

PHYTOPLANCTON DES EAUX NATRONÉES DU KANEM (Tchad)

IX. APPLICATION DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES A L'ÉTUDE DES PEUPELEMENTS

A. ILTIS

Laboratoire d'Hydrobiologie O.R.S.T.O.M., B.P. 65, N'Djaména, Tchad

M. ROUX

Laboratoire de statistique. Faculté des Sciences de Paris VI, Paris (France)

RÉSUMÉ

*Les 171 relevés effectués dans les pièces d'eau natronées du Kanem ont été étudiés à l'aide de l'analyse factorielle des correspondances. Les taxons présents et les relevés effectués dans les eaux permanentes se répartissent en trois grands groupes. Dans les mares temporaires, on distingue trois sortes de relevés : les uns à *Oscillatoria platensis* dominant, les seconds à *Anabaenopsis arnoldii* dominant, les autres correspondent aux peuplements du début ou de la fin de la période inondée. Les affinités entre la flore des mares temporaires et celle des lacs permanents les plus natronés sont confirmées.*

ABSTRACT

*171 samples of the natroned waters of Kanem have been studied by means of correspondances factorial analysis. The present taxa and samples of permanent waters are distributed in three great groups. In temporary ponds, three kinds of samples are distinguishable ; samples of the beginning or the end of the flooded period, samples with *Oscillatoria platensis* predominant and samples with *Anabaenopsis arnoldii* predominant. The affinities between the flora of temporary ponds and that from the most natroned permanent lakes are confirmed.*

1. INTRODUCTION.

L'analyse factorielle des correspondances a été appliquée aux relevés effectués dans les différents milieux étudiés dans le but de déterminer les groupements d'algues associées, rechercher les affinités entre les prélèvements et établir les relations entre les différentes associations spécifiques observées et les divers groupes de relevés. La place de certains facteurs physico-chimiques, en particulier la salinité dans le schéma de répartition des espèces et des relevés a de plus été mise en évidence.

Au cours d'études effectuées sur le lac Tchad, cette méthode a déjà été appliquée aux mollusques (LÉVÊQUE et GABORIT, 1972) et aux peuplements ichtyologiques (DURAND, 1973). Elle présente l'avantage de permettre le traitement simultané d'un grand nombre de données et une représentation synthétique des résultats, les positions relatives des espèces et des relevés (ou des facteurs physico-chimiques) figurant ensemble sur les graphiques rendant compte des relations réciproques existant entre ces éléments. Sans reprendre en détails cette méthode que l'on trouvera exposée par CORDIER

(1965), BENZÉCRI *et Coll.* (1973), LEBART et FÉNELON (1971), rappelons que le principe est de comparer des profils spécifiques après pondération de la matrice initiale ramenant les biomasses réelles à des estimations de probabilité.

Il y a correspondance entre l'analyse des espèces et celle des relevés par rapport aux axes définis. Un relevé sera d'autant plus proche d'une espèce que celle-ci intervient fortement dans son profil. On peut également, pour interpréter les projections dans le plan des axes choisis, utiliser les contributions absolues aux axes des espèces ou des facteurs physico-chimiques que l'on fait intervenir, les espèces ou les facteurs ayant la plus forte contribution par rapport à un axe étant ceux qui interviennent le plus sur la position des relevés par rapport à cet axe.

La normalisation préalable des données n'est pas nécessaire pour l'application de cette méthode.

2. ANALYSE DES DONNÉES PHYTOPLANGTONIQUES SEULES.

Dans un premier temps, l'analyse des correspondances a été effectuée sur le total des 171 relevés de l'ensemble des 21 milieux étudiés en considérant seulement les espèces les plus fréquentes, soit 49 taxons ; les données concernant le lac de Yoursoula, jugées trop hétéroclites, ont toutefois été retirées. Les pourcentages d'inertie expliquée par les cinq premiers vecteurs sont les suivants :

axe 1 =	10,9 %
axe 2 =	9,3 %
axe 3 =	8,9 %
axe 4 =	8,6 %
axe 5 =	7,4 %
Total =	45,1 %

La diminution de l'information est très lente, les deux premiers axes extrayant seulement 20 % de la

Code des abréviations utilisées sur les figures

ACH	Achnanthes exigua	OOC	Oocystis plur. sp.
ACT	Actinastrum hantzschii	OPL	Oscillatoria platensis
AMP	Amphora sp.	OPM	Oscillatoria platensis f. minor
ANA	Anabaenopsis arnoldii	OSC	Oscillatoria plur. sp.
ANB	Anabaena sp.	PDT	Pediastrum tetras
ANO	Anomoeoneis sphaerophora	PED	Pediastrum plur. sp.
ANS	Anabaenopsis sp.	PER	Peridinium pusillum
GHL	Chlamydomonas sp.	PHA	Phacus plur. sp.
CHR	Chroococciopsis cf. thermalis	PHO	Lyngbya foveolarum
COE	Coelastrum proboscideum	PYR	Pyramimonas sp.
CRC	Crucigenia crucifera	RAD	Radiocystis geminata
CRT	Crucigenia tetrapedia	RAP	Raphidiopsis cf. curvata
CRU	Crucigenia triangularis	SCB	Scenedesmus bourrellyi
CRY	Cryptomonas sp.	SCE	Scenedesmus plur. sp.
CYC	Cyclotella meneghiniana	SEL	Selenastrum plur. sp.
DIC	Dietyosphaerium pulchellum	SPG	Spirogyra plur. sp.
EUG	Euglena plur. sp.	SPH	Sphaeroeca sp.
GOM	Gomphonema parvulum	SPM	Oscillatoria oscillarioïdes
GPH	Gomphosphaeria aponina	SUR	Surirella pseudospinifera
GYM	Gymnodinium sp.	SYM	Synechocystis minuscula
LEP	Lepocinclis plur. sp.	SYN	Synedra ulna
LYG	Lyngbya plur. sp.	SYS	Synechocystis salina
MIQ	Microcystis aeruginosa	TET	Tetraedron plur. sp.
MIC	Micraetinium pusillum	TRA	Trachelomonas plur. sp.
MIE	Microcystis elachista		
MLS	Melosira granulata	SALI	Teneur totale en sels dissous
MON	Monoraphidium contortum	TEMP	Température de l'eau
MOS	Oscillatoria angustissima	TP	Durée de la période en eau (mares temporaires)
NAH	Navicula halophila	NA	Teneur en ions sodium
NAP	Navicula pygmaea	CA	Teneur en ions calcium
NAV	Navicula plur. sp.	MG	Teneur en ions magnésium
NIP	Nitzschia palea	K	Teneur en ions potassium
NIS	Nitzschia sigma	SO	Teneurs en ions sulfates
OAY	Oscillatoria laxissima	CO	Teneur en ions carbonates
		CL	Teneur en ions chlorures.

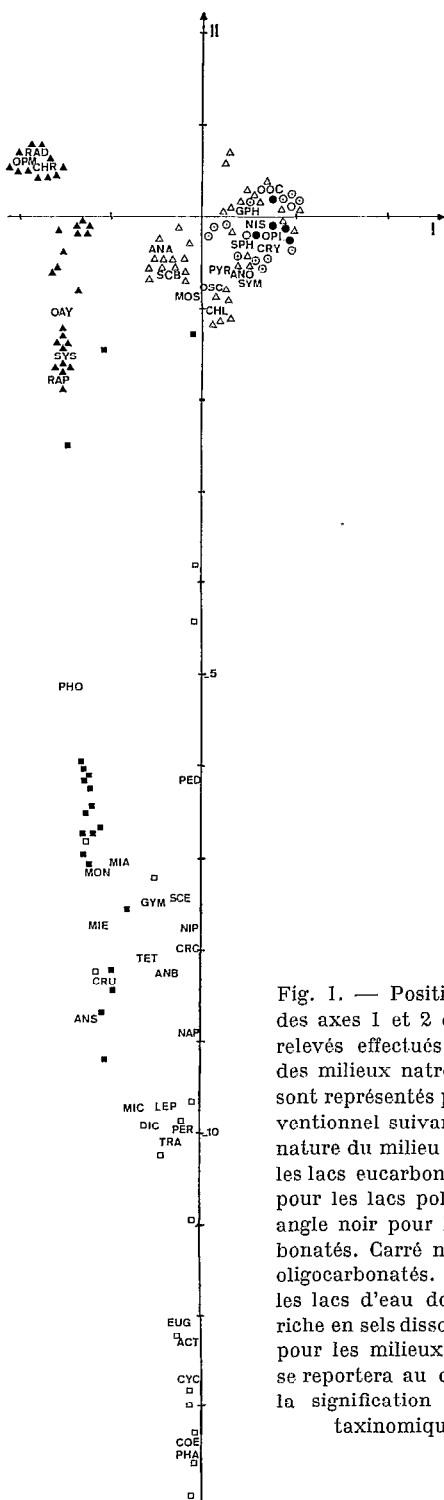


Fig. 1. — Position dans le plan des axes 1 et 2 des espèces et des relevés effectués dans l'ensemble des milieux natronés. Les relevés sont représentés par un signe conventionnel suivant la salinité et la nature du milieu : Rond noir pour les lacs eucarbonatés. Rond blanc pour les lacs polycarbonatés. Triangle noir pour les lacs mésocarbonatés. Carré noir pour les lacs oligocarbonatés. Carré blanc pour les lacs d'eau douce relativement riche en sels dissous. Triangle blanc pour les milieux temporaires. On se reportera au code ci-joint pour la signification des abréviations taxinomiques utilisées.

ainsi que celle des différents relevés, a donc été indiquée en fonction des axes 1, 2 et 3 (29 % de l'inertie totale). Si l'on examine la dispersion des différents taxons qui se répartissent à proximité de l'axe 2 (fig. 1) (1), plusieurs groupes bien distincts apparaissent. Le premier est très proche de l'intersection des axes 1 et 2 ; il comprend uniquement les espèces des milieux eu- et polycarbonatés et des mares temporaires : *Pyramimonas* sp., *Chlamydomonas* sp., *Scenedesmus bourrellyi*, *Sphaeroeca* sp., *Cryptomonas* sp., *Synechocystis minuscula*, *Gomphosphaeria apoina*, *Oscillatoria* sp., *Oscillatoria platensis*, *Anomoeoneis sphaerophora*, *Nitzschia sigma*, *Anabaenopsis arnoldii* et *Oocystis*.

Deux autres groupes, séparés par l'axe 1 mais très voisins, comprennent respectivement *Radiocystis geminata*, *Oscillatoria platensis* f. *minor*, *Chroococciopsis* cf. *thermalis* et *Raphidiopsis* cf. *curvata*, *Navicula halophila*, *Synechocystis salina* et *Oscillatoria laxissima*. Ce sont des espèces des lacs mésocarbonatés. Un dernier groupe enfin, beaucoup plus dispersé, comprend les taxons des eaux oligocarbonatées ou douces relativement riches en sels dissous. La dispersion relativement élevée traduit l'hétérogénéité des peuplements rencontrés dans ces types de milieu par rapport à ceux existant dans les lacs plus concentrés en sels dissous.

La projection sur le plan des axes 2 et 3 (fig. 2) confirme cette distribution des taxons en quatre groupes, celui des espèces d'eaux douces et oligocarbonatées étant très dispersé de part et d'autre de l'axe 2. Les espèces des milieux mésocarbonatés sont partagées en deux groupes nettement distincts, l'un avec *Oscillatoria platensis* f. *minor*, *Radiocystis geminata* et *Chroococciopsis* cf. *thermalis*, l'autre avec *Raphidiopsis* cf. *curvata*, *Navicula halophila*, *Synechocystis salina* et *Oscillatoria laxissima*. Les espèces des milieux permanents, eu-, polycarbonatés et des mares temporaires sont ici aussi très groupées.

Si l'on considère maintenant la répartition des relevés, ceux-ci s'étirent de part et d'autre de l'axe 2 pour lequel la teneur totale en sels dissous du milieu paraît avoir une forte contribution. Les relevés des mares temporaires et des lacs fortement natronés (Bodou, Rombou, Liwa) sont fortement groupés tandis que pour les lacs mésocarbonatés apparaissent deux ensembles très proches (correspondant au lac pleiocarbonaté de Djikare d'une part et au lac meiomésocarbonaté de Mombolo 4 d'autre part), reliés entre eux par quelques relevés intermédiaires à Mombolo 4 début 1968, Kono Boulom et Karama). Les prélèvements des eaux douces et oligocarbonatées apparaissent très dispersés.

(1) Code des abréviations utilisées sur les figures, (cf. page 94).

variance totale. Ces valeurs faibles sont dues en partie au fait que les peuplements sont constitués d'un nombre d'espèces assez élevé. La position de celles-ci,

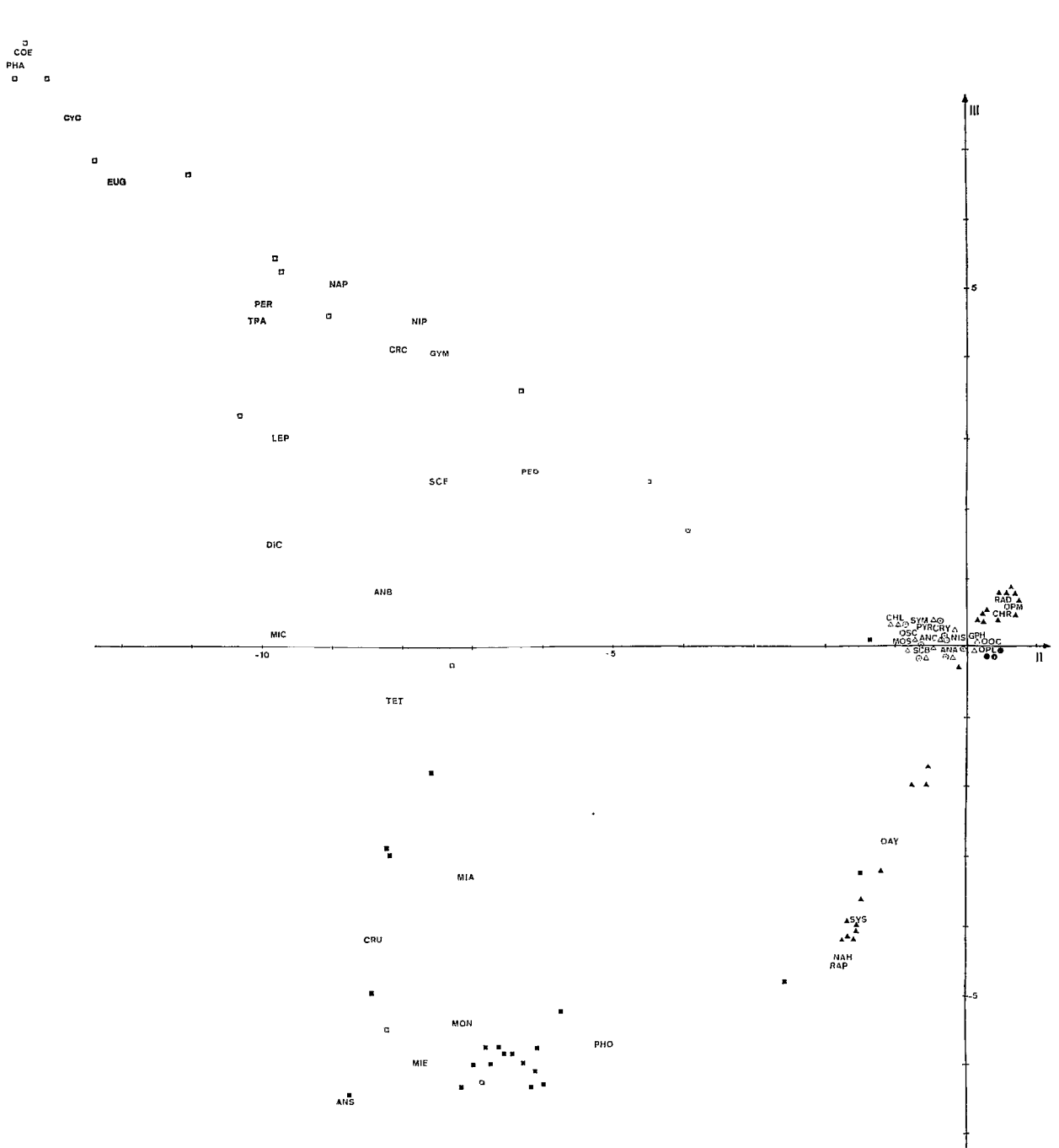


Fig. 2. — Position dans le plan des axes 2 et 3 des espèces et des relevés effectués dans l'ensemble des milieux natronés. Les signes utilisés sont identiques à ceux de la figure 1.

Les échantillons prélevés à Moylo apparaissent plus homogènes et forment un sous-groupe assez bien individualisé. La projection des axes 2 et 3 met de

même en évidence la grande dispersion des relevés des eaux douces et oligocarbonatées, en opposition avec ceux des milieux permanents eu-, polycarbo-

natés et temporaires groupés près de l'intersection des axes 2 et 3. Les prélèvements des lacs pleiocarbonatés apparaissent nettement séparés.

Pour mieux préciser la situation des espèces et des relevés, l'analyse factorielle a été appliquée ensuite à un nombre plus faible de relevés soit en premier lieu à ceux effectués seulement dans des lacs permanents (123 prélèvements et 48 taxons); les pourcentages d'inertie expliquée pour les cinq premiers vecteurs sont les suivants :

axe 1 = 13,1 %
 axe 2 = 11,9 %
 axe 3 = 10,6 %
 axe 4 = 8,8 %
 axe 5 = 7,1 %

soit au total 35,6 % pour les trois premiers et 51,5 % pour les cinq. La diminution de l'information est plus rapide que précédemment. La position des espèces et des relevés (fig. 3) est très voisine de celle observée au cours de l'analyse précédente qui incluait l'ensemble des stations étudiées. On distingue deux groupes très denses sur l'axe 1 et un ensemble d'espèces plus ou moins alignées le long de l'axe 2. *Anabaenopsis arnoldii*, espèce présente avec des densités diverses dans la plupart des relevés, se retrouve isolée sur l'axe 1.

Quant à la position des stations, si les relevés des lacs eu- poly- et mésocarbonatés sont bien groupés et se juxtaposent avec des groupes d'espèces que l'on peut considérer comme caractéristiques de ces types de milieu, les relevés des eaux douces relativement riches en sels dissous et des eaux oligocarbonatées sont par contre très dispersés. Seuls, un certain nombre de relevés de Moylo (lac oligocarbonaté) forment encore un groupement assez bien individualisé. On peut donc ainsi vérifier que l'homogénéité des relevés dans une station ou un ensemble de stations est d'autant meilleure que la teneur en sels du milieu est élevée, conséquence directe de l'élimination progressive des espèces par la salinité. Dans le cas présent, les espèces suivantes : *Pyramimonas* sp., *Oocystis* sp., *Cryptomonas* sp., *Sphaeroeca* sp., *Anomoeoneis sphaerophora*, *Nitzschia sigma*, *Gomphosphaeria aponina*, *Oscillatoria* sp., *O. platensis*, se confondent avec les relevés de Bodou, Liwa et Rombou, soit les lacs les plus natronés. *Chroococciopsis* cf. *thermalis*, *Radiocystis geminata*, *Synechocystis salina*, *Raphidiopsis* sp., *Oscillatoria platensis* f. *minor*, *O. laxissima*, *Navicula halophila* sont liés aux échantillons récoltés dans des milieux mésocarbonatés : Djikare, Mombolo 4, Karama et Kono Boulom (51 à 85).

La projection des axes 2 et 3 (fig. 4) apporte peu de précisions concernant les espèces et les relevés des milieux eu-, poly- et mésocarbonatés; ceux-ci restent

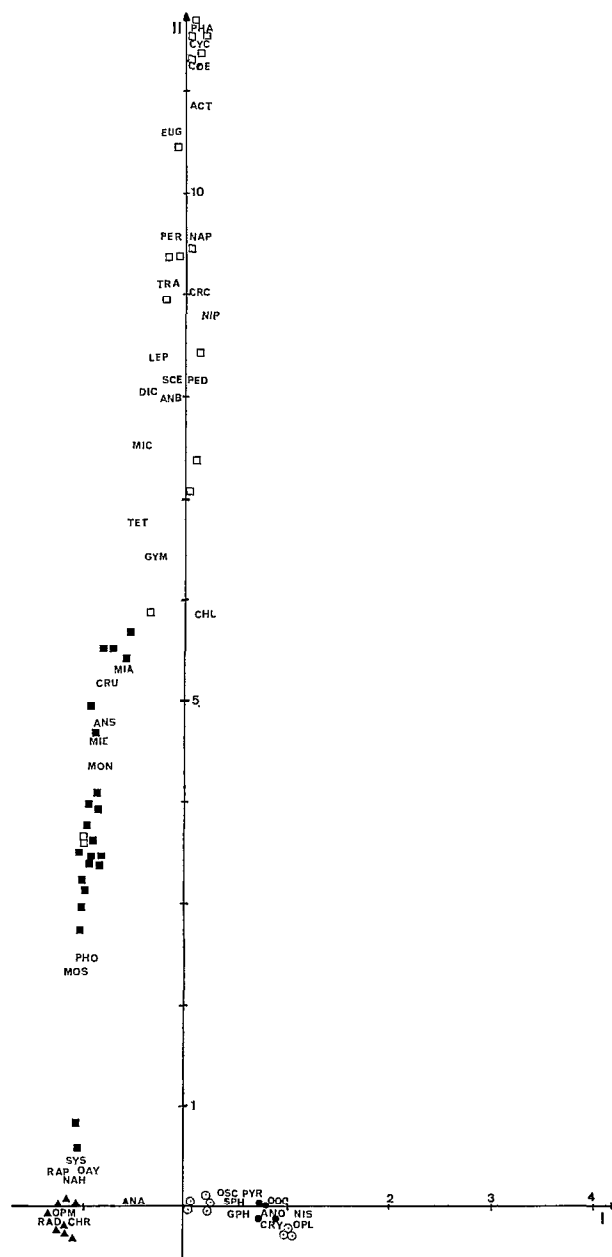


Fig. 3. — Position dans le plan des axes 1 et 2 des espèces et des relevés des lacs permanents. Les signes utilisés sont identiques à ceux de la figure 1.

groupés le long de l'axe 3. Pour les autres lacs, les relevés de la mare d'eau douce du troisième barrage près de Bol apparaissent séparés de ceux du lac oligocarbonaté de Moylo et même des divers lacs d'eau douce du centre du Kanem (Mayolo, Nguska, Koukou, Doun Amran); la séparation entre ces deux

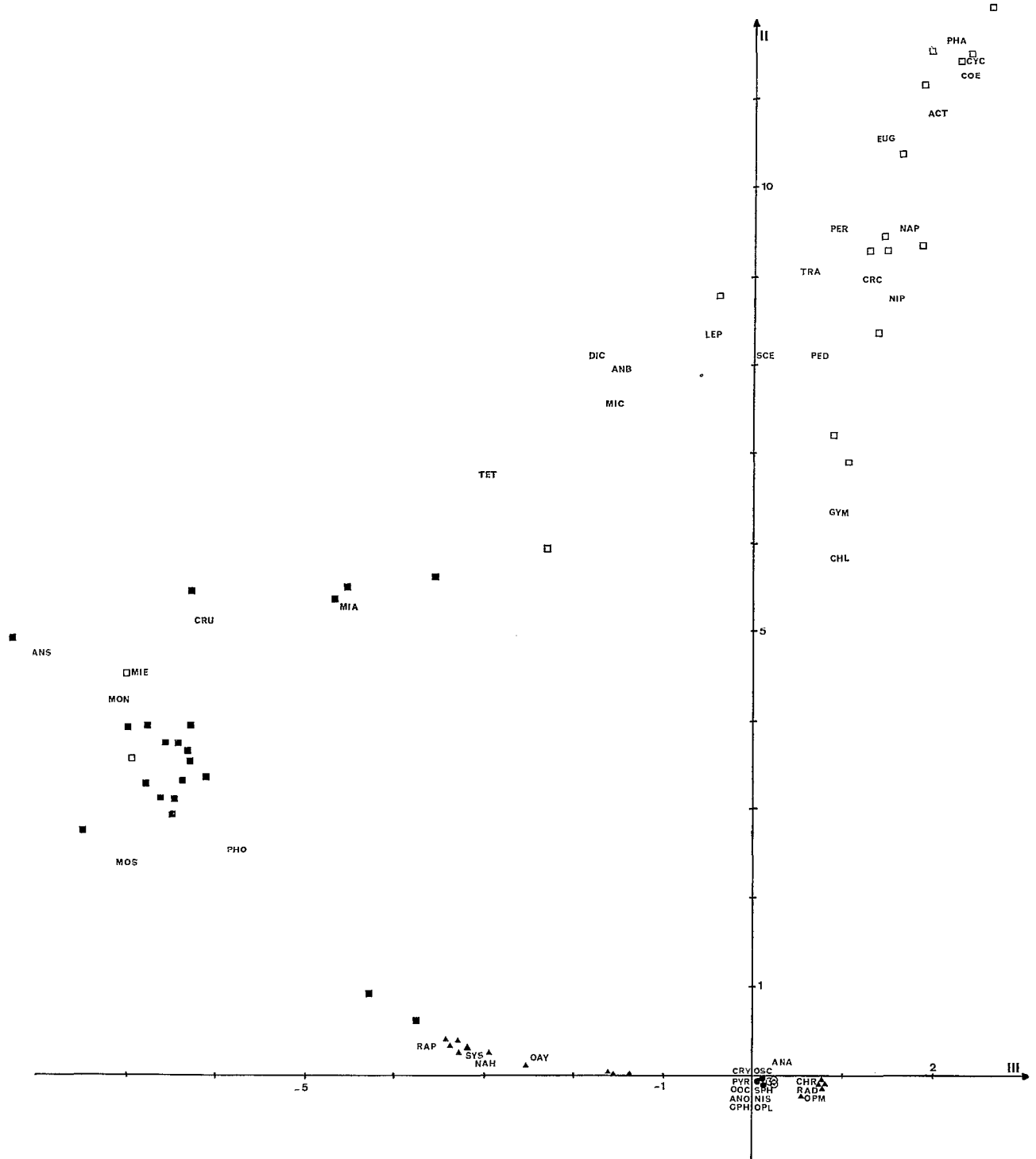


Fig. 4. — Position dans le plan des axes 2 et 3 des espèces et des relevés des lacs permanents.

groupes apparait ainsi due aux caractéristiques particulières de la mare du troisième barrage plutôt qu'à des différences de teneur en sels dissous.

Après les lacs permanents, l'analyse des correspondances a été appliquée aux relevés qui ont été faits uniquement dans les mares temporaires, soit

à Latir P durant quatre mises en eau successives et à Maou-Leyla en 1967-68. Le nombre des prélèvements est relativement faible (48) ainsi que le nombre de taxons pris en considération (13); les pourcentages d'inertie expliquée pour les cinq premiers vecteurs sont les suivants :

- axe 1 = 22,3 %
- axe 2 = 18,3 %
- axe 3 = 15,7 %
- axe 4 = 12,7 %
- axe 5 = 12,6 %

soit au total 56,3 % pour les trois premiers axes et 81,6 % pour les cinq. Malgré une assez grande dispersion des espèces et des relevés (fig. 5 a), trois groupes apparaissent relativement bien individualisés : le premier comprend les relevés marqués d'un triangle noir, caractérisés au point de vue spécifique par *Anabaenopsis arnoldii* et *Scenedesmus bourrellyi*. Ce sont les peuplements qui correspondent en général à la période de salinité minimale au cours de la période en eau, soit de fin août à mi-octobre pour les milieux étudiés.

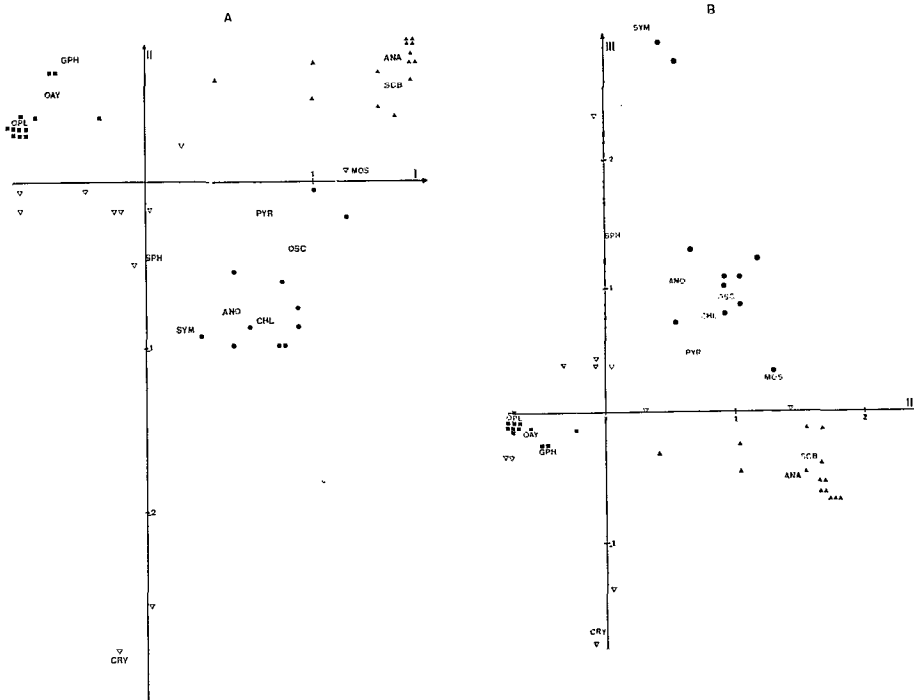


Fig. 5. — Position dans le plan des axes 1 et 2 (A) et 2 et 3 (B) des espèces et des relevés des mares temporaires. Les signes conventionnels utilisés sont les suivants : Rond noir pour les relevés de début et de fin de période en eau. Triangle noir pour les relevés du milieu de la période en eau. Carré noir pour les relevés à *Oscillatoria platensis* dominant. Triangle blanc pour les divers autres.

Un deuxième groupement caractérisé par *Oscillatoria platensis* associé à *Oscillatoria laxissima* et *Gomphosphaeria aponina* comprend les relevés marqués d'un carré noir. Ce sont les peuplements de la deuxième phase de la période inondée (octobre-novembre) qui se maintiennent parfois jusqu'à l'assèchement. Enfin, un troisième groupe, plus hétérogène, comprend les relevés marqués d'un rond noir, soit des peuplements des périodes où la salinité du milieu est très élevée, que ce soit au cours des premiers jours de la mise en eau ou de la période qui précède directement l'assec. Les taxons qui apparaissent liés à ce groupe de relevés sont *Chlamydomonas* sp., *Pyramimonas* sp., *Anomoeoneis sphaero-*

phora, *Oscillatoria* plur. sp., *Synechocystis minuscula*. Un certain nombre de relevés sont intermédiaires entre ces trois groupements (triangle blanc).

La projection de la position des espèces et des relevés sur le plan des axes 1 et 3 apporte peu de précisions supplémentaires (fig. 5 b). Des groupes identiques aux précédents peuvent être distingués parmi les relevés et les espèces, seul le troisième groupement qui correspond aux salinités élevées apparaît plus lâchement disposé, *Synechocystis minuscula* étant repoussé à l'extrémité de l'axe 3 avec deux prélèvements.

Pour terminer cette étude faite à partir des données phytoplanktoniques seules, on a calculé le peuplement

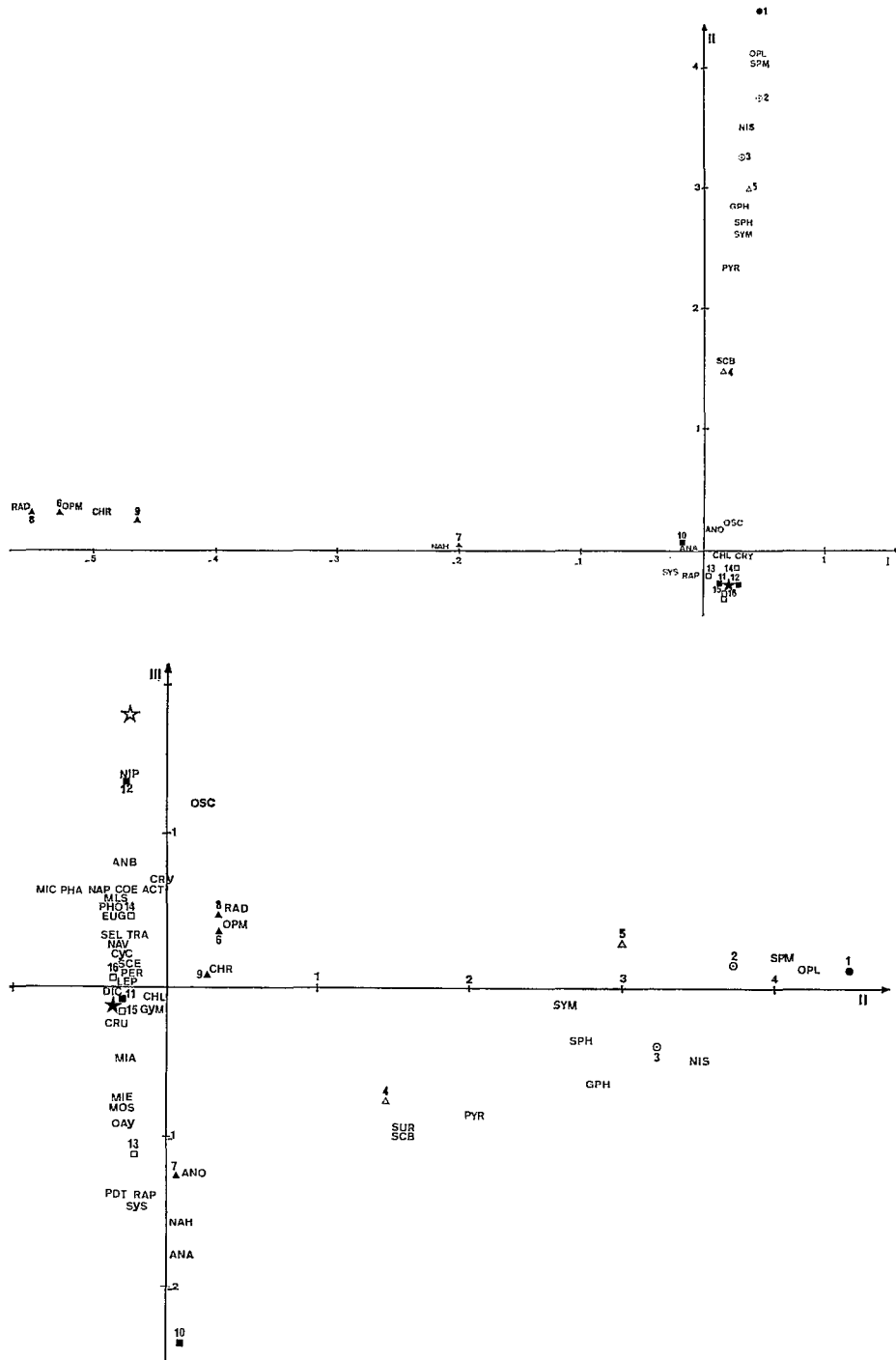


Fig. 6. — Position dans le plan des axes 1 et 2 (A) et 2 et 3 (B) des espèces et des relevés moyens par station. Les caractéristiques des stations sont données par des signes conventionnels identiques à ceux utilisés pour la figure 1. En A, l'étoile indique l'emplacement d'un groupe de 37 taxons (MOS, MIE, MIA, GYM, ACT, COE, NAP, PHA, MIC, SCE, OAY, PDT, OOC, SYN, GOM, ACH, AMP, NIP, EUG, TRA, SPG, TET, CRU, CRG, PED, DIC, MON, CYC, PER, LEP, ANS, ANB, PHO, CRT, MLS, NAV, LYG).

En B, SPG, AMP, ACH, GOM, SYN, OOC sont situés à l'emplacement de l'étoile claire, LYG, CRT, ANS, CRC, MON, TET, PED à l'emplacement de l'étoile noire.

algal moyen existant dans chacun des milieux où plusieurs relevés ont été faits à partir de tous les échantillons récoltés à chacune des stations et l'analyse factorielle a été appliquée aux seize relevés moyens qui contiennent un total de 58 taxons. Les pourcentages d'inertie expliquée par les cinq premiers axes sont les suivants :

axe 1 =	23,4 %
axe 2 =	22,4 %
axe 3 =	15,7 %
axe 4 =	11,8 %
axe 5 =	10,9 %

soit au total 61,5 % pour les trois premiers axes et 84,3 % pour l'ensemble des cinq, diminution de l'information sensiblement identique à celle observée au cours de l'analyse précédente sur les relevés des milieux temporaires. La position des espèces et des relevés en fonction des axes 1 et 2 (fig. 6 a) montre un alignement des points le long de l'axe 2, les stations aux salinités les plus faibles (11 à 16) étant groupées à une extrémité et le lac de Bodou, le plus natroné, à l'autre (1); la concentration en sels du milieu paraît donc avoir une forte participation à cet axe. La signification de l'axe 1 paraît beaucoup plus difficile à définir; par rapport à cet axe, l'ensemble des stations a en effet des valeurs très voisines entre elles et seules les stations mésocarbonatées sont rejetées vers une extrémité avec quatre espèces: *Radiocystis geminata*, *Oscillatoria platensis* f. *minor*, *Chroococidiopsis* cf. *thermalis* et à un degré moindre *Navicula halophila*.

La projection des axes 2 et 3 (fig. 6 b) met en relief l'hétérogénéité des stations d'eau douce ou oligocarbonatées qui se retrouvent dispersées le long

de l'axe 3, la dispersion des stations sur cet axe étant d'autant plus élevée que la salinité est faible.

3. ANALYSE DES DONNÉES PHYTOPLANCTONIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES.

Dans un deuxième temps, il a été tenu compte des caractéristiques physico-chimiques suivantes du milieu: teneur totale en sels dissous, température, durée de la période en eau, teneurs en magnésium, calcium, potassium, sodium, sulfates, chlorures et somme des carbonates et des bicarbonates. Dans une première analyse, on a recherché la valeur des coefficients de corrélation entre les facteurs physico-chimiques et les axes factoriels obtenus à partir de l'analyse des relevés.

Les prélèvements faits dans le lac de Bodou où le peuplement algal est monospécifique ont été retirés de même que ceux pour lesquels les données physico-chimiques n'étaient pas disponibles. Malgré ces retraits, la représentation graphique obtenue est très semblable à celle de la figure 1 et les pourcentages d'inertie expliquée par les cinq premiers axes sont à peu près identiques dans les deux cas :

axe 1 =	11,6 %
axe 2 =	9,9 %
axe 3 =	9,5 %
axe 4 =	8,4 %
axe 5 =	8,2 %
Total =	47,6 %

Les coefficients de corrélation entre les facteurs physico-chimiques et chacun des cinq premiers axes définis sont les suivants* :

	SALI	TEMP	TP	MG	CA	K	NA	SO	CL	CO
Axe 1.....	0.356	— 0.140	— 0.250	— 0.478	— 0.014	0.256	0.378	0.225	0.522	0.385
Axe 2.....	0.313	0.018	— 0.258	— 0.234	— 0.228	0.238	0.329	0.168	0.459	0.359
Axe 3.....	0.139	— 0.106	— 0.107	— 0.159	— 0.109	0.106	0.147	0.086	0.179	0.156
Axe 4.....	— 0.404	— 0.020	0.389	0.297	0.151	— 0.350	— 0.412	— 0.323	— 0.373	— 0.435
Axe 5.....	— 0.170	0.074	0.145	0.365	0.296	— 0.128	— 0.180	— 0.088	— 0.259	— 0.196

L'axe 1 et à un degré moindre l'axe 2 apparaissent liés à la salinité totale et aux éléments qui y participent: carbonates, chlorures et sulfates de sodium et de potassium. La température et la durée de mise en eau de même que la teneur en calcium et en magnésium apparaissent sans liaison ou reliés négativement avec les trois premiers axes.

Pour délimiter avec plus de précision la place des différents facteurs physico-chimiques par rapport aux espèces ou aux relevés, les valeurs de ceux-ci ont été jointes aux données biologiques entrant en compte pour l'analyse des correspondances. Deux analyses

ont été effectuées, l'une sur les données des lacs permanents, sauf Bodou et Yoursoula, et l'autre sur celles des mares temporaires. Dans la première, les pourcentages d'inertie expliquée par les cinq premiers vecteurs sont les suivants :

axe 1 =	13,0 %
axe 2 =	12,7 %
axe 3 =	11,9 %
axe 4 =	10,5 %
axe 5 =	9,1 %

(*) Voir page 94 le code des abréviations utilisées.

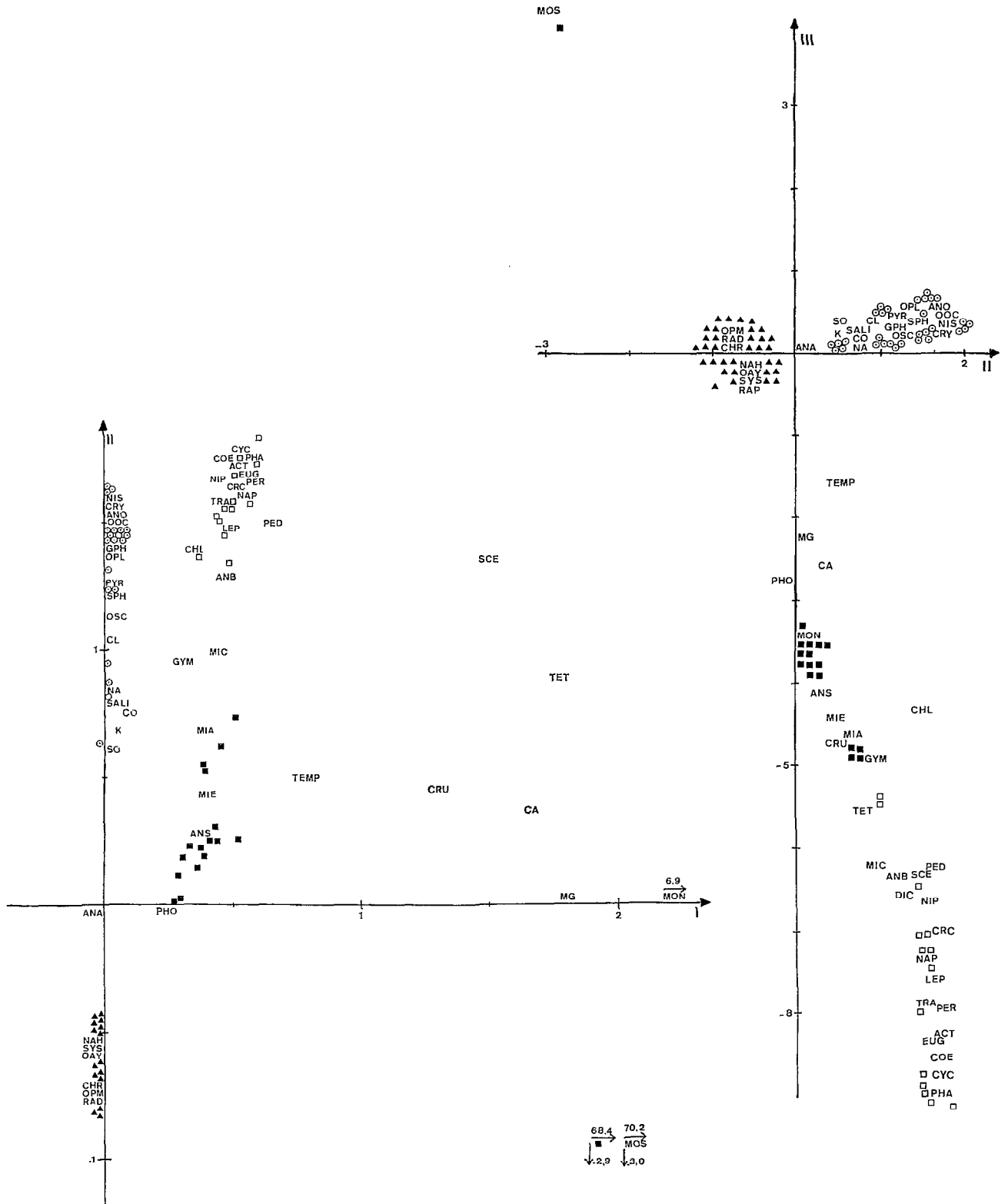


Fig. 7. — Position dans le plan des axes 1 et 2 (A) et 2 et 3 (B) des espèces, des relevés et de certains facteurs physico-chimiques dans les lacs permanents. Les signes conventionnels sont identiques à ceux de la figure 1 ; de plus : SALI représente la teneur totale en sels dissous. CO représente la teneur totale en ions carbonates et bicarbonates. K représente la teneur totale en ions potassium. CA représente la teneur totale en ions calcium. NA représente la teneur totale en ions sodium. MG représente la teneur totale en ions magnésium. CL représente la teneur totale en ions chlore. TEMP représente la température du milieu.

soit 37,6 % pour les trois premiers axes et 57,2 % pour les cinq. La position des espèces, des caractères physico-chimiques et des relevés a été donnée en fonction des axes 1, 2 et 3. Dans le cas des axes 1 et 2 (fig. 7 a), un groupement englobant tous les relevés sauf un et toutes les espèces sauf une se situe à l'intersection des 2 axes, tandis que le relevé 87 où une petite Oscillaire est dominante se trouve rejeté loin en bas à droite du graphique. On peut distinguer trois sous-groupes, le premier situé le long de l'axe 2 entre 0,6 et 1,6 correspond aux taxons et aux relevés des lacs polycarbonatés (Rombou et Liwa). Les facteurs suivants : salinité totale, chlorures, sulfates, carbonates de sodium et magnésium s'intègrent dans cet ensemble.

Dans le second placé entre $-0,50$ et $-0,80$ le long de l'axe 2, sont situés les taxons et les relevés des lacs mésocarbonatés (Djikare, Mombolo 4, Karama) sans aucun élément physico-chimique. Enfin le reste des taxons est très dispersé entre des valeurs allant de 0,30 à 1,80 pour l'axe 1 et de 0 à 1,80 pour l'axe 2. Les facteurs physico-chimiques suivants font partie de ce groupe : température, teneur en calcium et magnésium. Les relevés des lacs d'eau douce (troisième barrage) représentés par des carrés blancs sont séparés de ceux des lacs oligocarbonatés en carrés noirs.

En pratique donc, la salinité et les éléments qui y sont liés directement (carbonates, chlorures, sulfates de sodium) sont localisés au milieu du groupe de relevés ou d'espèces pour lesquels ce facteur a une importance prépondérante. Les autres facteurs, température, teneur en calcium et magnésium ne jouent aucun rôle dans la répartition des espèces.

La projection sur le plan des axes 2 et 3 confirme cette répartition des points (fig. 7 b). Trois grands groupes apparaissent, celui des milieux d'eau douce ou oligocarbonatée étant plus fortement dispersé.

L'analyse factorielle a enfin été appliquée aux données phytoplanctoniques et physico-chimiques des mares temporaires. Les pourcentages d'inertie expliquée pour les cinq premiers vecteurs sont les suivants :

axe 1 =	20,9 %
axe 2 =	18,4 %
axe 3 =	16,1 %
axe 4 =	12,9 %
axe 5 =	12,2 %

soit 55,5 % pour les trois premiers vecteurs et 80,4 % pour les cinq. Comme pour l'analyse des données phytoplanctoniques seules, les taxons et les relevés se répartissent en trois ensembles assez bien individualisés (fig. 8) : groupement à *Anabaenopsis arnoldii* dominant (triangles noirs) correspondant en général à la période de moindre concentration saline, groupement à *Oscillatoria platensis* dominant (carrés

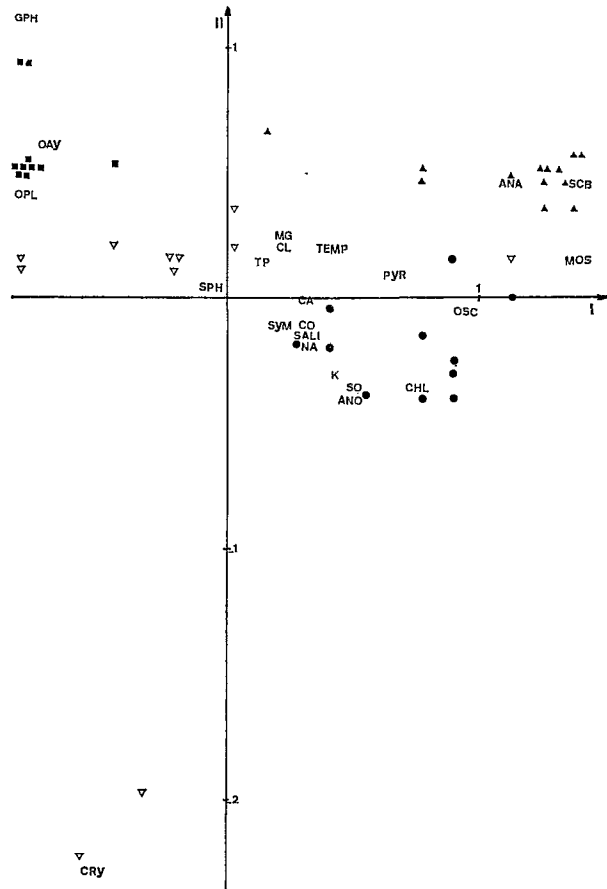


Fig. 8. — Position dans le plan des axes 1 et 2 des espèces, des relevés et de certains facteurs physico-chimiques dans les milieux temporaires. Les signes conventionnels sont identiques à ceux des figures 5 et 7 ; de plus : TP représente la durée de la période en eau.

noirs) et groupement des peuplements de début ou fin de période en eau (points noirs). La salinité totale et les éléments qui interviennent le plus dans sa composition (CO_3 , SO_4 , Na) sont situés au milieu de ce groupe, confirmant le caractère hypercarbonaté des eaux au cours de ces périodes. Les autres facteurs n'apparaissent pas liés à un quelconque ensemble de relevés ou d'espèces et leur rôle, même en ce qui concerne la durée de la période inondée, apparaît ici peu important.

4. CONCLUSIONS.

La méthode de l'analyse des correspondances a permis de déterminer les associations spécifiques ou groupes d'espèces se développant ensemble et de

relier les groupements qui ont été ainsi définis. On peut en gros conclure que les résultats des analyses ont confirmé les résultats obtenus à partir des matrices de corrélation de Bravais-Pearson ou de Kendall (1) : les taxons présents et les relevés effectués dans les lacs permanents se répartissent en trois grands groupes correspondant le premier aux lacs eu- et polycarbonatés, le second aux lacs mésocarbonatés et le dernier aux lacs oligocarbonatés ou d'eau douce relativement riche en sels dissous. Le second de ces groupes peut se subdiviser en deux sous-groupes. Dans les mares temporaires, les relevés se classent en trois groupes distincts : peuplements de début et de fin de période en eau, peuplements à *Anabaenopsis arnoldii* dominant et peuplements à *Oscillatoria platensis* dominant alors que l'analyse de la matrice de similitude de Bravais-Pearson en met en évidence quatre, le groupe des relevés de période de pleine eau décelé avec cette dernière méthode se répartissant dans les résultats de l'analyse factorielle entre les relevés à *Anabaenopsis arnoldii* et à *Oscillatoria platensis* dominants. Enfin les affinités entre la flore des mares temporaires avec celle des lacs permanents les plus natronés sont aussi confirmées.

Les méthodes mathématiques utilisées (coefficients de corrélation, recherches des espèces caractéristiques, analyses multivariées) donnent donc dans

(1) Voir « Phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad) ». VIII. Classification des milieux étudiés et espèces caractéristiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, VIII, 2, 1974 : 81-91.

leur ensemble des résultats concordants. Elles ont permis la confirmation de certains phénomènes dont l'observation directe de la flore algale permettait sans doute de supposer l'existence mais sans possibilités réelles de les exprimer avec précision. L'emploi de plusieurs méthodes permet de plus d'attribuer aux suppositions ou aux faits confirmés par l'ensemble de celles-ci une importance supérieure à d'autres qui ne sont confirmés que de façon incertaine par une partie d'entre elles.

Il faut remarquer toutefois que la définition de ces associations d'espèces par les méthodes mathématiques apparaît à certains égards très artificielle et très stricte en comparaison de la réalité existant dans le milieu naturel, certaines espèces se rattachant par exemple en fait à plusieurs groupements différents alors qu'elles ne figurent, après application des méthodes mathématiques, que dans un seul ; il est donc manifeste que les groupements mis en évidence s'interpénètrent à des degrés plus ou moins élevés dans la réalité.

Parmi les facteurs dont il a été tenu compte au cours des analyses multivariées, la salinité totale du milieu apparaît comme le plus important, et les associations spécifiques regroupent les taxons ayant des tolérances identiques vis-à-vis de celui-ci. Les variations de la température de l'eau ne paraissent avoir qu'un rôle très négligeable et dans les mares temporaires, la durée plus ou moins longue de la période en eau n'a de l'importance que par les modifications de salinité qu'elle entraîne.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 26 mars 1974.

BIBLIOGRAPHIE

- BENZECRI (J. P.) et Coll., 1973 — L'analyse des données, 624 p., Dunod Paris, tome II : « L'analyse des correspondances ».
- CORDIER (B.), 1965 — L'analyse des correspondances. Thèse de 3^e cycle, Rennes, *multigr.*
- DURAND (J. R.), 1973 — Application de l'analyse des correspondances à l'étude de certains peuplements ichtyologiques de lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, VII, 1 : 55-62.
- ILLIS (A.), 1974 — Phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad). VIII. Classification des milieux étudiés et espèces caractéristiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, vol. VIII, n° 2, 81-91.
- LEBART (L.), FENELON (J. P.), 1971 — Statistique et informatique appliquées. Dunod, Paris, 426 p.
- LÉVÊQUE (G.), GABORIT (M.), 1972 — Utilisation de l'analyse factorielle des correspondances pour l'étude des peuplements en mollusques benthiques du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, VI, 1 : 47-66.