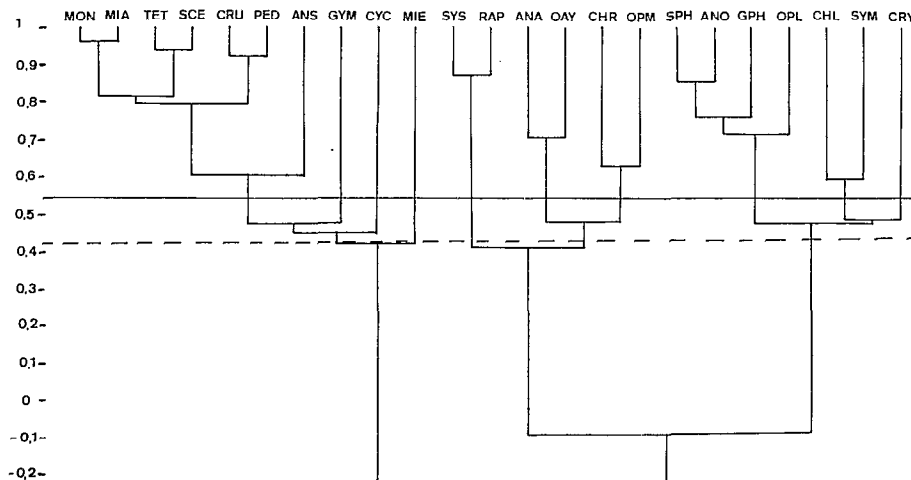


Fig. 4. — Dendrogramme d'interprétation de la matrice de similitude entre 23 espèces les plus abondantes (Corrélations de Bravais-Pearson).

MON : *Monoraphidium contortum*. — MIA : *Microcystis aeruginosa*. — TET : *Tetraedron plur. sp.* — SCE : *Scenedesmus plur. sp.* — CRU : *Crucigenia triangularis*. — PED : *Pediastrum duplex*. — ANS : *Anabaenopsis sp.* — GYM : *Gymnodinium sp.* — CYC : *Cyclotella meneghiniana*. — MIE : *Microcystis elachista*. — SYS : *Synechocystis salina*. — RAP : *Raphidiopsis cf. curvata*. — ANA : *Anabaenopsis arnoldii*. — OAY : *Oscillatoria laxissima*. — CHR : *Chroococciopsis cf. thermalis*. — OPM : *Oscillatoria platensis f. minor*. — SPH : *Sphaeroeca sp.* — ANO : *Anomoconeis sphaerophora*. — GPH : *Gomphosphaeria aponina*. — OPL : *Oscillatoria platensis*. — CHL : *Chlamydomonas sp.* — SYM : *Synechocystis minuscula*. — CRY : *Cryptomonas sp.*

Gymnodinium sp.
Cyclotella meneghiniana
Microcystis elachista

Le second groupe comprend :

Synechocystis salina
Raphidiopsis cf. curvata
Anabaenopsis arnoldii
Oscillatoria laxissima
Chroococciopsis cf. thermalis
Oscillatoria platensis f. minor

Et le dernier :

Sphaeroeca sp.
Anomoconeis sphaerophora
Gomphosphaeria aponina
Oscillatoria platensis
Chlamydomonas sp.
Synechocystis minuscula
Cryptomonas sp.

D'après l'ensemble des renseignements acquis sur la flore algale, le premier de ces groupes est formé d'espèces dulcicoles ou des milieux oligocarbonatés, tandis que dans le second figurent les espèces des eaux mésocarbonatées. Seul *Anabaenopsis arnoldii* a en réalité une répartition beaucoup plus étendue que celle trouvée ici ; cette Cyanophycée se développe en effet dans les mares temporaires et les lacs polycarbonatés aussi bien que dans les milieux moyenne-

ment natronés. Le dernier groupe enfin comprend les espèces vivant dans les eaux à forte salinité moyenne, qu'elles soient temporaires ou permanentes.

La séparation des espèces en trois groupes qui peuvent être reliés aux trois types de biotopes définis plus haut apparaît donc nette ; les liaisons existant à un niveau élevé entre certains taxons entre eux masquent toutefois, avec ce mode d'interprétation des corrélations, les liaisons qui existent entre ces taxons et différents autres avec lesquels ils sont plus lâchement associés.

4. ESPÈCES CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTS MILIEUX.

Une autre méthode a été utilisée pour confirmer les affinités des espèces avec les groupes de biotopes existant. Si l'on compare les relevés correspondant aux différents milieux étudiés, on constate que certaines espèces sont présentes dans certains biotopes et toujours absentes dans d'autres. Ce sont des espèces dites caractéristiques. Dans beaucoup de cas toutefois, la distribution est beaucoup moins nette et si l'on effectue par exemple des échantillonnages dans deux milieux différents, une même espèce peut être présente dans la plupart des peuplements appar-

TABLEAU 4

Espèces	Temporaires	Eucarbonatés	Poly-carbonatés	Meioméso-carbonatés	Pleio-carbonatés	Oligo-carbonatés
<i>Pyramimonas</i> sp.....	C-P = 13,1 t = 5,80	C-P = -2,46 t = 1,78	C-P = 1,26 t = 0,87	C-P = -2,31 t = 1,72	C-P = -2,46 t = 1,78	C-P = -7,2 t = 3,43
<i>Chlamydomonas</i> sp.....	C-P = 6 t = 2,38	C-P = -2,31 t = 1,49	C-P = -3,69 t = 2,26	C-P = -3,11 t = 2,06	C-P = -3,31 t = 2,14	C-P = 7,5 t = 3,18
<i>Oocystis</i> sp.....	C-P = -6,3 t = 2,90	C-P = -2,27 t = 1,71	C-P = 0,47 t = 0,34	C-P = -1,13 t = 0,87	C-P = -1,27 t = 0,95	C-P = 10,5 t = 5,17
<i>Sphaeroeca</i> sp.....	C-P = 11 t = 4,7	C-P = -2,74 t = 1,90	C-P = 2,94 t = 1,93	C-P = -0,58 t = 0,41	C-P = -2,74 t = 1,90	C-P = -7,9 t = 3,59
<i>Navicula halophila</i>	C-P = -6,6 t = 3,16	C-P = -2,08 t = 1,61	C-P = -1,32 t = 0,98	C-P = 0,04 t = 0,03	C-P = 11,92 t = 9,24	C-P = -1,1 t = 0,56
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	C-P = 25,4 t = 7,99	C-P = -6,12 t = 3,12	C-P = 7,92 t = 3,84	C-P = -0,64 t = 0,34	C-P = -5,12 t = 2,61	C-P = -21,4 t = 7,18
<i>Cryptomonas</i> sp.....	C-P = -5,5 t = 1,73	C-P = -6,56 t = 3,36	C-P = 5,56 t = 2,71	C-P = -5,11 t = 2,69	C-P = -7,56 t = 3,88	C-P = 19,2 t = 6,46
<i>Gymnodinium</i> sp.....	C-P = -18 t = 6,04	C-P = -3,48 t = 1,90	C-P = -3,12 t = 1,62	C-P = 10,84 t = 6,09	C-P = 1,52 t = 0,83	C-P = 12,2 t = 4,37
<i>Synechocystis salina</i>	C-P = -10,1 t = 3,88	C-P = -3,59 t = 2,24	C-P = -2,01 t = 1,20	C-P = 7,62 t = 4,88	C-P = 13,41 t = 8,38	C-P = -5,4 t = 2,21
<i>Synechocystis minuscula</i>	C-P = 3,6 t = 1,46	C-P = -3,12 t = 2,05	C-P = -2,48 t = 1,55	C-P = -2,93 t = 1,98	C-P = 11,88 t = 7,82	C-P = -6 t = 2,60
<i>Gomphosphaeria aponina</i>	C-P = 8,1 t = 4,05	C-P = -1,89 t = 1,54	C-P = 2,89 t = 2,22	C-P = -1,78 t = 1,48	C-P = -1,89 t = 1,54	C-P = -5,4 t = 2,87
<i>Chroococciopsis cf. thermalis</i>	C-P = -10,1 t = 4	C-P = -3,30 t = 2,13	C-P = -3,69 t = 2,26	C-P = 10,89 t = 7,21	C-P = 13,7 t = 8,84	C-P = -7,53 t = 3,19
<i>Radiocystis geminata</i>	C-P = -5,86 t = 3,15	C-P = -1,61 t = 1,40	C-P = -1,79 t = 1,48	C-P = 13,49 t = 12,04	C-P = 0,39 t = 0,34	C-P = -5,86 t = 3,15
<i>Raphidiopsis cf. curvata</i>	C-P = -3,10 t = 2,23	C-P = -0,85 t = 0,99	C-P = -0,95 t = 1,06	C-P = -0,80 t = 0,96	C-P = 4,15 t = 4,83	C-P = -3,10 t = 2,23
<i>Anabaenopsis arnoldii</i>	C-P = 13,7 t = 4,57	C-P = -11,33 t = 6,12	C-P = 5,33 t = 2,75	C-P = 5,33 t = 2,96	C-P = 11,33 t = 3,06	C-P = -18,7 t = 6,65
<i>Oscillatoria platensis</i>	C-P = 22,3 t = 6,99	C-P = 8,59 t = 4,38	C-P = 9,61 t = 4,67	C-P = -7,91 t = 4,14	C-P = -8,41 t = 4,29	C-P = -24,2 t = 8,09
<i>O. platensis f. minor</i>	C-P = -19,7 t = 6,48	C-P = -5,95 t = 3,18	C-P = -1,65 t = 0,84	C-P = 10,40 t = 5,71	C-P = 11,05 t = 5,91	C-P = 5,9 t = 2,07
<i>Oscillatoria laxissima</i>	C-P = -7,7 t = 2,53	C-P = -5,95 t = 3,18	C-P = -4,95 t = 2,51	C-P = 10,40 t = 5,71	C-P = 11,05 t = 5,91	C-P = -2,1 t = 0,74

tenant au premier biotope et dans quelques prélèvements seulement du second. On est donc amené à rechercher les espèces qui ont une probabilité élevée d'être présentes — ou absentes — dans un biotope ou un groupe de milieux.

La recherche des espèces caractéristiques a été faite par la méthode de l'écart réduit (BONNET, 1964) ; cette méthode a été employée pour les mollusques du lac Tchad par LÉVÊQUE (1972) ; le principe en est le suivant : sur un total de N prélèvements, le biotope Y est représenté dans Q prélèvements et l'espèce X dans B prélèvements. D'autre part, l'espèce X est présente dans C prélèvements du faciès Y. Il faut alors déterminer si C est voisin, ou au contraire s'il s'écarte significativement de la valeur qu'il aurait s'il y avait indépendance entre les distributions de X et Y.

S'il y a indépendance, la probabilité de trouver X dans un prélèvement est $P_1X = \frac{A}{N}$ et celle de rencontrer Y est $P_1Y = \frac{B}{N}$. La probabilité de présence simultanée de X et Y dans un prélèvement est $P_1XY = \frac{AB}{N_2}$ soit pour N prélèvements $\frac{AB}{N}$. On compare ensuite le nombre calculé P au nombre observé C :

Si $C = P$, il y a indépendance entre X et Y ; le nombre des coïncidences est celui que donne une distribution au hasard.

Si $C < P$, X et Y sont en coïncidence moins souvent

que s'ils étaient distribués au hasard. Il y a incompatibilité entre X et Y d'autant plus que C - P est plus grand.

Si $C > P$, le nombre constaté de coïncidences est supérieur à celui que l'on a calculé et il y a affinité entre X et Y d'autant plus grande que C - P est plus grand.

L'avantage de la méthode est de pouvoir tester la différence C - P en calculant $t = \frac{C - P}{\sigma}$, σ étant l'écart type de la différence et t l'écart réduit.

σ est donné par la formule $\sigma = \sqrt{\frac{A(N-A)B(N-B)}{N_3}}$.

Pour tester l'affinité de X et Y, il suffira de consulter une table des écarts réduits ou une abaque correspondant à celle-ci.

Cette méthode a été utilisée pour rechercher les affinités existant entre les espèces et chacun des six groupes de biotopes suivants : mares temporaires, milieux poly- et eucarbonatés, milieux méiomésocarbonatés et pleiocarbonatés et ensemble eaux douces et oligocarbonatées. Les taxons qui, par leur présence exclusive dans un seul de ces groupes de biotopes, peuvent être considérés comme caractéristiques n'ont pas été pris en considération dans les calculs ; seules les espèces qui présentent une biomasse appréciable dans plusieurs types de milieux ont été étudiées (tableau 4). D'après les valeurs obtenues pour l'écart réduit, les résultats sont exprimés pour chaque espèce sous forme de probabilités de distribution au hasard (tableau 5 suivant).

TABLEAU 5

Taxons	Milieux temporaires	eucarbonatés	polycarbonatés	meiomésocar.	pleiocarbonatés	oligocarbonatés
<i>Pyramimonas</i> sp.....	+++++	—	—	—	—	—
<i>Chlamydomonas</i> sp.....	++	—	—	—	—	+++
<i>Oocystis</i> sp.....	—	—	—	—	—	+++++
<i>Sphaeroeca</i> sp.....	+++++	—	+	—	—	—
<i>Navicula halophila</i>	—	—	—	—	+++++	—
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	+++++	—	++	—	—	—
<i>Cryptomonas</i> sp.....	—	—	++	—	—	+++++
<i>Gymnodinium</i> sp.....	—	—	—	++++	—	+++++
<i>Synechocystis salina</i>	—	—	—	+++++	+++++	++
<i>S. minuscula</i>	—	—	—	—	+++++	—
<i>Gomphosphaeria aponina</i> ...	++++	—	+	—	—	—
<i>Chroococciopsis cf. thermalis</i>	—	—	—	+++++	+++++	—
<i>Radiocystis geminata</i>	—	—	—	+++++	—	—
<i>Raphidiopsis cf. curvata</i>	—	—	—	—	+++++	—
<i>Anabaenopsis arnoldii</i>	+++++	—	++	++	++	—
<i>Oscillatoria platensis</i>	+++++	+++++	+++++	—	—	—
<i>O. platensis f. minor</i>	—	—	—	+++++	+++++	+
<i>C. laxissima</i>	—	—	—	+++++	+++++	—

+ présence
 — absence
 ± probabilité 0,1
 ±± probabilité 0,01
 ± ± ± probabilité 0,001
 ± ± ± ± probabilité 0,0001
 ± ± ± ± ± probabilité 0,00001
 ± ± ± ± ± ± probabilité 0,000001 et <

L'absence de signe indique une probabilité supérieure à 0,1 de distribution au hasard dans le milieu.

Plusieurs espèces sont caractéristiques des milieux temporaires : *Pyramimonas* sp., *Sphaeroeca* sp., *Anomoeoneis sphaerophora*, *Gomphosphaeria aponina*, *Anabaenopsis arnoldii* et *Oscillatoria platensis*. A ces taxons s'ajoute *Scenedesmus bourrellyi* qui n'a été inventorié que dans ce type de biotopes. *Oscillatoria platensis* est aussi l'espèce caractéristique des eaux eucarbonatées et polycarbonatées avec en plus, dans ces dernières, *Anomoeoneis sphaerophora*, *Cryptomonas* sp. et *Anabaenopsis arnoldii*. *Oscillatoria platensis* f. *minor*, *O. laxissima*, *Chroococcidiopsis* cf. *thermalis*, *Synechocystis salina* et à un degré moindre *Anabaenopsis arnoldii* sont les espèces typiques des lacs méso-carbonatés, *Gymnodinium* sp. et *Radio-cystis geminata* étant de plus caractéristiques du domaine méiomésocarbonaté et *Navicula halophila*, *Synechocystis minuscula* et *Raphidiopsis* cf. *curvata* du domaine pleiocarbonaté. Pour les eaux douces relativement riches en sels dissous et les eaux oligo-carbonatées, *Oocystis* sp., *Chlamydomonas* sp., *Cryptomonas* sp., *Gymnodinium* sp. et *Synechocystis minuscula* sont les espèces caractéristiques ; à celles-ci s'ajoutent tous les taxons qui n'ont été inventoriés que dans ces deux types de milieux*.

Certaines algues, par leur euryhalinité, apparaissent caractéristiques de milieux ayant des teneurs en sels très différentes. Dans le cas de *Chlamydomonas* sp., *Cryptomonas* sp. et *Gymnodinium* sp., il est possible aussi, comme il s'agit de taxons dont la détermination n'a pu être faite avec précision, qu'il y ait mélange de plusieurs espèces distinctes sous le même vocable générique.

5. CONCLUSIONS.

La recherche des espèces caractéristiques confirme les relations interspécifiques mises en évidence par le calcul des corrélations, elle précise surtout les affinités des différents taxons avec les types de milieu existants. L'estimation des corrélations entre les stations et l'analyse des groupements spécifiques permettent de partager les relevés en trois groupes principaux : oligocarbonatés, méso-carbonatés et enfin polycarbonatés et temporaires ensemble. Les prélèvements du lac eucarbonaté de Bodou peuvent être rattachés au dernier de ces trois groupes mais à un niveau de liaison peu élevé. Ceux du lac de Karama (2,5 g/l de concentration saline) qui se rattachent d'après le caractère de la flore algale, au domaine méso-carbonaté, peuvent être considérés comme à la limite inférieure de cette zone.

(*) Voir « Algues des eaux natronées du Kanem (Tchad) », 3^e partie, Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol., 1973, 1, p. 35 et 36.

Si l'on résume l'ensemble des données obtenues d'après la composition qualitative et quantitative des peuplements, la classification suivante qui complète celle définie lors de l'analyse taxinomique de la flore algale peut être présentée.

On distingue en premier lieu une zone de forte salinité (>30 g/l) qui comprend les milieux eu- et hypercarbonatés. *Oscillatoria platensis*, seule espèce caractéristique, compose toujours plus de 95 % du biovolume algal. Quelques autres espèces sont présentes, mais à l'état de rareté et le nombre de taxons inventoriés ne dépasse pas 50.

Vient ensuite de 2,5 à 30 g/l une zone médiane de salinité qui groupe les domaines polycarbonatés et méso-carbonatés. Le nombre de taxons présents oscille entre 50 et 100. Dans le premier, la concentration en sels dissous se situe entre 16 et 30 g/l ; *Oscillatoria platensis*, *Anabaenopsis arnoldii*, *Anomoeoneis sphaerophora* et *Cryptomonas* sp. sont les espèces caractéristiques. Dans le second, *Oscillatoria platensis* f. *minor* est l'espèce dominante, associée à *Synechocystis salina*, *Chroococcidiopsis* cf. *thermalis* et *Oscillatoria laxissima*. On peut subdiviser le domaine méso-carbonaté où la salinité est comprise entre 2,5 et 16 g/l en deux types : le type pleiocarbonaté (2,5 à 10 g/l) où en plus des précédentes, on trouve comme espèces caractéristiques *Navicula halophila*, *Synechocystis minuscula*, *Raphidiopsis* cf. *curvata* et le type méiomésocarbonaté (10 à 16 g/l) caractérisé par la présence de *Gymnodinium* sp. en plus des quatre taxons caractéristiques de l'ensemble du domaine méso-carbonaté.

Une troisième zone enfin comprend les milieux d'eau douce relativement riches en sels dissous et les eaux oligocarbonatées jusqu'à 2,5 g/l. La flore est variée et le nombre des taxons présents dépasse 200. Les espèces caractéristiques sont nombreuses et le genre *Microcystis* forme souvent une part dominante de la biomasse algale. Selon la présence ou l'absence de *Melosira granulata*, cette troisième zone peut être subdivisée en deux.

Les divers types de peuplements rencontrés dans les lacs permanents justifient donc dans l'ensemble le partage selon la salinité effectué a priori au début de cette étude pour les stations étudiées ; la classification utilisée pour les eaux saumâtres peut s'appliquer aux eaux natronées du Kanem et chacune de ses subdivisions est caractérisée par un phytoplancton différent.

Les mares temporaires, en raison de leurs variations rapides de salinité ont des types de peuplement qui ne peuvent être rangés dans cette classification. Toutefois, par suite de leur concentration en sels moyenne en général élevée, leur flore a des affinités avec celle des milieux polycarbonatés, *Oscillatoria platensis*, *Anabaenopsis arnoldii* et *Anomoeoneis*

sphaerophora étant des espèces caractéristiques communes à ces deux catégories de milieux. *Pyramimonas* sp., *Chlamydomonas* sp., *Scenedesmus bour-*

rellyi, *Sphaeroeca* sp. et *Gomphosphaeria aponina* apparaissent de plus caractéristiques des mares temporaires.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 6 mars 1974.

BIBLIOGRAPHIE

BEADLE (L. C.), 1959 — Osmotic and ionic regulation in relation to the classification of brackish and inland saline waters. *Arch. Oceanogr. Limnol.*, 11 (suppl.), 143-151.

BONNET (L.), 1964 — Le peuplement thécamoebien des sols. *Rev. Écol. Biol. sol*, 1, 2 : 123-408.

ILTIS (A.), 1972 — Algues des eaux natronées du Kanem (Tchad). Première partie. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, VI, 3-4 : 173-246.

ILTIS (A.), 1973 — Algues des eaux natronées du Kanem (Tchad). Deuxième partie. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, VII, 1 : 25-54.

LÉVÊQUE (C.), 1972 — Mollusques benthiques du lac Tchad : Écologie, étude des peuplements et estimation des biomasses. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, VI, 1 : 3-45.

LOUBENS (G.), 1969 — Étude de certains peuplements ichtyologiques par des pêches au poison (1^{re} note). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, III, 2 : 45-74.