

M. ABBOUD-ABI SAAB

PH. NABHAN

Interrelations entre groupes planctoniques dans les eaux côtières libanaises

Les cahiers de l'analyse des données, tome 19, n° 4 (1994),
p. 395-416

http://www.numdam.org/item?id=CAD_1994__19_4_395_0

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1994, 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/>

INTERRELATIONS ENTRE GROUPES PLANCTONIQUES DANS LES EAUX CÔTIÈRES LIBANAISES

[PLANCTON LIBAN]

M. ABOUD-ABI SAAB*

Ph. NABHAN**

1 Des données aux analyses

1.1 Le problème écologique

La variation des populations microplanctoniques a fait l'objet de plusieurs études précédentes; selon un rythme d'échantillonnage variable: mensuel ou semi-mensuel (Abboud-Abi Saab, 1985; 1989); hebdomadaire (Abboud-Abi Saab, 1986); et même journalier (Abboud-Abi Saab, 1992a).

Ces études ont permis d'identifier des espèces présentes dans les eaux côtières libanaises et de décrire le cycle biologique des différentes populations; le milieu se signale par une richesse élevée d'espèces; mais la densité est faible relativement à d'autres régions de la Méditerranée.

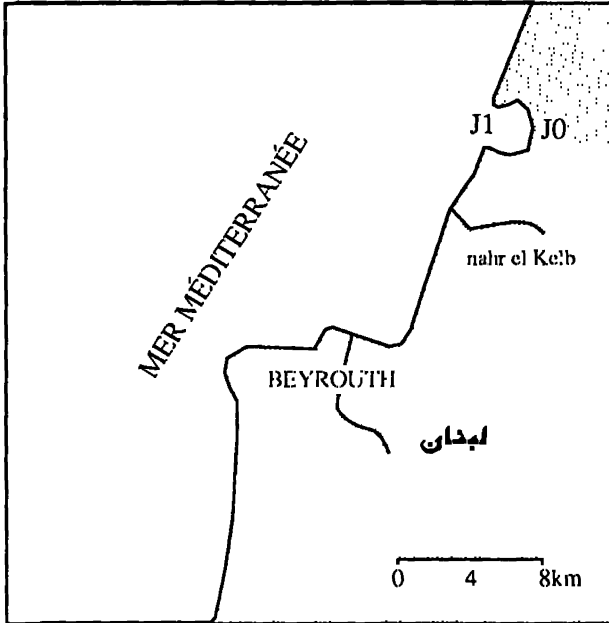
Le présent travail considère les corrélations entre des populations planctoniques relevées mensuellement, sur deux années successives, dans les mêmes stations et dans les mêmes conditions; en étudiant un grand nombre de groupes phyto- et zooplanctoniques.

La masse des résultats est telle que les méthodes classiques (graphiques et courbes) ne suffisent pas pour étudier les interrelations entre les facteurs hydrologiques et les populations planctoniques d'une part et entre les différentes populations d'autre part; et en déduire le rôle que peut jouer chaque facteur au sein de l'écosystème. C'est pourquoi on a eu recours à diverses techniques d'analyse multidimensionnelle.

Compte tenu de ce que le présent article est destiné à des statisticiens peu familiers avec l'écologie marine, on considérera seulement ici une partie des résultats obtenus par l'analyse des correspondances et la classification ascendante hiérarchique (CAH); en mettant l'accent sur ce qui intéresse la méthodologie.

(*) Centre de Recherches Marines/CNRS; B.P. 123, Jounieh - Liban.

(**) Université libanaise; Faculté des Sciences; Fanar - Mont-Liban - Liban.



1.2 Ensemble des relevés et ensemble des variables

1.2.1 Ensemble des relevés

La collecte des données a été réalisée mensuellement, de novembre 1986 et octobre 1988, dans deux stations situées dans la baie de Jounieh: J0 (à environs 40m du rivage, par 5m de fond) et J1 (au centre de la baie, par 150m de fond (cf. schéma). Ainsi, il y a, en tout, 48 prélèvements mensuels, 24 pour chacune des stations.

Dans le tableau soumis au traitement statistique, chaque prélèvement occupe une ligne commençant par un sigle. Pour J0, le sigle comprend une lettre minuscule, de a à x, suivi de 3 capitales désignant le mois. Pour J1, on a une convention analogue mais inversée: l'initiale est une capitale, de A à X; et le mois est désigné par des minuscules. Ainsi aNOV et Anov renvoient au mois de Novembre 1986, respectivement à J0 et J1; ...{cJAN Cjan} à Janvier 1987; ...{mNOV Mnov} à Novembre 1987; ...{oJAN Ojan} à Janvier 1988; et ainsi de suite jusqu'à {xOCT Xoct}, Octobre 1987.

Sur les graphiques d'analyse factorielle, afin d'éviter les superpositions de caractères, chaque sigle est réduit à la lettre initiale; mais sur les tableaux de CAH les sigles figurent *in extenso*, ce qui permet de retrouver immédiatement la valeur des initiales (qui, d'ailleurs, ne sont pas ambiguës).

1.2.2 Traitement des échantillons

De façon précise, les sorties ont été toujours faites le matin vers 9h; les échantillons étant recueillis, dans chaque station, à 0m avec un seau de 10 litres. Les échantillons d'eau destinés à l'étude microscopique ont été fixés immédiatement au Lugol et le comptage a été fait suivant la méthode d'Utermöhl (1958) après sédimentation de 100cc pour les populations nano- et phytoplanctoniques; et de 1 litre pour les populations microzooplanctoniques. De plus, la température a été mesurée immédiatement au moyen d'un thermomètre (précision = $\pm 0,01$); et la salinité par la méthode potentiométrique au moyen d'un salinomètre Beckman, modèle R S7-C, au laboratoire.

Les divers groupes planctoniques distingués ont fait l'objet de dénombrements.

Afin d'éviter la prédominance des groupes les plus abondants et de réduire, pour chaque variable, le contraste entre maxima et minima, les effectifs ont été transformés suivant la formule: $y = \log (x+ 1)$. De plus, dans les analyses objet du §3 , on a appliqué un codage barycentrique; ce qui équivaut, à peu près, à considérer chaque variable comme une échelle ordinale, sans rien conserver de l'ordre de grandeur des mesures primaires.

1.2.3 Ensemble des variables

Au total, outre les deux variables hydrologiques de température, tpr, et salinité, sal, on a 13 variables planctoniques énumérées ci-après avec leurs sigles:

A) Nan: Nanoplancton

B) Phytoplancton

DIA: Diatomées; DIN: Dinoflagellés; SIL: Silicoflagellés;

COC; Coccolithophoridés; Tph: Total du Phytoplancton;

C) Microzooplancton

CIL: Ciliés; TIN Tintinnidés; FOR: Foraminifères; ACT: Actinopodes;

D) Macrozooplancton

COP: Copépodes; APN: Appendiculaires; lzo: Larves zooplanctoniques;

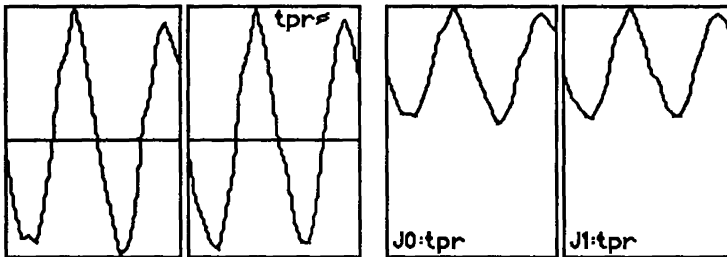
Des 13 variables planctoniques, le présent article n'en considérera que 6; lesquelles se distinguent par leur présence permanente dans chacun des 48 relevés. Dans la suite, seront donc exclusivement considérées les huit variables énumérées ci-après:

{tpr sal} {Nan DIA DIN Tph CIL lzo} .

1.3 Examen séparé des variables retenues

On publie pour chaque variable un graphique rectangulaire en deux cadres, l'un pour la station J0 l'autre pour J1; le temps est en abscisse; la variable est en ordonnée, le bord inférieur correspondant à la valeur 0. Pour l'hydrologie, on a, de plus, tracé des graphiques où la variable est rapportée à sa moyenne, dont le niveau est marqué par un trait horizontal.

1.3.1 Variables hydrologiques



Température: La présence d'un cycle thermique annuel est déjà connue (Abboud-Abi Saab, 1989). On note une légère différence interannuelle, plus nette à J0, station la plus côtière. Le minimum annuel de 1986 tombe en mars, plus nette à J0, station la plus côtière. Le minimum annuel de 1986 tombe en mars, pour les deux stations; il est en février à J0 l'année suivante. Le maximum de 1987 est atteint en août aux 2 stations, ce qui donne une allure plus arrondie à la courbe de l'année 1988.

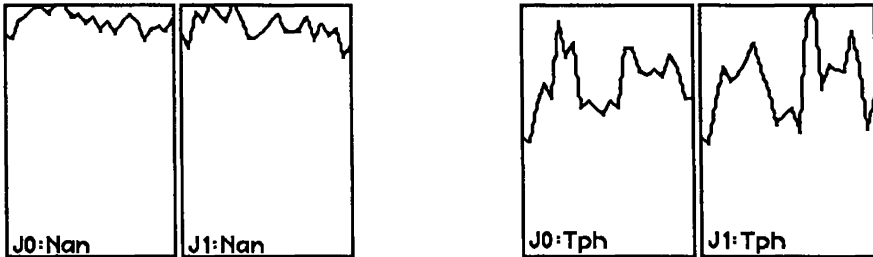


Salinité: La moyenne calculée sur 2 ans aux 2 stations est de 38.6‰. Les eaux de Naher el-keïb, au nord de la baie de Jounieh, charriées par le courant général SE-NO, affectent la salinité surtout lors des grandes pluies et à la période de la fonte de la neige. Le minimum est en mars aux 2 stations (35,59 et 36,31‰) durant le premier hiver; tandis que durant l'hiver suivant, peu pluvieux, la salinité n'a présenté que des légères fluctuations, surtout à J1.

1.3.2 Variables planctoniques

Populations nanoplanctoniques: [Nan] : Le premier hiver est beaucoup plus riche que le second, aux 2 stations; et des effectifs très élevés sont atteints en juin-juillet et mai-juin respectivement à J0 et J1 (supérieurs à 16×10^6 cellules / l). La deuxième année, le maximum, atteint en avril, est beaucoup

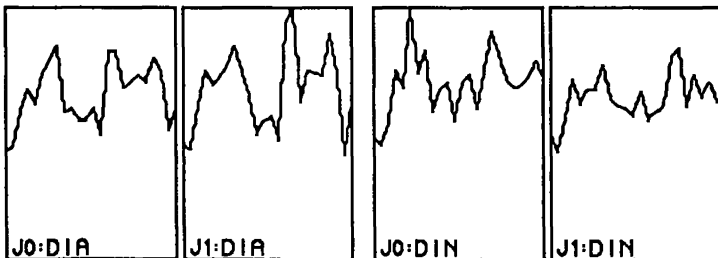
moins important; et les fluctuations sont beaucoup moins importantes. Quant aux densités, on sait que les eaux méditerranéennes orientales sont très riches en nanoplancton (Berman et al., 1984) et que la dilution favorise leur développement (Abboud-Abi Saab, 1988); l'effet favorable des pluies est nette durant le premier hiver.



Populations phytoplanctoniques: [Tph] : Leurs cycles montrent des variations interannuelles entre les stations tant pour le maximum annuel que pour la moyenne annuelle. À J1, le maximum de 1987 est en juin; celui de 1988 est en février; à J0, le maximum annuel est en avril puis en février et en juillet l'année suivante.

L'étude détaillée de la poussée printanière (Abboud-Abi Saab, 1986 et 1992a) a montré des amplitudes hebdomadaires et journalières très importantes, dues aux conditions météorologiques régnant avant chaque sortie; lesquelles peuvent favoriser un mélange des masses d'eaux ou une certaine stabilité durant la période qui coïncide avec l'installation de la thermocline saisonnière.

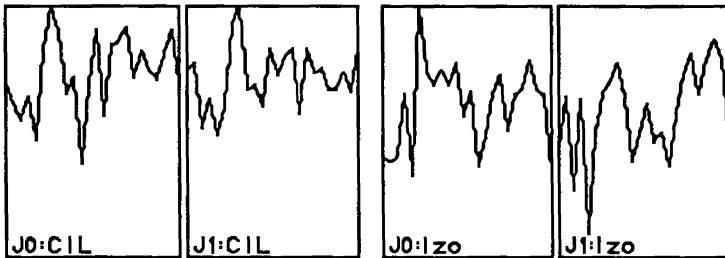
Diatomées: [DIA] : Les diatomées constituent le premier élément essentiel du phytoplancton dans nos eaux; surtout durant la poussée printanière (Abboud-Abi Saab, 1985). Le maximum du cycle annuel est en juin aux 2 stations, la première année; et en février, la deuxième année.



Dinoflagellés: [DIN] : Ces populations occupent la deuxième place en ordre d'abondance; le cycle présente des fluctuations saisonnières importantes (Abboud-Abi Saab, 1989). Le maximum est en avril et en mai selon l'année à J0; il est en avril ou juin à J1. Les amplitudes sont atténuées à J1.

Populations zooplanctoniques: L'originalité du présent travail est de sédimenter un volume d'eau bien déterminé et récupérer tous les organismes en évitant la perte propre à la méthode de filtration. Il était normal de trouver des densités faibles pour les espèces de taille relativement grande. Nous avons retenus, ici, les ciliés (microzooplancton); et les larves zooplanctoniques

Ciliés: [CIL] : Ce sont les ciliés non loriqués; ils se rencontrent toute l'année dans le milieu; leur cycle annuel présente un maximum en mai ou en juin respectivement aux deux stations à la première année; le maximum n'est pas bien net à la 2ème année et plusieurs pics apparaissent à J0 en octobre, janvier et mars. Des résultats similaires sont notés dans Abboud-Abi Saab & Kassab (1988).



Larves zooplanctoniques: [lzo] : Ces larves se rencontrent toute l'année, mais elles sont plus nombreuses à J0; à cette station elles présentent un maximum important en avril à la première année; l'année suivante, le maximum, beaucoup moins important, est en mars. À J1, des maxima sont notés, la 2ème année, en mai et en août.

Plus précisément, les larves des gastéropodes sont présentes toute l'année dans le milieu, mais c'est au printemps qu'elles sont le plus abondantes (juin-juillet à J0; mai-juillet à J1). Les larves des annélides abondent en juillet-août à J0 et en juin-juillet à J1. Les larves de crustacés sont aussi notées presque toute l'année, mais l'effectif est plus élevé en été à partir de juin et le maximum est en septembre aux deux années et aux deux stations.

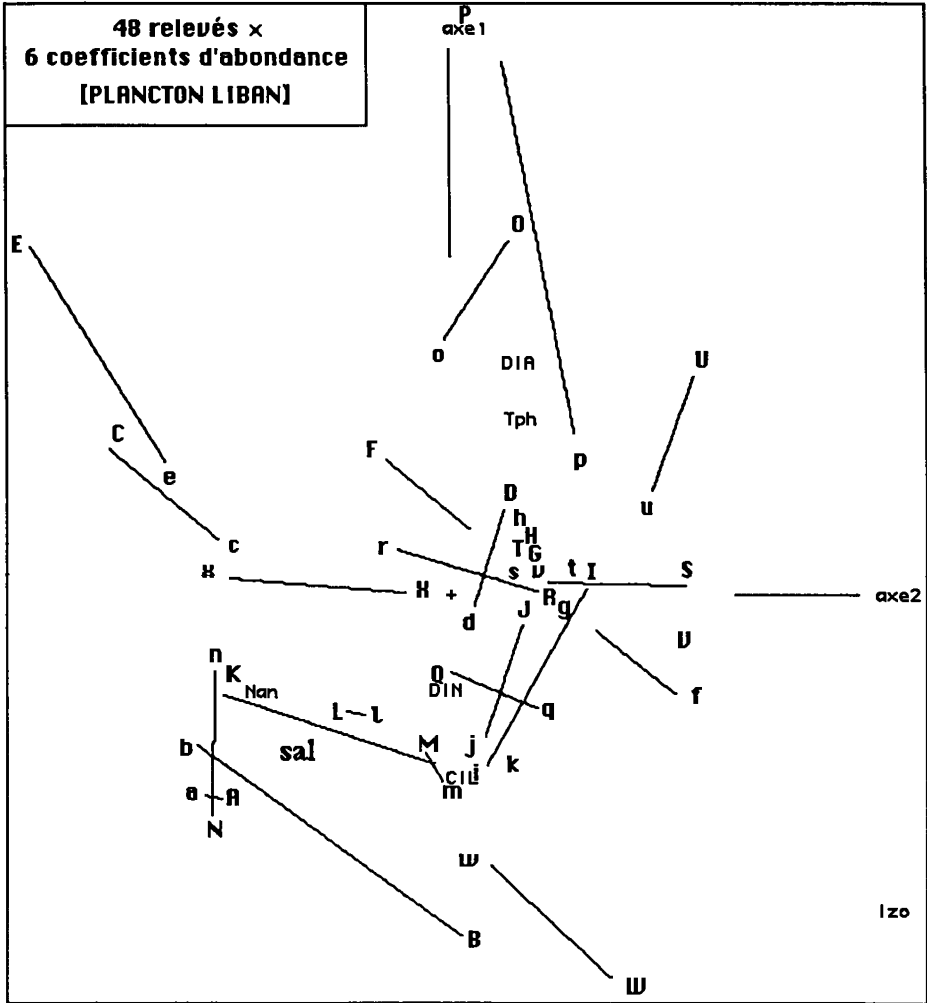
1.4 Enchaînement des analyses

Au §2, on analyse le tableau de base, 48×8 , les six abondances planctoniques étant seules variables principales; et {tpr sal} en supplément.

Au §3, on procède à un codage barycentrique des variables suivant 3 modalités, inférieure, moyenne et supérieure; d'où un tableau 48×24 pour décrire les 48 relevés suivant 24 modalités; et un tableau de BURT généralisé 24×24 , croisant, avec lui-même, l'ensemble des modalités.

Au §3.1, on analyse le tableau 18×18 croisant avec elles-mêmes les modalités du plancton, les relevés étant en supplément. Au §3.2, on analyse le sous-rectangle de BURT, 18×6 , croisant plancton et hydrologie; l'ensemble des relevés étant mis en supplément à la fois comme lignes et colonnes.

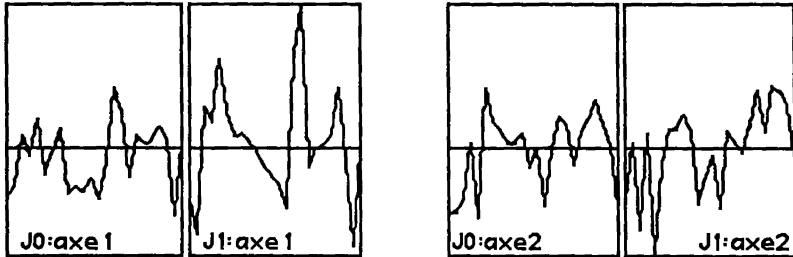
2 Analyse du tableau brut des abondances



2.1 Analyse factorielle

48 relevés x 6 coef cients d'abondance; tpr sal en suppl
 trace : 1.788e-2
 rang : 1 2 3 4 5
 lambda : 74 57 27 19 1 e-4
 taux : 4146 3202 1513 1058 81 e-4
 cumul : 4146 7348 8861 9919 10000 e-4

Sur plan 2 x 1, qui rend compte de près des (3/4) de l'inertie, on a relié les couples de relevés J0-J1 afférents à un même mois de la même année (i.e. une minuscule et la capitale de même nom): la différence est rarement très grande.



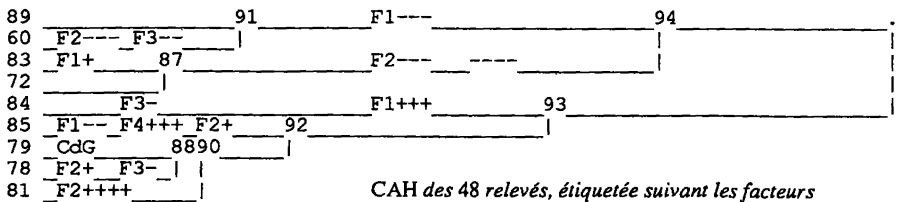
Sur des graphiques des facteurs 1 et 2, analogues à ceux tracés, au §1.3, pour les données de base, on peut apprécier, d'une part la similitude, déjà notée, entre les stations J0 et J1; et, d'autre part, l'imparfaite périodicité du phénomène observé; une périodicité parfaite devant produire des courbes formées de deux tracés successifs identiques.

Pour l'interprétation, il importe de noter que l'analyse ne prend en compte que les profils; en sorte que si deux relevés r et r' ne différaient qu'en ce que, dans le second, toutes les abondances seraient la moitié de ce qu'elles sont dans le premier, r et r' auraient même projection sur chacun des axes factoriels. Cependant, l'abondance globale se reflète indirectement dans le plan 2×1 : voici comment.

On a vu, au §1.3, que le profil de Nan est à peu près plat, relativement à ceux des autres composantes du plancton. Or Nan s'écarte nettement de l'origine, dans le quadrant ($F1 < 0$; $F2 < 0$): dans un relevé de ce quadrant Nan est donc prédominant, ce qui signifie que les autres groupes sont faibles; et par conséquent, l'abondance générale est faible; et, réciproquement, faible abondance implique prédominance de Nan, dont l'abondance ne baisse guère.

À côté de Nan, on trouve le point supplémentaire sal; ce qui s'accorde avec le fait, déjà noté, que le profil de sal est très plat. La qualité de représentation de sal est excellente; pourtant, si l'on applique à cette variable la formule de reconstitution des données, l'on obtient une fonction sal(i) qui, sur l'ensemble I des 48 relevés est très mal corrélée à la salinité réelle sal(i). Ce résultat, en apparence paradoxal, a été proposé dans CAD, Vol. XIX, n°3, sous la forme d'un problème sans sa solution. Réservant la solution détaillée à un appendice (cf. §5), nous disons tout de suite que le paradoxe résulte précisément de la quasiconstance de la salinité.

2.2 Classification des relevés et des variables



CAH des 48 relevés, étiquetée suivant les facteurs

c | Partition en 9 classes : Sigles des relevés de la classe c

89	Loct mNOV loCT Mnov jAOU iJUL Bdec Wsep kSEP
60	aNOV Anov Ndec bDEC

83	cJAN Cjan eMAR Emar
72	Ksep xOCT nDEC

84	oJAN Ojan Pfev
----	----------------

85	wSEP Qmar qMAR fAVR
----	---------------------

79	rAVR FavR Tjun Dfev dFEV Ravr
78	pFEV tJUN sMAI vAOU hJUN Xoct Hjun Gmai gMAI
81	Ujul Jaou Ijul Vaou uJUL Smai

mois	S	O	N	D	I	F	m	a	M	j	J	A	var	Nan	DIA	DIN	Tph	CIL	lzo
89	2	2	2	1							1	1		+	-		--		+++
60				2	2									+++	-		-	++	
72	1	1		1										++	-	+++			-
83					2		2							+++				--	---
84					2	1								--	+++	-	+++		-
85	*1						2	1						--	-	+++		+	
79						2		3		1				-					-
78		*1			1			3	3	1				-				+	
81									1	3	2			--				-	+++

Dans le tableau ci-dessus, le contenu des classes de relevés est donné suivant les douze mois, sans distinction d'année ni de station; e.g., la classe 60 = {aNOV Anov Ndec bDEC} est représentée par 2 dans les colonnes Novembre et Décembre; et zéro (blanc) ailleurs. On peut vérifier que le total de chaque colonne est 4: e.g., pour Février, on a 1 relevé, Pfev, dans la classe 84, 2 relevés, {Dfev dFEV} dans 79; et 1, pFEV, dans 78.

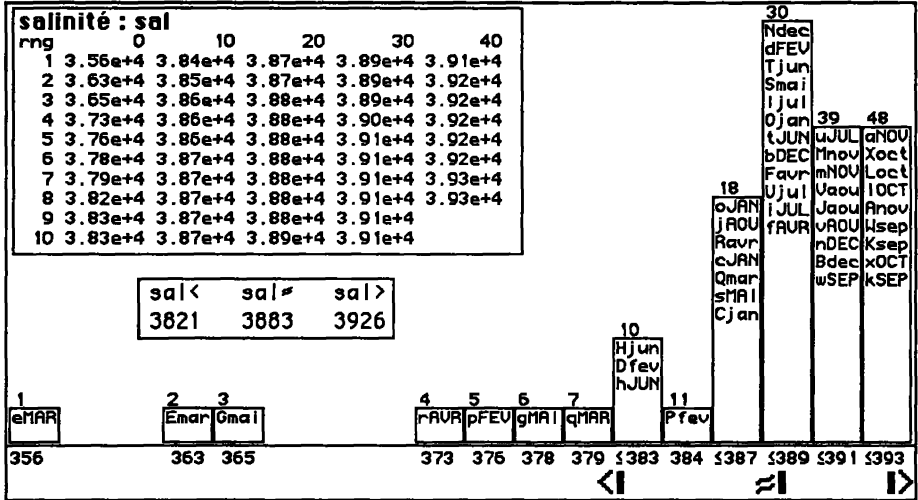
Il apparaît que les cases pleines du tableau dessinent une bande, les deux points qui s'en écartent véritablement étant marqués du caractère *. Ce qui montre qu'en général, une classe (ligne) ne comprend que des relevés situés dans une tranche assez courte de l'année (bande verticale).

On peut, de plus, considérer l'hypothèse d'une variation continue de la composition du plancton, de l'Automne à l'Été (en passant par l'Hiver et le Printemps); avec, à la fin de l'Été, un retour rapide au profil de l'Automne. Mais il faut prendre garde que la suite des classes, telle que nous l'avons disposée pour l'ensemble des lignes du tableau, ne correspond pas à une suite continue de profils moyens; la discontinuité étant particulièrement nette quand on passe des subdivisions de la branche 94 à celles de la branche 93.

Un tableau rempli de signes {+ -}, donne, d'après le listage VACOR, les caractéristiques de chaque classe en terme d'espèces: e.g., dans 60, très forte abondance relative de Nan; ce qui, cf. *supra*, implique un niveau général bas.

Nan	83++	60++	78-	8	9				10
DIN	79+	85+	84-	72+					
CIL	79--		60++	78++					
lzo		83---		72-		84--	89++	60-	
Tph	7							60-	84+++
DIA									

CAH des 6 groupes planctoniques, étiquetée suivant les classes de relevés



3 Analyses fondées sur un découpage des variables en classes

3.0 Codage barycentrique des variables

Nous considérons en détail le codage des deux variables hydrologiques.

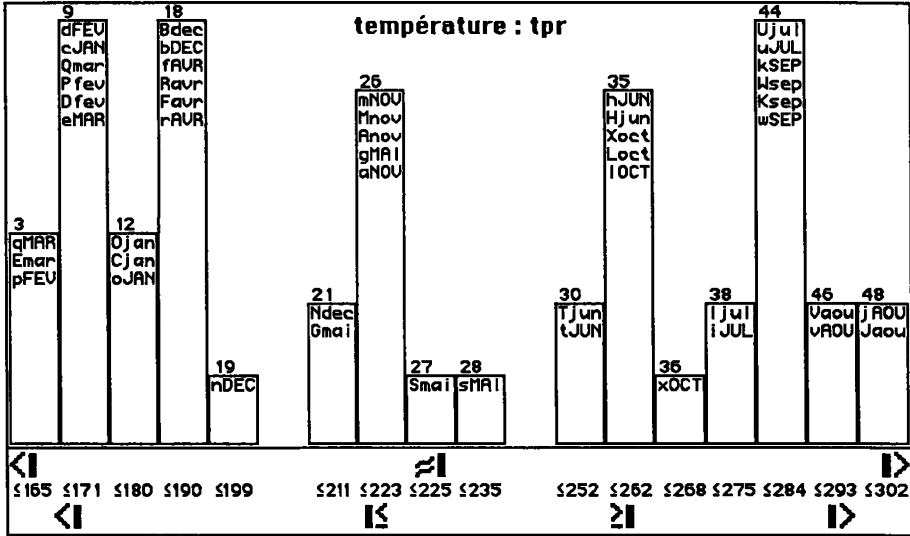
La distribution de la salinité a une longue traîne de faibles valeurs, associées, on l'a dit, aux grandes pluies et à la fonte des neiges. Elle est codée suivant trois modalités, dont les pivots sont marqués sous l'histogramme.

Le premier pivot, sal<, est placé à la limite droite de la traîne: ainsi, les valeurs de la salinité dont le rang est de 1 à 8 (cf. tableau superposé à l'histogramme) sont toutes codées par 1 sur la modalité sal<, et zéro sur les deux autres; soit {1, 0, 0}, dans le bloc des trois colonnes {sal<, sal≈, sal>} afférentes à la salinité;

Les valeurs de rang 9 à 24 sont ensuite codées sur les deux modalités {sal<, sal≈} avec zéro sur sal>; soit : {s, 1-s, 0}; la valeur s, comprise entre 0 et 1, étant d'autant plus forte que la salinité du relevé considéré est plus proche du pivot inférieur, sal<. On notera que si le pivot sal< avait été placé à l'extrémité gauche de l'histogramme, la valeur sal≈ étant à droite de la traîne, une salinité, telle que celle de rang 3 ou 4, aurait été codée avec un poids notable sur la modalité moyenne; chose que l'interprétation des données ne justifie aucunement.

Au delà, on a zéro sur sal< et la masse se partage entre {sal≈, sal>}; soit: {0, m, 1-m}, avec m d'autant plus proche de 1 qu'il s'agit d'une salinité proche du second pivot. Enfin, au-delà du dernier pivot, les deux plus fortes valeurs de la salinité, sont codées {0, 0, 1}, i.e., zéro sur {sal<, sal≈} et 1 sur sal>.

N.B. On notera que selon les notations posées dans [BURT. COD. BARY.], in CAD, Vol.XIX, n°2, le numéro continu de modalité de la salinité est donné par (2-s) et (3-m), respectivement entre {sal<, sal≈} et {sal≈, sal>}.



La température offre une autre difficulté. L'histogramme suggèrerait une distribution quadrimodale: bien que, du fait du petit nombre des échantillons, ce modèle ne s'impose aucunement, on a tenté deux codages: l'un suivant trois modalités, {tpr< tpr≈ tpr>} ; l'autre suivant quatre, {tpr< tpr≤ tpr≥ tpr>}.

On verra, au §3.2.1, que, de ces deux codages, résultent, dans le plan (1, 2), des représentations semblables. Ce qui laisse attendre qu'en choisissant les pivots au vu d'histogrammes affichés en mode conversationnel et suivant des principes tels que ceux dont le présent commentaire donne un aperçu, on aboutisse à des résultats non aléatoires, mais déterminés indépendamment des contingences du choix.

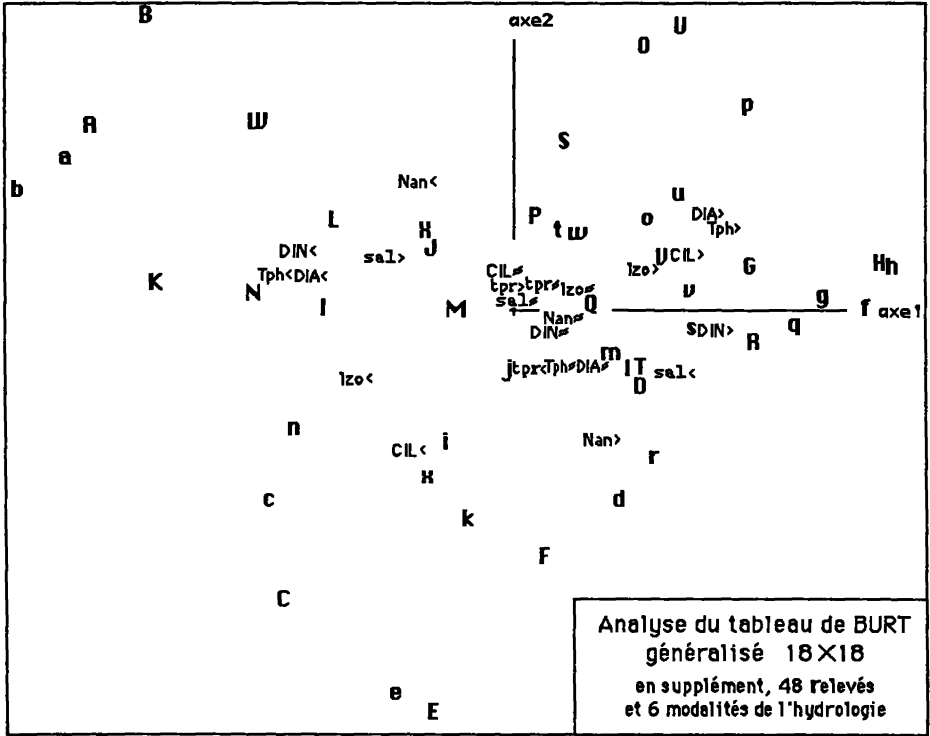
Quant aux autres variables, qui décrivent le relevé des groupes d'espèces, elles ont toutes été codées suivant trois modalités {< ≈ >} ; e.g., pour le nanoplancton, {Nan< Nan≈ Nan>}.

3.1 Analyses fondées sur le tableau de BURT généralisé croisant avec lui-même l'ensemble des 18 modalités du plancton

3.1.1 Analyse de correspondance

18 × 18 :	en principal: 18 modalités des variables planctoniques, seules;									
trace :	2.106e-1									
rang :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
lambda :	1173	329	227	163	118	33	31	18	11	5 e-4
taux :	5569	1560	1077	772	559	156	146	84	52	23 e-4
cumul :	5569	7130	8206	8979	9538	9694	9840	9924	9975	9999 e-4

Le tableau des taux montre la prédominance de l'axe 1; nous ne publions que le plan (1, 2); les facteurs de rang >2 intervenant ensuite dans les CAH.



Sur l'axe 1, les fortes abondances (F1>0) s'opposent aux faibles (F1<0). Suivant l'axe 2, on distingue, vers (F2<0), Nan> et {CIL<, lzo<}, faible taux de zooplancton. La salinité, mise en supplément, s'oppose à l'abondance. Le nuage des relevés a une forme triangulaire, que la CAH retrouve et précise.

3.1.2 Classification des 18 modalités du plancton

Nan<	F1---	27	F1-	32	34	//
CIL≈						
Nan≈	22	28	F1++	22:	F3+++	
lzo≈						
DIN≈	25			25:	F2--	
Tph≈	20					
DIA≈						
lzo>	F4+++	29	30	31	F1+++	
Nan>	F2---					
DIN>	24	F4--	F1+++			
CIL>						
Tph>	21	F2+	F1+++	F3--		
DIA>						
CIL<	26	F2---	F3-	33	F1----	//
lzo<					26:	Zooplancton <
DIN<	23	F1-----			23:	Phytoplancton <
Tph<	19					
DIA<						

CAH des 18 modalités planctoniques, étiquetée suivant les facteurs

c | Partition en 11 classes : Sigles des relevés de la classe c

78	Ksep	Ndec	nDEC	cJAN
84	aNOV	Anov	bDEC	Bdec Wsep

56	iJUL	kSEP	
69	Cjan	eMAR	Emar

75	Vaou	Ijul	Smai	uJUL
----	------	------	------	------

81	Loct	lOCT	Xoct	jAOU	Jaou	Mnov	tJUN	
83	xOCT	Favr	dFEV	rAVR	Tjun	Dfev	VAOU	sMAI

82	Ujul	Pfev	Ojan
----	------	------	------

85	Omar	mNOV	wSEP	qMAR	Ravr	gMAI
73	Gmai	pFEV	oJAN			

80	fAVR	Hjun	hJUN
----	------	------	------

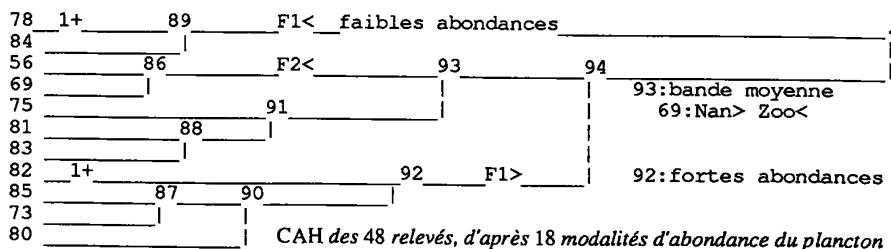
Tableau d'Étiquetage des classes de relevés d'après les classes de modalités du plancton

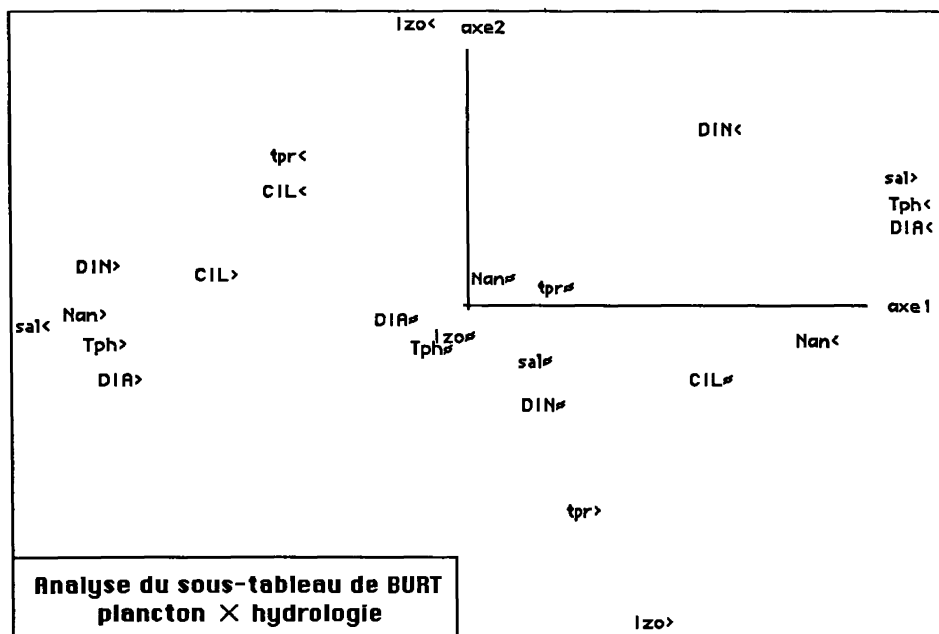
	a84	a78	a56	a69	a75	a81	a83	a82	a85	a73	a80
j1 Nan<	4	1	0	0	2	3	0-	2	1	1	0
j14 CIL≈	4	1	1	0	3	5+	5	1	2	1	1
j22 N≈1≈	3	3	1	0	2	8	12++	2	8	5++	2
j25 ≈≈≈	1-	4	4	7++	9+	14	18++	2	10	5	2
j18 lzo>	1	0	1++	0	4+++	0	0	1	2	0	1
j3 Nan>	0	1	2++	3++	0	0	2	0	1	0	3++
j24 D>C>	0	1	0	0	0	1	4	1	8+++	3+	5+++
j21 T>D>	0	0	0	0	2	0	2	6+++	2	4++	4++
j26 Zoo<	3	5++	1	6+++	0	2	4	2	0	1	0
j23 Phy<	14+++	7+++	2	2	1	7	1	1	2	0	0

3.1.3 Classification des relevés:

mois	I	F	m	a	M	j	J	A	S	O	N	D
78	1								1		2	
84									1	2	2	
56								1	1			
69	1	2										
75				1	2	1						
81					1	2			3	1		
83		2	2	1	1	1	1					
82	1	1					1					
85			2	1	1			1	1			
73	1	1			1							
80			1	2								

D'une part, à gauche, comme au §2, le contenu des classes de relevé est donné suivant les douze mois, sans distinction d'année ni de station; d'autre part, ci-dessus, le tableau de correspondance (arrondi) construit, avec le listage VACOR, par cumul suivant les classes des deux partitions, sert à reporter l'étiquetage; ce qui est facile, le contenu des classes de modalités d'abondance pouvant presque toujours être bien rappelé par un sigle.





18 mod. du plancton X 6 mod. de l'hydrologie
 trace : 8.105e-2
 rang : 1 2 3 4
 lambda : 0623 0136 0042 0010 e-4
 taux : 7680 1672 520 127 e-4
 cumul : 7680 9352 9873 10000 e-4

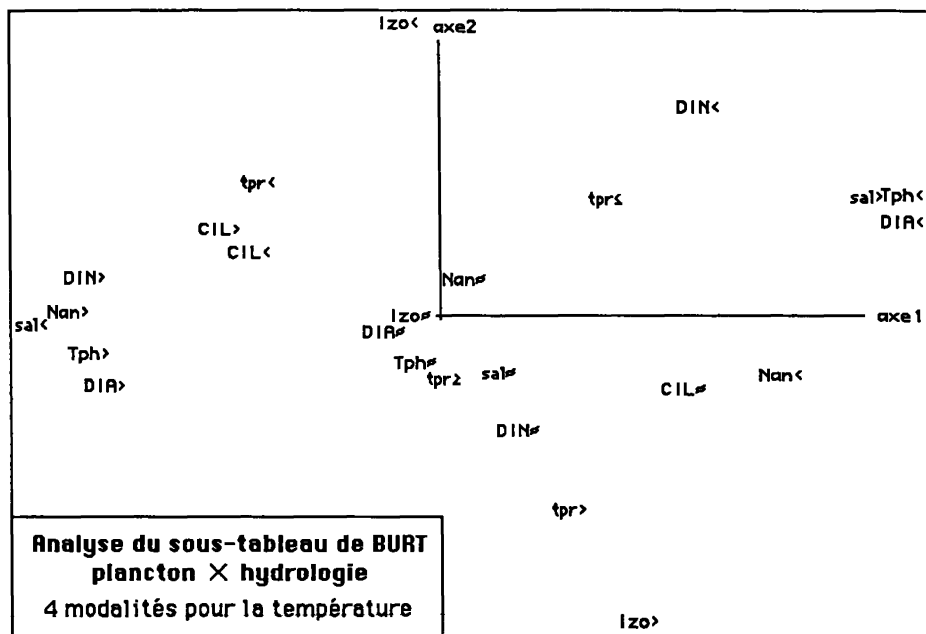
3.2 Analyses fondées sur le sous-rectangle de BURT généralisé croisant les modalités du plancton avec les modalités de l'hydrologie

Ainsi qu'on l'a annoncé au §3.0, toutes les variables ont été découpées en trois modalités, excepté la température, tpr, pour laquelle on a tenté, également un codage en quatre modalités. L'essentiel des résultats rapportés dans ce § se fonde sur le codage de tpr en 3 modalités; mais, au §3.2.1, on compare les résultats obtenus avec les deux codages de tpr.

3.2.1 Analyse de la correspondance entre modalités

Avec l'un et l'autre codage, on retrouve, sur l'axe 1, l'opposition, déjà vue au §3.1.1, entre faibles et fortes abondances, celles-ci étant associées à une faible salinité; (l'orientation de l'axe, contingente, sort seulement inversée).

Suivant l'axe 2, s'opposent les modalités faibles et fortes des larves zooplanctoniques; lzo> allant avec tpr>, du côté (F2<0). On trouve dans le quadrant (F1>0; F2>0), les modalités faibles du phytoplancton, {Tph<, DIN<, DIA<}, avec la modalité forte de la salinité, sal>.



18 mod. du plancton X 7 mod. de l'hydrologie
 trace : 9.932e-2
 rang : 1 2 3 4 5
 lambda : 702 190 76 17 9 e-4
 taux : 7068 1917 761 166 87 e-4
 cumul : 7068 8986 9747 9913 10000 e-4

Le codage de tpr suivant quatre modalités permet de distinguer, parmi les températures moyennes, entre celles, tpr_≥, qui sont plutôt fortes, et celles qui sont plutôt faibles, tpr_≤. Tandis que tpr_≥ s'écarte peu de la zone centrale où se trouvent toutes les modalités moyennes, à l'exception de CIL_≈, on trouve tpr_≥ dans le quadrant (F1>0; F2>0), avec salinité forte et phytoplancton faible.

3.2.2 Profils planctoniques et hydrologiques adjoints en supplément

corrélations entre facteurs

4	bxel	bxe2	bxe3	bxe4
axe1	6830	1	1	1
axe2	2	5447	1	1
axe3	2	1	4614	2
axe4	1	0	1	2540

Chaque relevé i peut être adjoint à l'analyse de deux manières: d'une part, comme une colonne ib, profil de i sur l'ensemble des modalités planctoniques; d'autre part, comme une ligne ia, profil de i sur l'ensemble des modalités hydrologiques. On notera axe_κ, la coordonnée de ia sur l'axe factoriel κ; et bxe_κ la coordonnée de ib. Il apparaît que (aux erreurs d'arrondi près) la

corrélations entre facteurs

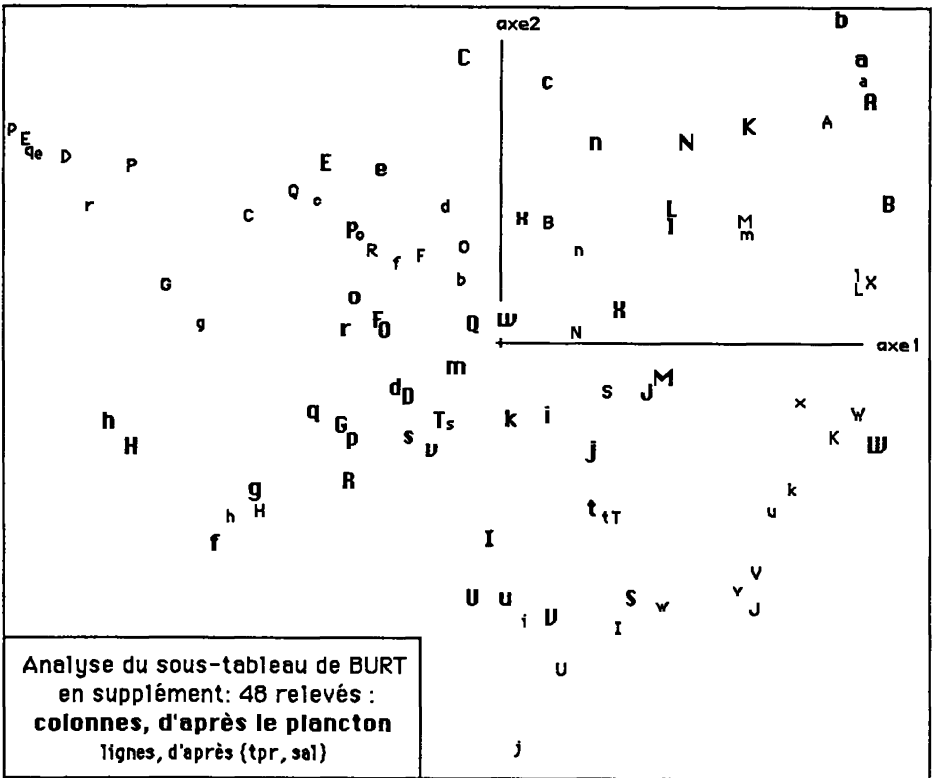
4	axe1	axe2	axe3	axe4
axe1	10000	-3845	1153	896
axe2	-3845	10000	953	-974
axe3	1153	953	10000	2286
axe4	896	-974	2286	10000

corrélations entre facteurs

4	bxe1	bxe2	bxe3	bxe4
bxe1	10000	4067	-1408	518
bxe2	4067	10000	-1080	2212
bxe3	-1408	-1080	10000	-2818
bxe4	518	2212	-2818	10000

corrélacion est nulle entre deux facteurs axe_{κ} et bxe_{ν} de rangs différents; tandis qu'entre deux facteurs du même système, axe ou bxe , les corrélations ont des valeurs quelconques; comme l'attestent les tableaux ci-dessus.

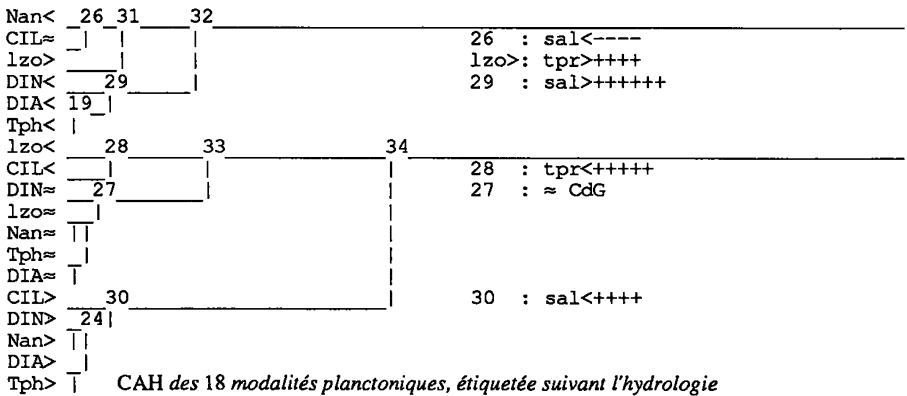
Ces propriétés, qui n'avaient pas été remarquées jusqu'ici, sont étudiées dans une note, [FAC. BURT GÉN], "Corrélations entre facteurs calculés sur un ensemble d'individus d'après l'analyse d'un sous-tableau de BURT généralisé". La note démontre, en outre, que $corr(axe_{\gamma}, bxe_{\gamma})$ est supérieur à $\sqrt{\lambda_{\kappa}}$, racine de la valeur propre λ_{κ} issue de l'analyse du rectangle; limite inférieure qui est largement dépassée dans la présente analyse. La corrélation entre les deux représentations n'est donc pas le fait du hasard; comme l'attestent, sur le plan (1, 2) les proximités entre lettres grasses et maigres de même nom, qui représentent respectivement ib et ia .



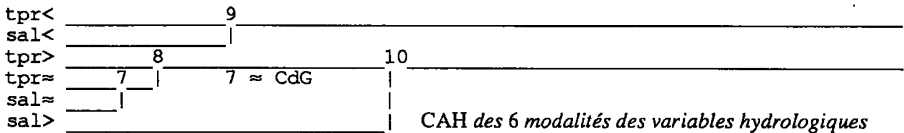
On peut reprendre ici le problème, posé au §2.1, de l'expression approchée de la salinité en fonction de l'abondance des espèces dans le plancton. Un simple calcul de corrélation montre que par la formule

$$N_{sal} \approx 1,95 + (0,92 \times b_{xe1}) \quad ;$$

le numéro continu, N_{sal} , de modalité de la salinité (numéro qui varie de 1 à 3; cf. *supra* §3.0, N.B.) est reconstitué pour 54% de sa variance.



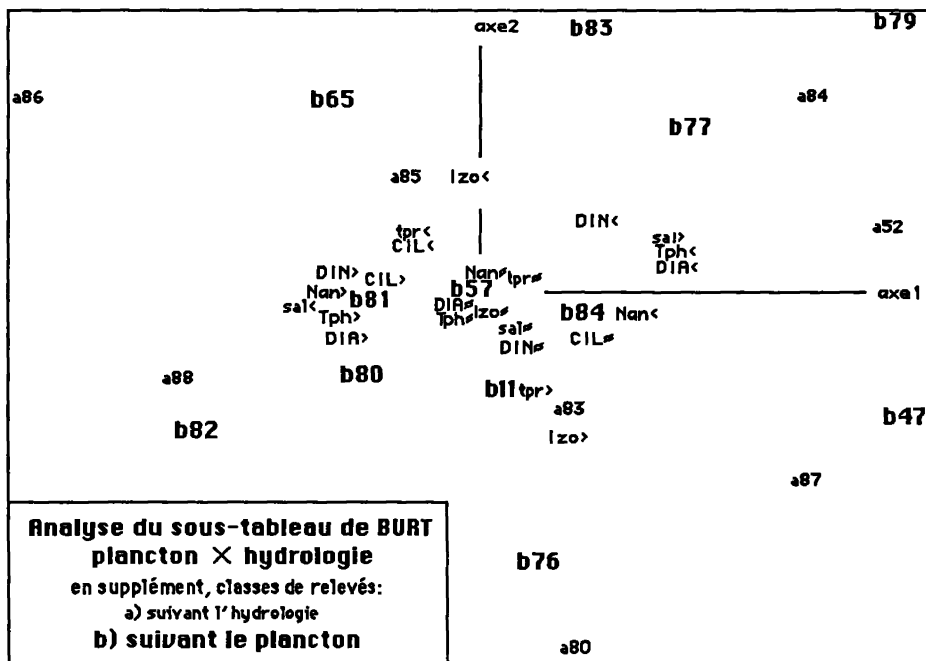
3.2.3 Classifications des modalités d'abondance du plancton et des modalités hydrologiques



La classification des modalités d'abondance est d'une interprétation moins simple que celle obtenue au §3.1.2 par l'analyse du tableau de BURT 18 x 18. En effet, au §3.1.2, on avait, au sommet de la hiérarchie, une partition en trois classes s'identifiant avec les trois signes {<, ≈ >} ; la modalité Nan<, agrégée à la classe des {≈}, faisant seule exception. Ici, au §3.2.3, l'on a deux classes pures 30 et 27, contenant, respectivement (5/6) des modalités {>} et {≈}; mais les modalités {<} sont dispersées entre plusieurs classes. Il faut se rappeler que la CAH des modalités du plancton est ici fondée non les relations au sein de ces modalités considérées pour elles-mêmes, mais sur ce qui dans les occurrences de ces modalités est conditionné par l'hydrologie.

Une partition des modalités du plancton en 6 classes a été étiquetée en fonction des modalités de la salinité et de la température: les classes sont aisément caractérisées; à l'exception de la classe 27, des modalités {≈}, qu'on ne s'étonnera pas de trouver proche du centre de gravité.

Dans la suite les 6 classes de modalité du plancton serviront elles-mêmes à étiqueter une CAH des relevés; et, pour plus de clarté, l'on conviendra de noter, ≈≈≈ pour 20, >>> pour 30; et phy< pour 29, faiblesse du phytoplancton.



3.2.4 Classification des relevés d'après le plancton et d'après l'hydrologie

Nous donnons pour chacune des CAH, un tableau, un arbre étiqueté; avec dans le plan (1, 2), le nuage des centres des classes de la partition retenue.

Du point de vue de l'hydrologie, les relevés sont divisés d'abord en trois branches, a92, a93 et a91, dont la salinité est, respectivement forte, moyenne et faible; puis chaque branche se subdivise en fonction de la température. Dans le plan (1, 2), ces branches occupent des bandes, parallèles à l'axe 2, s'étagant suivant l'axe 1.

c | Partition des 48 relevés en 8 classes, selon l'hydrologie

a84	aNOV	Anov	Mnov	mNOV		tpr≈+++	sal>++++
a52	Xoct	lOCT	Loct				sal>++++

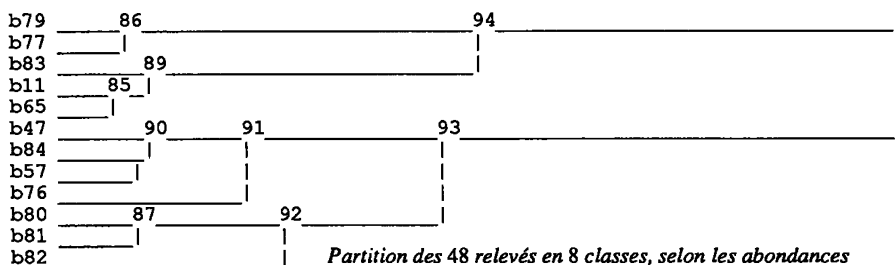
a87	Ksep	Wsep	xOCT	kSEP	uJUL	Vaou	vAOU
						Jaou	sal>+++ tpr>++++

a80	JAOU	Ujul	iJUL	wSEP	Ijul	sal≈+++	tpr>++++
a83	sMAI	Ndec	Smai	tJUN	Tjun	sal≈+++	tpr≈+++

a85	nDEC	Bdec	bDEC	Favr	fAVR	Ravr	oJAN
						Ojan	dFEV
						sal≈+++	cJAN
							Qmar
							tpr<+++
=====							
a88	Hjun	hJUN	gMAI	Gmai			sal<++++
a86	Cjan	Pfev	rAVR	Dfev	eMAR	qMAR	Emar
							pFEV
							sal<+++ tpr<+++

c | *Partition des 48 relevés en 8 classes, selon les abondances*

b79	aNOV Anov	bDEC Bdec	phy<++++	{Nan< CIL≈}+
b77	lOCT Ndec	Loct	phy<+++	
b83	Ksep nDEC	cJAN Cjan	phy<++	{lzo< CIL<}++++
b11	kSEP		lzo>+++	
b65	Emar eMAR			{lzo< CIL<}++++
b47	Wsep		phy<+++	lzo>+++ {Nan< CIL≈}+
b84	xOCT Xoct	Qmar Mnov	Jaou jAOU	iJUL ≈≈≈++
b57	wSEP mNOV			≈≈≈++
b76	tJUN Smai	Vaou Ijul	uJUL Ujul	lzo>+++ {Nan< CIL≈}+
b80	Ojan oJAN	Ravr vAOU	sMAI pFEV	>>>++++
b81	Favr Pfev	rAVR Tjun	dFEV Dfev	≈≈≈++
b82	qMAR Gmai	gMAI fAVR	Hjun hJUN	>>>++++

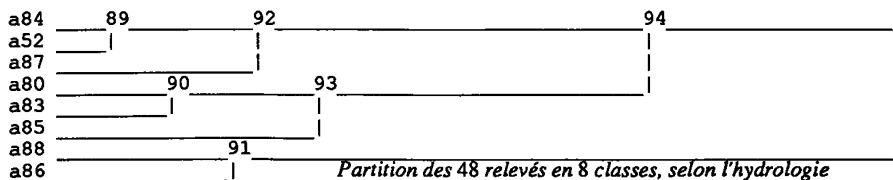


Partition des 48 relevés en 8 classes, selon les abondances

Du point de vue des abondances des divers groupes planctoniques, les relevés sont divisés d'abord en deux branches, b94 et b93. Les subdivisions de b94 sont quasi exclusivement caractérisées par des modalités {<}; à l'exception du relevé kSEP (Septembre 1988, à J0, au plus près de la côte), où l'on a noté une grande abondance de larves zooplanctoniques, lzo>+++.

La branche b93 se partage entre b91 et b92: cette dernière classe contient les relevés dont l'abondance générale est la plus forte: >>>++++.

Quant à la distinction des classes suivant les facteurs, le listage FACOR montre qu'y contribuent notablement les axes 3 et 4: or l'axe 3 est créé par l'opposition {CIL< ≠ CIL>}; et l'axe 4 par {CIL< ≠ CIL≈}; en sorte que, pour éviter que ne prédominent les Ciliés, on doit vérifier toute assertion typologique sur le plan (1, 2), seul bien interprété en terme d'hydrologie.



Partition des 48 relevés en 8 classes, selon l'hydrologie

4 Conclusions

Quant au plancton, l'analyse de données, recueillies avec persévérance et minutie, mais en butte aux fluctuations souvent signalées de l'hydrologie liée à la pluie et à la fonte des neiges, nous paraît avoir abouti à une vue d'ensemble confirmée de l'écologie des populations planctoniques les plus abondantes.

Quant aux méthodes, par la complexité même du codage en abondance, la présente étude a appelé notre attention sur deux phénomènes, non encore signalés, à notre connaissance, dans la littérature: d'une part, une anomalie dans la reconstitution de la salinité (cf. *infra*, appendice, §5); d'autre part une relation générale d'orthogonalité entre facteurs calculés pour des individus adjoints, de deux façons différentes, à un sous-rectangle de BURT, (cf. §3.2.2).

Références bibliographiques relatives à l'étude du plancton

- Abboud-Abi Saab, M. (1985): "Étude quantitative et qualitative du phytoplancton des eaux côtières libanaises"; *Lib. Sci. Bull.*, 1 (2): pp.197-222.
- Abboud-Abi Saab, M. (1986): "Contribution à l'étude de la poussée phytoplanctonique printanière dans les eaux côtières libanaises"; *Lib. Sci. Bull.* 2 (1): pp.29-51.
- Abboud-Abi Saab, M. (1988): "Étude quantitative et qualitative des Actinopodes (Actinopoda) dans les eaux côtières libanaises (Méditerranée orientale)"; *Ann. Inst. Océanogr.*, Paris, 64 (1): pp.65-74.
- Abboud-Abi Saab, M. (1988): "Importance du nanoplancton dans les eaux côtières libanaises (Méditerranée orientale)"; *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 31 (2): p.125.
- Abboud-Abi Saab, M. (1986): "Distribution & ecology of the Tintinnids in the plankton of Lebanese coastal water (Eastern Mediterranean)"; *J. plank. Res.*, 11 (2): pp. 203-222.
- Abboud-Abi Saab, M. (1989): "Les dinoflagellées des eaux côtières libanaises- Espèces rares ou nouvelles du phytoplancton marin"; *Lib. Sci. Bull.*, 5 (2): pp.5-16.
- Abboud-Abi Saab, M. (1990): "Variations quotidiennes des populations phytoplanctoniques durant une période automnale dans un point fixe de la côte libanaise"; *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 32 (1): p.119.
- Abboud-Abi Saab, M. (1992a): "Day-to-day variation in phytoplankton assemblages during spring blooming in a fixed station along the Lebanese coastline"; *J. plank. Res.*, 14 (8): pp.1099-1115.
- Abboud-Abi Saab, M. (1992b): "Les Silicoflagellées de la côte centrale libanaise"; *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 33: P33.
- Abboud-Abi Saab, M. (1993): "Variations in planktonic Foraminifera concentrations along the coastline of Lebanon"; *Lib. Sci. Bull.*, 6 (1): 25-32.
- Abboud-Abi Saab, M. & Kassab, M.-T. (1988): "Les ciliés planctoniques dans les eaux côtières libanaises (Méditerranée orientale)"; *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 31 (2): p-15.
- Berman, T., Townsend, D.W., El-Sayed, S.Z., Trees, C.C. & Azov, Y. (1984): "Optical transparency, chlorophyll and primary productivity in the eastern Mediterranean near the Israeli coast"; *Oceanol. Acta*, 7: pp.87-96.
- Utermöhl, H. (1958): "Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik"; *Mitt. int. Ver. Limnol.*, 9: 1-38.

5 Appendice: Analyse de correspondance et régression: solution au problème proposé dans CAD, vol. XIX, n°3

Dans l'exemple d'écologie marine, il apparaît, au §2, que la salinité a un profil quasi plat relativement à celui des variables principales des relevés. Bien que de faible amplitude, les variations relatives sont toutefois significatives comme étant liées à des variations concomitantes de l'abondance des diverses espèces planctoniques; liaison révélée, au §3.2, par un codage approprié. Le problème de la reconstitution de la salinité en fonction des abondances est donc posé. On a vu, cf. §3.2.2, *in fine*, que le codage barycentrique en fournit une solution partielle. Nous verrons ci-dessous pourquoi l'analyse des coefficients d'abondance, pris tels quels, ne fournit pas une telle reconstitution, malgré une qualité de représentation élevée.

5.1 Explication du cas paradoxal de l'analyse du §2

De façon précise, la qualité de représentation de la colonne supplémentaire sal atteste que la densité de cette colonne relativement à la colonne de marge des relevés (colonne qui définit une sorte d'indice d'abondance du plancton) peut être très bien reconstituée en fonction des facteurs issus de l'analyse du tableau principal à 6 colonnes.

Mais que vaut cette reconstitution pour l'estimation de la salinité elle-même?

Nous avons dit qu'à l'échelle des fluctuations du plancton, la salinité est quasi constante: la reconstitution obtenue exprime simplement que la fonction $(1/\text{pond}(i))$, inverse de l'indice d'abondance se trouve - nous dirons fortuitement - bien approchée par une combinaison, notée $R_s(i)$, des facteurs et de la constante 1; autrement dit que l'espace des combinaisons linéaires des colonnes principales contient une colonne quasi constante. L'approximation qui en résulte pour $\text{sal}(i)$, est une fonction $\text{sal}'(i)$ qui est bien quasi constante, comme $\text{sal}(i)$ et a la moyenne requise, salm ; mais rien ne permet de présumer que les fluctuations de sal' autour de cette moyenne aient une corrélation fortement positive avec celles de sal ; lesquelles, répétons-le, sont significatives. En fait, la corrélation trouvée est faible en valeur absolue; et de signe négatif.

5.2 Contre-exemple numérique simple avec QLT et corrélation faible

Nous savons maintenant quelles particularités doit présenter un tableau pour reproduire le paradoxe rencontré dans l'analyse du plancton.

Il faut qu'il existe une colonne quasi constante, C, qui soit combinaison linéaire des colonnes principales et donc puisse être parfaitement reconstituée (sans que toutefois la colonne de marge soit quasi constante). Une colonne

quasi constante autre que C sera alors reconstituée avec une bonne qualité de représentation; mais cela implique seulement que cette reconstitution produise une fonction quasi constante; non que les fluctuations relativement à la moyenne soient semblables.

```
tab: contrexemple
3  A  B  Sup
a  8  10 210
b  3  18 211
c  2  22 209
```

```
tab      : contrexemple
trace   : 1.423e-1
rang    : 1
lambda  : 1423 e-4
taux    : 10000 e-4
```

SIGJ	QLT	PDS	INR	F 1	COR	CTR
A	1000	206	794	-739	1000	794
B	1000	794	206	192	1000	206
ci-dessous élément supplémentaire						
Sup	897	10000	1005	-113	897	901
SIGI	QLT	PDS	INR	F 1	COR	CTR
a	1000	286	695	-588	1000	695
b	1000	333	58	157	1000	58
c	1000	381	247	304	1000	247

```
corr(Sup,Rec) = -.986 ;
Sup - 210 ≈ - 0.11 × (Rec - 210) ;
Rec - 210 ≈ - 8.9 × (Sup - 210) ;
```

Dans le tableau tab, (3 × 3), la combinaison C = 2.A + B des deux colonnes principales A et B contient les nombres {26, 24, 26}. La colonne Sup est quasi constante; mais non rigoureusement constante, car pour qu'on puisse calculer une corrélation entre Sup et sa reconstituée, il faut qu'il s'agisse de suites différant de leur moyenne.

Avec deux colonnes principales, il n'y a qu'un seul facteur; pour Sup, QLT = 897.

Mais entre Sup et la colonne reconstituée, Rec, la corrélation est -.987; donc aussi mauvaise que possible; les fluctuations se trouvant contrariées et, de plus, amplifiées près de 9 fois.

Références bibliographiques relatives à l'analyse des données

A. El OUADRANI: "Généralisation du tableau de BURT et de l'analyse de ses sous-tableaux dans le cas d'un codage barycentrique"; [BURT. COD. BARY]; CAD, Vol.XIX, n°2, pp.229-246; (1994).

Ph. NABHAN: "Problème proposé sans sa solution"; [PROBLÈME]; CAD, Vol.XIX, n°3, pp.377-380; (1994).

A. El OUADRANI, Ph. NABHAN: "Corrélations entre facteurs calculés sur un ensemble d'individus d'après l'analyse d'un sous-tableau de BURT généralisé"; [FAC. BURT GÉN]; CAD, Vol.XIX, n°4; (1994).