

N° d'ordre 1245

50376

1985

9

UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

THESE

présentée à l'Université des Sciences et Techniques de Lille

pour obtenir le titre de

DOCTEUR de 3ème Cycle



Marie-Dominique PIZAY-PARENTY

BASSINS DE LAGUNAGE D'ANICHE-AUBERCHICOURT (NORD)
CINÉTIQUES SAISONNIÈRES ET SPATIALES DU ZOOPLANCTON
ET DES DESCRIPTEURS DE LA QUALITÉ DE L'EAU.

Présentée le 17 janvier 1985 devant la Commission d'examen :

Pr E. VIVIER, Président
Pr S. FRONTIER, Rapporteur
Mlle N. ANGELI
M. R. POURRIOT

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : GENERALITES ET METHODOLOGIE	4
1 - DESCRIPTION DU SITE	4
1.1. Morphologie	4
1.2. Alimentation en eau	6
1.3. Données climatiques	8
2 - METHODOLOGIE	8
2.1. Plan d'échantillonnage	8
2.2. Prélèvements	10
2.3. Mesures sur le terrain	10
2.4. Mesures en laboratoire	11
2.4.1. Mesures effectuées par l'Institut Pasteur	11
2.4.2. Pigments chlorophylliens	11
2.4.3. Zooplancton	12
DEUXIEME PARTIE : EVOLUTION DES DESCRIPTEURS AUX QUATRE STATIONS RETENUES	14
1 - Descripteurs physico-chimiques et bactériologiques	16
1.1. Transparence	16
1.2. Température	16
1.3. Oxygène dissous	18
1.4. DBO ₅ et DCO	18
1.5. pH	22
1.6. Orthophosphates	25
1.7. Composés azotés	25
1.8. Chlorures et sulfates	29
1.8. Bactériologie	30
2 - Descripteurs planctonologiques	34
2.1. Phytoplancton	34
2.1.1. Incidence du phytoplancton sur le milieu	34
2.1.2. Estimation de la biomasse phytoplanctonique de la lagune	35

	Pages
2.2. Zooplancton	37
2.2.1. Incidence du zooplancton	37
2.2.2. Suivi du peuplement zooplanctonique	39
2.2.2.1. Effectif zooplanctonique total	39
2.2.2.2. Amibes	43
2.2.2.3. Ciliés	43
2.2.2.4. Rotifères	50
2.2.2.5. Cladocères	59
2.2.2.6. Copépodes	62
2.2.2.7. Nématodes	65
2.3. Performances de la lagune	67
TROISIEME PARTIE : ETUDE DE LA DIVERSITE TAXONOMIQUE	71
1 - Richesse taxonomique et pourcentages des différents taxons	73
1.1. Variations amont-aval	73
1.2. Variations saisonnières	77
2 - Diversité, Régularité	78
2.1. Définitions et propriétés	78
2.2. Remarques sur le choix de l'ensemble-cible	79
2.3. Résultats	81
3 - Diagrammes abondance-fréquence	84
4 - Diagrammes rang-fréquence	87
4.1. Définition	87
4.2. Diagrammes obtenus par cumul des dates pour chaque station	88
4.3. Diagrammes par récoltes individuelles	91
QUATRIEME PARTIE : ANALYSES MULTIVARIABLES	96
1 - Description du tableau initial des données	96
2 - Analyse du tableau de mesures	101
2.1. Le tableau de corrélations entre variables	101
2.1.1. Méthodes	101
2.1.2. Résultats	102
2.1.3. Conclusions	109
2.2. Analyse en composantes principales (ACP)	109
2.2.1. Analyse du tableau général	110

	Pages
3 - Analyse du tableau de contingence :	
Analyse factorielle des correspondances	126
3.1. Analyse des descripteurs ou variables	129
3.2. Analyse des objets	135
3.3. Projections des variables et des objets sur les plans principaux	141
3.4. Conclusions de l'ordination	143
3.5. Comparaison de l'ordination avec la classification des DRF	145
4 - Analyse des correspondances multiples sur l'ensemble des données	147
4.1. Généralités	147
4.2. Codage des données	149
4.3. Résultats	149
4.3.1. Analyse des variables	154
4.3.2. Analyse des objets	167
4.4. Comparaison de l'AFC multiple avec la classification des DRF	172
5 - Importance du plancton, conséquences pour la gestion d'un étang d'épuration	172
5.1. Le phytoplancton	172
5.2. Métabolisme du zooplancton	172
5.2.1. Capacité de filtration	174
5.2.2. Respiration	176
5.2.3. Régénération des nutriments	176
 CONCLUSION	 179
 BIBLIOGRAPHIE	 182
 ANNEXES	

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'épuration des eaux usées par le lagunage naturel est considérée comme une technique simple, rustique mais capable de résultats satisfaisants. Ce procédé de traitement biologique extensif utilise l'action de l'ensemble du système aquatique. Dans cet écosystème réduit et spécialisé se produisent simultanément la transformation des charges polluantes par voie essentiellement aérobie et la stabilisation des boues produites ; ce qui confère à ce milieu son caractère tolérant vis-à-vis des fluctuations de charge.

Selon GLOYNA (1972), ce principe était connu depuis l'Antiquité et utilisé pour l'élevage du poisson en Asie et en Grèce. Les premières installations rationnelles conçues pour l'épuration ont vu le jour au Texas en 1901 (SAUZE, 1973). En France, il était encore ignoré par les autorités il y a vingt ans. Puis méprisé et toléré, il a fini par être reconnu officiellement en 1981 son nom figurant alors dans la circulaire interministérielle en date du 4 novembre. La première lagune opérationnelle en France date de 1966 (lagune du Grau-du-Roi).

Actuellement, de plus en plus de bassins de "traitement tertiaire" destinés à recevoir les effluents de stations de traitement biologique surchargées sont construits. Dans le vocabulaire courant de l'épuration, ce terme désigne un traitement complémentaire permettant d'obtenir une qualité d'effluent supérieure à celle obtenue par les procédés biologiques classiques. De fait, on y observe l'amélioration de la charge organique, de l'azote, du phosphore et des germes test. Le traitement tertiaire est alors considéré comme un affinage.

Ces lagunes sont des milieux d'intense activité biologique. La complexité des phénomènes en jeu rend difficile l'intégration de tous les paramètres et les études entreprises jusqu'à maintenant prennent rarement en compte le rôle des différentes associations biologiques dans les processus d'évolution de l'épuration.

Cette étude a pour origine un projet d'installation d'un étang piscicole en aval d'une lagune tertiaire. L'eau devant alors présenter un certain niveau de qualité, l'agence de l'eau Artois-Picardie et la municipalité d'Aniche-Auberchicourt avaient alors demandé un suivi biologique. Par suite d'infiltrations importantes révélées au cours de cette étude, interdisant le maintien d'un niveau suffisant dans les bassins, ce projet n'a pu voir le jour. Actuellement, seul le second bassin reste dévolu aux activités halieutiques mais n'est plus alimenté que par la nappe phréatique.

Notre travail s'est effectué entre juin 1976 et juin 1977. Les résultats initiaux ont fait l'objet d'un rapport de D.E.A. présenté en 1977. Le présent document concerne une analyse plus approfondie des résultats numériques et des traitements statistiques, qui ont rendu possible une description plus fondamentale des processus biologiques en jeu.

Dans une première partie, nous décrirons l'aspect macroscopique de l'expérience, les caractéristiques des bassins, son alimentation et son évolution au long de l'année étudiée.

Puis nous donnerons une description détaillée de l'évolution des descripteurs physiques, chimiques et biologiques choisis, aux quatre stations retenues pour un échantillonnage réalisé au moins une fois par mois.

Dans la troisième partie, nous étudierons la structure du peuplement.

Enfin dans une quatrième partie, nous reprendrons l'ensemble des résultats pour en faire un traitement statistique multivariable destiné à repérer des évolutions covariantes des descripteurs et des tendances indicatrices des processus chimiques et biologiques impliquées dans les différentes manifestations de l'épuration.

Nous concluerons en examinant le caractère généralisable de nos conclusions pour le site analysé.

Le travail de terrain et les analyses chimiques et biologiques ont été faites dans le cadre des activités hydrobiologiques de l'E.R.A. 184 du Professeur VIVIER, sous la conduite de N. ANGELI. Une partie des analyses chimiques a été exécutée par l'Institut Pasteur de Lille (Laboratoire de Mme ERB) et financée par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie. La partie statistique a été réalisée dans le cadre des activités du Laboratoire d'écologie numérique du Professeur FRONTIER, sur l'ordinateur IRIS 80 du Centre de calcul de l'Université de Lille I.

PREMIÈRE PARTIE

GÉNÉRALITÉS ET MÉTHODOLOGIE

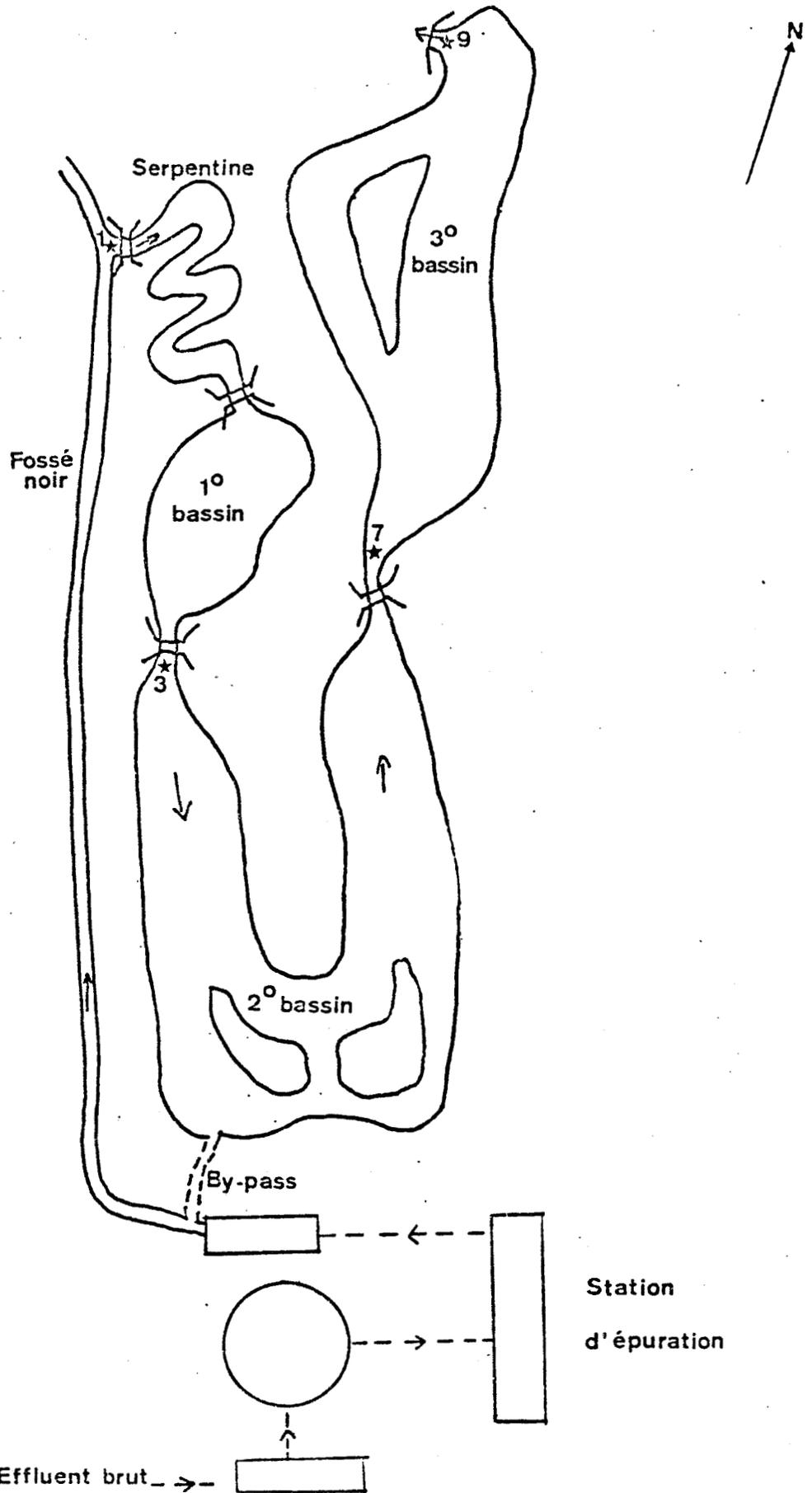


Fig. 1 : PLAN DE LA LAGUNE ET LOCALISATION DES QUATRE POINTS DE PRELEVEMENT (1, 3, 7, 9,).

PREMIÈRE PARTIE

GÉNÉRALITÉS ET MÉTHODOLOGIE

1 - DESCRIPTION DU SITE

1.1. Morphologie

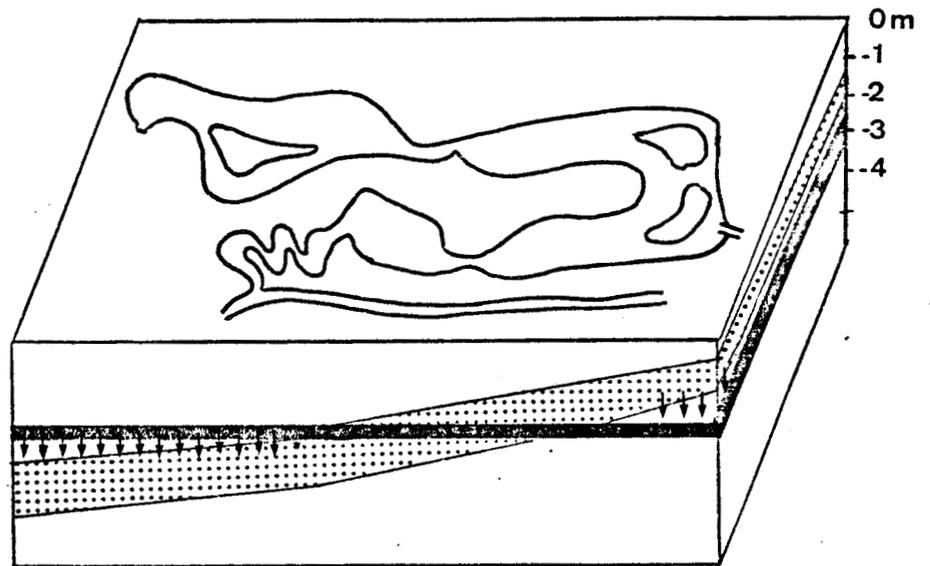
Située en aval d'une station d'épuration compacte prévue pour recevoir 30 000 équivalents-habitants par jour d'eaux usées, la lagune d'Aniche-Auberchicourt devait permettre l'épuration complémentaire des eaux de la station, tout en tenant lieu d'étang piscicole. Cette lagune a été aménagée après excavation d'anciens marais. Elle comprend quatre parties (fig. 1) : en amont, un chenal étroit et sinueux dénommé "serpentine", suivi de trois bassins disposés en série. La superficie totale, de deux hectares, et la longueur totale, de 700 m, se décomposent comme suit :

	Longueur (m)	Surface (m ²)	Volume moyen (m ³)
Serpentine	100	1 263	1 300
1er bassin	75	2 448	2 400
2ème bassin	360	9 762	10 000
3ème bassin	175	6 257	6 200
Total	700	20 000	

La station déverse son eau traitée dans un fossé nommé "fossé noir"⁽¹⁾, dans lequel la serpentine s'alimente grâce à une pompe.

L'extrémité nord de l'étang se situe à la confluence de deux petits cours d'eau, l'un de direction E-W, l'autre N-S, qui se réunissent pour donner le "fossé noir". Le site est une ancienne zone marécageuse basse, dite "le marais"⁽¹⁾ dont le niveau a été artificiellement relevé par remblaiement, et qui est actuellement asséché. La géologie de la zone est donc caractérisée par des remblais récents et des formations alluvionnaires reposant sur le substratum Landénien.

⁽¹⁾ Dénomination de la carte IGN au 1/25 000e).



- Niveau moyen du fond des étangs
- ⋯ Variations de la nappe phréatique

Fig. 2 : BLOC DIAGRAMME MONTRANT LES RELATIONS RECIPROQUES ETANG-NAPPE PHREATIQUE.

La partie sud de l'étang, au contraire, n'appartient pas à cette "vallée". Le terrain y est naturellement plus élevé et on y rencontre les formations classiques dans la région calcaire de l'Ostrevent : une couverture relativement faible d'alluvions et colluvions reposant sur le substratum.

1.2. Alimentation en eau

Lors de la mise en eau, il s'est avéré que, sans alimentation en continu, il était impossible de maintenir un niveau stable. Dans la partie sud, le niveau de l'étang correspond au niveau de la nappe alors que dans la partie nord, il est beaucoup plus élevé (fig. 2). A ce déséquilibre s'ajoute la présence de nombreux terriers de rats musqués dans les flancs des bassins, aggravant l'effet du batillage et favorisant l'effondrement des berges. L'eau peut se réinfiltrer au travers des parois non colmatées de ces terriers.

Une série de sondages (C.E.T.E., 1967) destinés à suivre le niveau de l'eau dans les bassins isolés et non alimentés, a montré que :

- Dans le deuxième bassin, le niveau d'eau reste constant. Il est possible que des pertes s'y produisent dans la partie nord, où la nappe phréatique est vraisemblablement plus basse que l'étang. Ces pertes doivent être compensées dans la partie sud par une réalimentation à partir de la nappe, qui y est plus élevée.

- Dans le troisième bassin, les pertes sont importantes : abaissement de 1,2 cm par jour. Elles peuvent avoir pour origine le décalage de niveaux entre la nappe et l'étang, associé à une mauvaise étanchéité des flancs du bassin dans la partie nord-ouest à cause des terriers de rats musqués et la présence de matériaux de remblai très perméables.

- Dans le premier bassin, les pertes sont très importantes et ont la même origine que précédemment (abaissement de 4 cm/jour), soit une perte d'environ 100 m³/jour, c'est-à-dire 2 à 4 % du volume du bassin.

La pompe d'alimentation de la serpentine, au cours de notre étude, est souvent tombée en panne, entraînant une grande irrégularité dans l'approvisionnement en eau de la lagune par cette voie. Le débit d'entrée dans la lagune était initialement prévu égal à 400 à 500 m³/jour, mais a dû être souvent monté à 1 200 ou 1 500 m³/jour en raison de pertes. Ces fluctuations de débit ont eu pour conséquence une importante variabilité de la hauteur d'eau dans les bassins (1,15 à 1,90 m au point le plus profond). Des "hauts fonds" séparent les bassins et la hauteur minimale constatée au passage entre la serpentine et le premier bassin a été de 0,20 m.

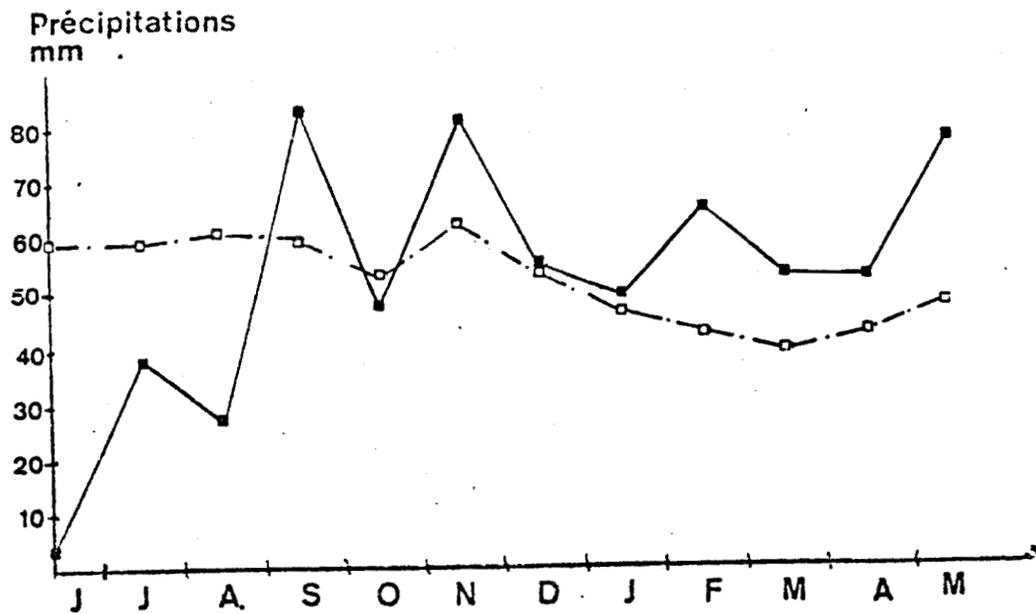
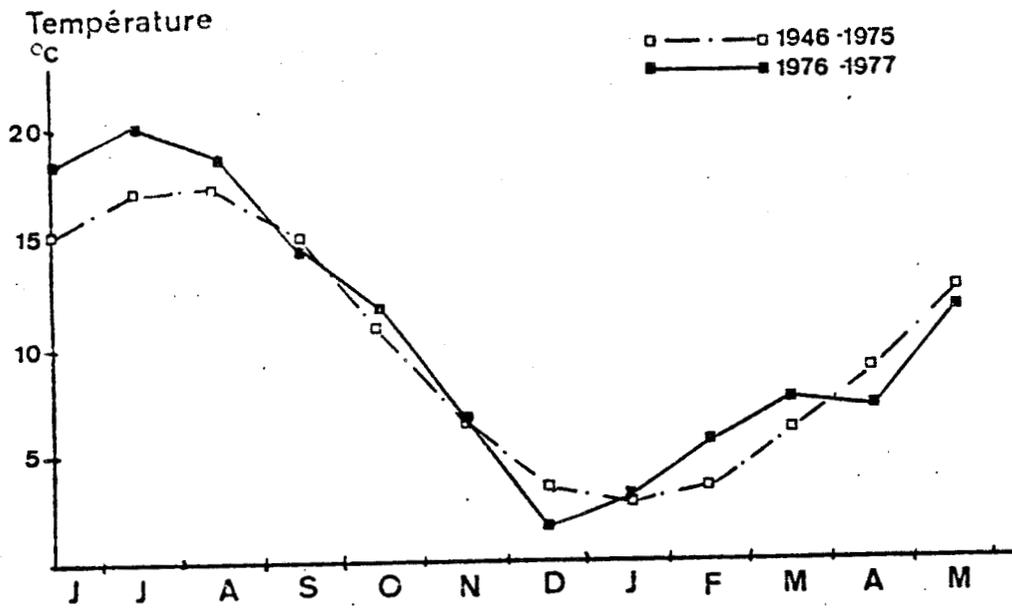


Fig. 3 : DONNEES CLIMATIQUES

(Données communiquées par la station météorologique de Lille-Lesquin).

Nous disposons de peu de données en ce qui concerne le débit de la pompe d'entrée. Il semble que la contribution de la nappe phréatique soit primordiale bien que non quantifiable. Ces ouvrages devaient fonctionner en flux continu avec un temps de séjour constant des eaux à traiter (schéma classique) et l'évacuation aurait dû se réaliser par une buse située dans le dernier bassin mais celle-ci s'est toujours trouvée au dessus du niveau et c'est par infiltration que la totalité de l'évacuation s'est produite. Dans ces conditions, le temps de séjour de la masse d'eau dans les bassins est toujours resté inconnu, et l'interprétation des résultats d'analyses devra se passer de ce paramètre.

Enfin, du 20 janvier au 10 avril, de façon à suppléer les pompes d'alimentation défectueuses depuis quelque temps et pour maintenir un certain niveau de l'eau dans les bassins récemment empoisonnés (550 kg de gardons, 100 kg de carpe et 100 kg de tanches le 23 décembre), un déversement direct de la station dans le deuxième bassin, ou "by-pass" (déversement par gravitation, ne nécessitant pas de pompe) a été installé. L'eau introduite reflue alors aussi bien vers "l'amont" que vers "l'aval".

1.3. Données climatiques (fig. 3)

L'étude relatée concerne la période comprise entre fin juin 1976 et début juin 1977. L'examen des données climatiques fournies par la station météorologique de Lille-Lesquin fait apparaître que les trois premiers prélèvements (fin juin à fin août) ont coïncidé avec une période exceptionnellement chaude et sèche pour la région. Les valeurs de la température dépassent nettement la moyenne établie sur les 30 années précédentes, alors que les précipitations sont nettement inférieures. Cette période est suivie d'une rapide augmentation de pluviosité, les températures restant normales ; ce climat dure jusqu'à novembre. Le reste de l'étude a coïncidé avec des conditions climatiques plus habituelles bien que les précipitations soient restées abondantes.

2 - METHODOLOGIE

2.1. Plan d'échantillonnage

Au cours de l'étude 9 stations ont été prospectées et visitées à des intervalles de temps variables (PARENTY, 1977). Quatre seulement ont fait l'objet d'un échantillonnage périodique : les stations 1, 3, 7 et 9, qui seront seules examinées dans le présent travail.

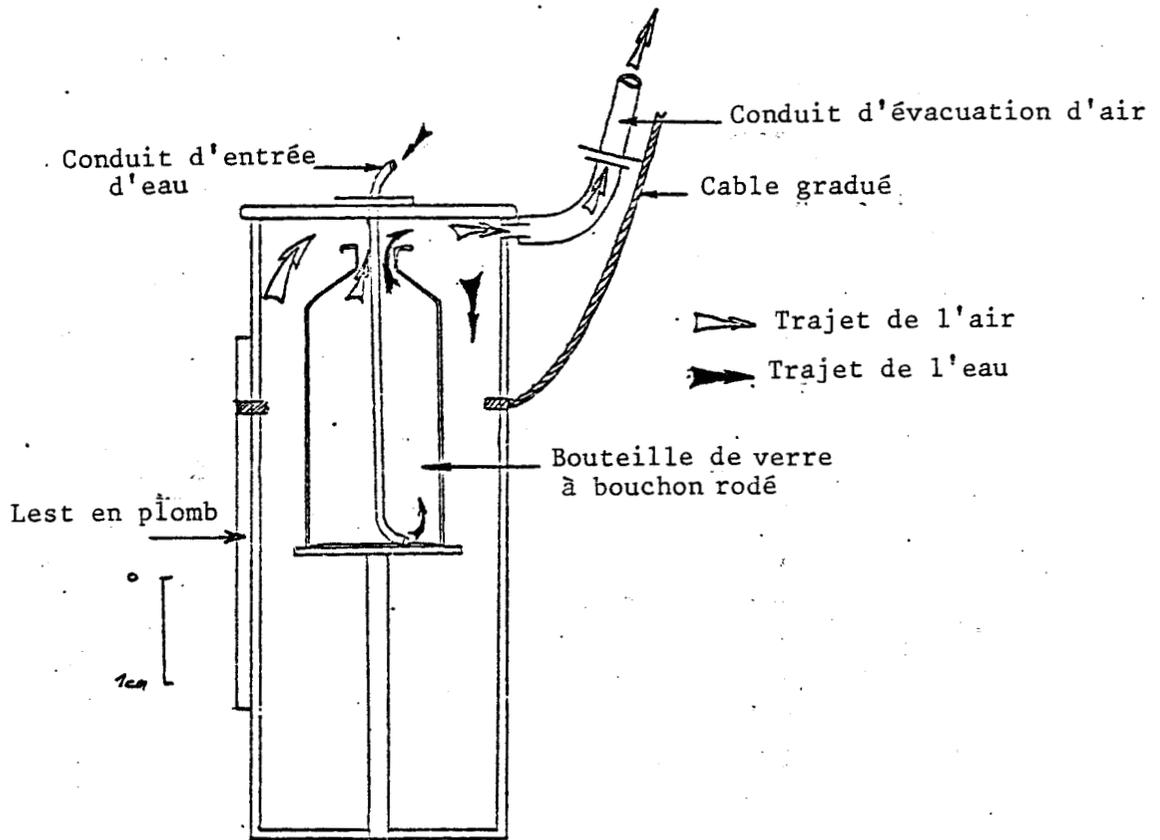


Fig. 4 : ECHANTILLONNEUR D'EAU .
préconisé par les APHA Standard Methods.

La station 1 se situe juste avant l'entrée dans la lagune, au niveau de la pompe, et caractérise les eaux en provenance de la station d'épuration.

Les stations 2 et 3 sont localisées respectivement à l'entrée du deuxième et du troisième bassins.

La station 4 est en aval des bassins, près de point qui devait servir d'exutoire (voir plus haut).

Ces stations ont été visitées le même jour entre 8 et 12 h sur un rythme mensuel de juin 1976 à juin 1977, bimensuel en mars et avril 1977.

2.2. Prélèvements

Pour les mesures de température, pH et oxygène au Winkler, les prélèvements ont été effectués avec une bouteille fabriquée selon le modèle recommandé par les A P H A Standard Methods (1974) (fig. 4). Cette bouteille, de petite taille, permet l'échantillonnage à des profondeurs précises. D'autre part, un système de triple rinçage et d'évacuation des gaz permet d'éviter les contaminations et les perturbations consécutives à la remontée des bulles d'air lors du remplissage.

Pour les autres descripteurs, un échantillon moyen de 20 litres est constitué en chaque point à partir de 4 prélèvements successifs faits à l'aide d'une bouteille de type "Van Dorn" de 5 litres. La taille de cette bouteille, haute de 80 cm, a l'avantage d'échantillonner une bonne partie de la colonne d'eau à chaque prélèvement.

Cet échantillon est homogénéisé, puis réparti en plusieurs flacons : ceux destinés aux analyses chimiques et bactériologiques sont mis aussitôt à l'obscurité en glacière ; ceux destinés à l'étude du zooplancton sont fixés par un ajout de 5 % de formol filtré et neutralisé.

2.3. Mesures sur le terrain

Quelques paramètres sont mesurés aussitôt :

. La température de l'eau est mesurée en plongeant un thermomètre gradué au 1/10° de degré dans la bouteille de prélèvement.

. La transparence est estimée à l'aide d'un disque de Secchi de 30 cm de diamètre.

. Le pH est mesuré avec un pHmètre électrique portatif modèle Radiometer ayant une correction automatique de température.

. L'oxygène dissous est dosé avec un oxymètre portatif de type VTW OXY56. La méthode de Winkler (CARPENTER, 1965) a en outre été utilisée en cas de fonctionnement défectueux de l'oxymètre.

Les appareils électriques (pHmètre et oxymètre) sont réétalonnés à chaque sortie.

2.4. Mesures en laboratoire

2.4.1. Mesures effectuées par l'Institut Pasteur

Les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO5), la demande chimique en oxygène (DCO), les différentes formes d'azote minéral (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-), les orthophosphates (PO_4^{---}), les sulfates (SO_4^{--}), les chlorures (Cl^-), les germes totaux, les coliformes totaux et *Escherichia coli* ont été recherchés par l'Institut Pasteur de Lille.

2.4.2. Pigments chlorophylliens

Nous avons complété ces données par la mesure des pigments chlorophylliens selon la méthode de STRICKLAND et PARSONS (1972). Dès le retour au laboratoire, les échantillons sont filtrés (sous vide partiel de 45 cm de Hg) à l'abri de la lumière sur filtre millipore 0.45 μ ou sur filtre Watman GF/C (à partir du 23.11.76). Ces derniers présentant l'avantage de diminuer la turbidité résiduelle des échantillons. L'addition de 100 cc d'une suspension de MgCO_3 évite l'acidification de l'extrait et la dégradation de la chlorophylle en phaeophytine. Les filtres sont ensuite entreposés à -20°C jusqu'au moment de l'extraction acétonique.

L'extraction des pigments est faite à la température du laboratoire et à l'abri de la lumière par addition de 10 ml d'acétone à 90 %. Une sonication de 30 sec permet de réduire la durée d'extraction à 2 heures. Après centrifugation à 7 000 tours/minute pendant 20 min, les mesures sont effectuées sur un spectrophotomètre "BECKMAN D 24" à double faisceau. L'absorption est lue aux longueurs d'onde suivantes : 430, 480, 630, 645, 665 et 750 nm.

Pour le calcul de la chlorophylle nous avons retenu les équations SCOR/UNESCO :

$$\text{Chl a (mg/m}^3\text{)} = 11.64 e_{665} - 2.16 e_{645} + 0.10 E_{630}$$

$$\text{Chl b (mg/m}^3\text{)} = - 3.94 e_{665} + 20.97 e_{645} - 3.66 e_{630}$$

$$\text{Chl c (mg/m}^3\text{)} = - 5.53 e_{665} - 14.81 e_{645} + 54.22 e_{630}$$

L'estimation des teneurs en caroténoïdes est faite à l'aide de la formule proposée dans l'ouvrage du programme biologique international sur la productivité primaire, formule proposée pour un phytoplancton à prédominance de chlorophycées (ce qui semble le cas dans "nos" étangs) :

$$c \text{ (mg/m}^3\text{)} = 4 e_{480}$$

La complexité structurale du système pigmentaire qui va de pair avec la maturité de la population est estimée par l'indice de diversité pigmentaire (MARGALEFF, 1960) et se calcule par la formule suivante :

$$I = \frac{e_{430}}{e_{665}}$$

2.4.3. Zooplancton

Cette étude a été effectuée par dénombrements directs et par estimation de la biomasse.

■ Dénombrements directs

Pour les Protozoaires, les Rotifères et les Nématodes, après avoir homogénéisé les échantillons récoltés, des quantités variables (0,25 l à 1 l) sont filtrées sur soie à bluter de 35 μ de vide de maille, concentrés et mis à sédimenter plusieurs heures dans des chambres combinées avant l'examen au microscope inversé selon la technique d'UTHERMOHL (1958).

Pour les Cladocères et les Copépodes, des échantillons de 10 litres préalablement concentrés sont placés sous un mince film d'eau dans des cuves DOLFUSS, cuves dont le fond, muni d'un quadrillage en relief de 200 compartiments de 5x5 mm, facilite le comptage.

■ Estimation de la biomasse

Les contours des diverses espèces dénombrées ont été dessinés à la chambre claire (une vingtaine de profils étant dessinés pour chaque forme) et les surface moyennes intégrées à l'aide d'un planimètre. Le biovolume a ensuite été assimilé à celui d'une sphère dont le rayon développe un cercle de surface égale à la moyenne des surfaces mesurées. Puisque la densité des organismes est voisine de 1, ce nombre représente aussi la biomasse.

Cette méthode n'est qu'une approche grossière de la biomasse réelle, mais semble suffisante en regard de l'imprécision existant sur les dénombrements directs : erreur au moment de l'échantillonnage

qui néglige la répartition des espèces dans le milieu, erreur de sous-échantillonnage qui surestime ou sous-estime les espèces rares.

Nous avons retenu pour les différents organismes les valeurs suivantes :

CILIES	<i>Lionotus sp.</i>	4,5 10 ⁻⁵ mg
	<i>Oxytrichidae</i>	1,3 10 ⁻⁴ mg
	<i>Astylozoon sp.</i>	1,8 10 ⁻⁵ mg
	<i>Telotrochidium sp.</i>	1,2 10 ⁻⁴ mg
	<i>Monodinium sp.</i>	7,5 10 ⁻⁵ mg
	<i>Vorticella sp.</i>	2,5 10 ⁻⁵ mg
	<i>Paramecium sp.</i>	7,5 10 ⁻⁵ mg
	<i>Chilodonella sp.</i>	4,2 10 ⁻⁵ mg
	<i>Colpidium sp.</i>	8,1 10 ⁻⁵ mg
	<i>Euplotes sp.</i>	5,4 10 ⁻⁶ mg
	Acinétiens	2,0 10 ⁻⁵ mg
ROTIFERES	<i>Rhinoglena frontalis</i>	1,5 10 ⁻³ mg
	<i>Epiphanes senta</i>	3,2 10 ⁻⁴ mg
	<i>Asplanchan sp.</i>	3,4 10 ⁻² mg
	<i>Brachionus urceolaris</i>	2,5 10 ⁻³ mg
	<i>Brachionus rubens</i>	2,4 10 ⁻³ mg
	<i>Brachionus calyciflorus</i>	2,8 10 ⁻³ mg
	<i>Polyarthra vulgaris</i>	4,1 10 ⁻⁴ mg
	<i>Filinia longiseta</i>	1,2 10 ⁻³ mg
	<i>Filinia cornuta</i>	7,8 10 ⁻⁴ mg
Bdelloïdes	1,5 10 ⁻³ mg	
CLADOCERES	<i>Moina macrocopa</i>	1,8 10 ⁻¹ mg
	<i>Daphnia néonate</i>	1,9 10 ⁻¹ mg
	<i>Daphnia juvénile</i>	3,2 10 ⁻¹ mg
	<i>Daphnia adulte mâle</i>	7,8 10 ⁻¹ mg
	<i>Daphnia adulte femelle</i>	18 10 ⁻¹ mg
COPEPODES	Nauplius	4,3 10 ⁻³ mg
	Copépodite	4,9 10 ⁻³ mg
	Adulte	5,3 10 ⁻² mg
NEMATODES		4,2 10 ⁻⁴ mg

DEUXIÈME PARTIE

ÉVOLUTION DES DESCRIPTEURS AUX QUATRE STATIONS RETENUES

DEUXIÈME PARTIE

ÉVOLUTION DES DESCRIPTEURS AUX QUATRE STATIONS RETENUES

Nous envisagerons successivement (1) les descripteurs physico-chimiques et bactériologiques et (2) le plancton. Chacun d'eux fera l'objet d'un suivi comparatif aux quatre stations retenues (1, 3, 7, 9), chaque suivi étant interprété dans la mesure du possible, en fonction du processus général d'épuration et en fonction des principaux évènements survenus au cours de l'année, et dont liste suit :

- 28 juin 1976 : Début de l'étude
(auparavant, des déversements intempestifs de soude avaient entraîné une augmentation de pH de façon assez importante).
- De fin juin au 10 août : Période de sécheresse.
- Septembre : Nombreuses averses.
- Décembre à mi-janvier : Période de très basses-eaux.
- 23 décembre : Apport de poissons dans les 2ème et 3ème bassins (550 kg de Gardon, 100 kg de Tanche, 100 kg de Carpe).
- 20 janvier au 10 avril : Fonctionnement intermittent du by-pass (le 1er prélèvement avec by-pass a eu lieu le 16 février).
- 1er juin : Fin de l'étude.

Il est évident que les variations des divers descripteurs ne pourront trouver leur véritable interprétation que dans le cadre des corrélations qui les lient, cadre que nous aborderons dans la quatrième partie par le moyen d'analyses multivariées.

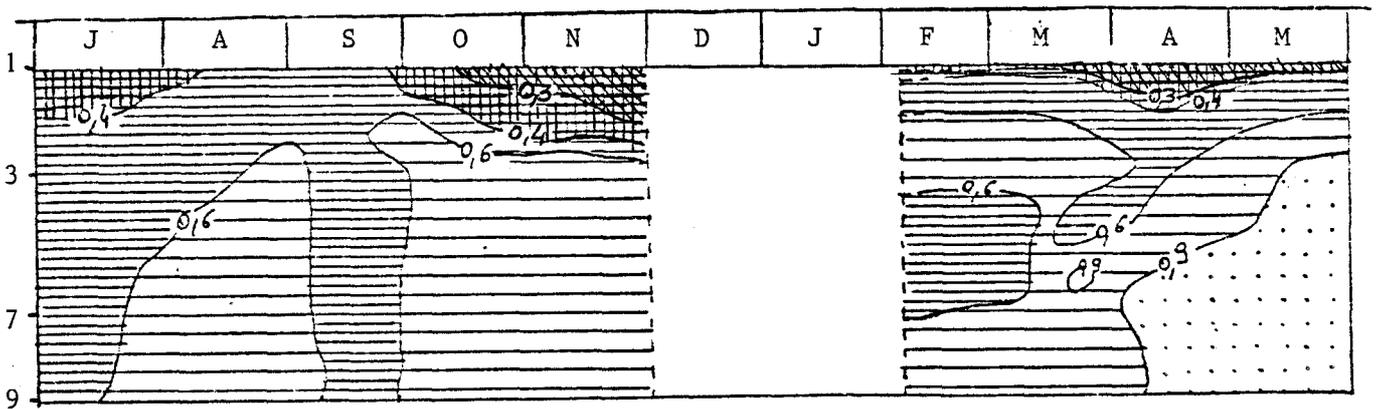


Fig. 5 : EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE LA TRANSPARENCE. (en m.)

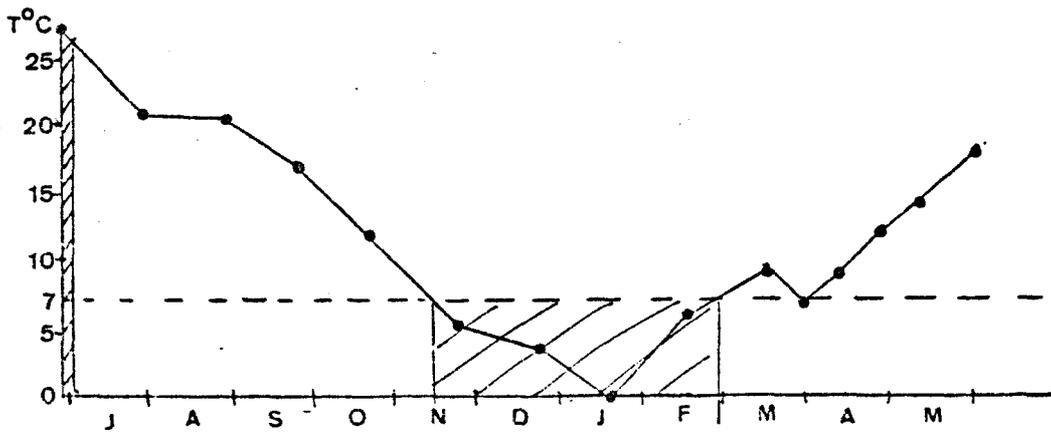


Fig. 6 : EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE LA LAGUNE.

(Moyenne des 3 stations de la lagune. Les zones hachurées sont considérées comme néfastes à une bonne autoépuration).

1 - DESCRIPTEURS PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES

Les données brutes sont rassemblées dans les tableaux 1 à 6 situés en annexe tandis que les figures 5 à 20 montrent l'évolution annuelle de ces descripteurs aux quatre stations étudiées ici. Ces évolutions sont représentées par 2 sortes de diagrammes à deux dimensions sur lesquels sont cartographiés les variations quantitatives : soit en mettant en abscisses les dates et, en ordonnées les positions des stations. Les isolignes sont obtenues par interpolations linéaires entre points observés voisins. Soit en portant en abscisses les dates et en ordonnées les valeurs quantitatives du descripteur étudié. Quatre courbes superposées représentent alors les variations aux quatre stations.

Ces graphiques appellent les commentaires suivants :

1.1. Transparence (fig. 5)

Toujours très faible en amont (maximum 0,35 m), elle augmente sensiblement vers l'aval. On distingue 3 périodes de plus forte turbidité situées respectivement en juillet, septembre et février-mars. La première et la dernière période correspondent à des maxima de chlorophylle a ; la deuxième n'a pas été identifiée.

1.2. Température (fig. 6)

En dehors des mois de septembre 1976 et de mars 1977, on constate une différence sensible entre la température de l'eau d'alimentation et celle du milieu récepteur. Durant la saison chaude, l'effluent de la station d'épuration est nettement plus frais que l'eau séjournant dans la lagune (écart thermique pouvant atteindre plus de 5,5° C), et inversement en période hivernale (différence : 3° C). Ces différences thermiques peuvent avoir pour conséquence un mauvais brassage des eaux à l'entrée. Il est possible que, durant la période la plus chaude, l'eau provenant de la station d'épuration s'écoule directement contre le fond dans la serpentine et dans le premier bassin et que, compte tenu des pertes par infiltration importantes, elle ne pénètre pas dans les autres bassins.

Aucune stratification thermique notable n'a été constatée durant l'année.

D'autre part, si on considère comme le font de nombreux auteurs que pour obtenir une bonne activité épuratoire dans le milieu, la température doit être comprise entre 7° C et 25° C avec un optimum aux alentours de 20° C, on retient pour ces bassins quatre périodes :

- une période estivale de juin à septembre 1976 (température comprise entre 17° C et 30° C), particulièrement favorable à l'épuration.

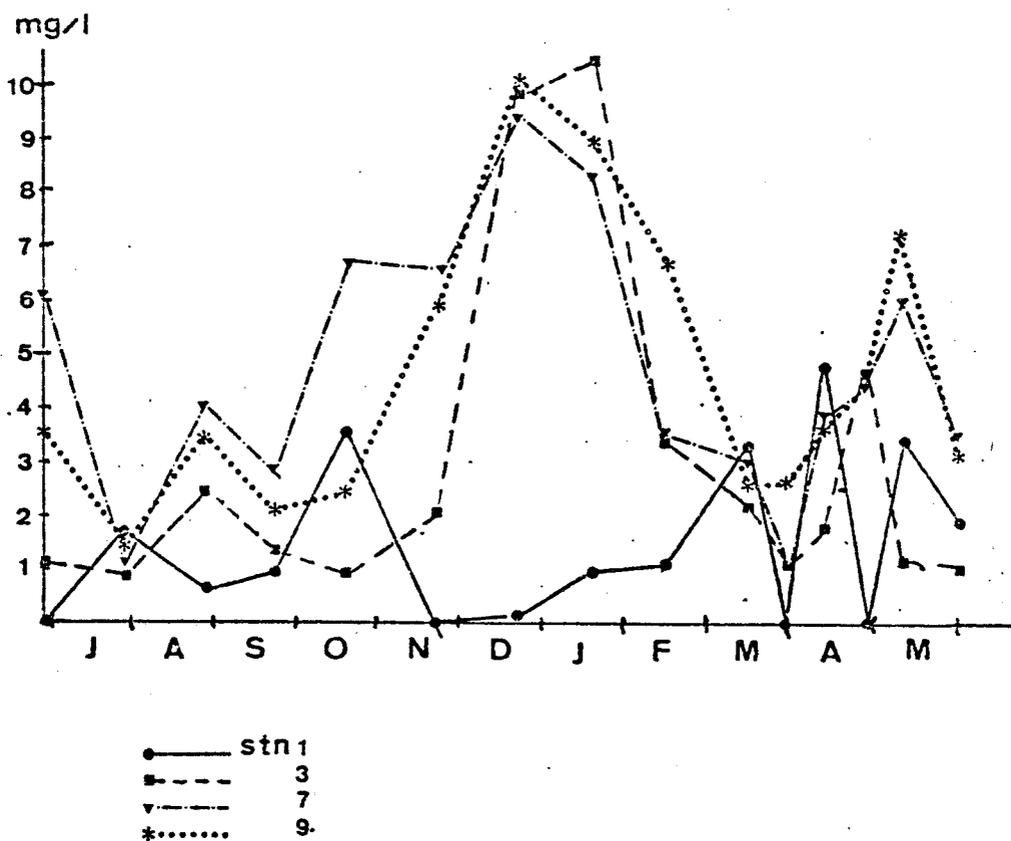


Fig. 7 : EVOLUTION ANNUELLE DE L'OXYGENE AUX QUATRE STATIONS

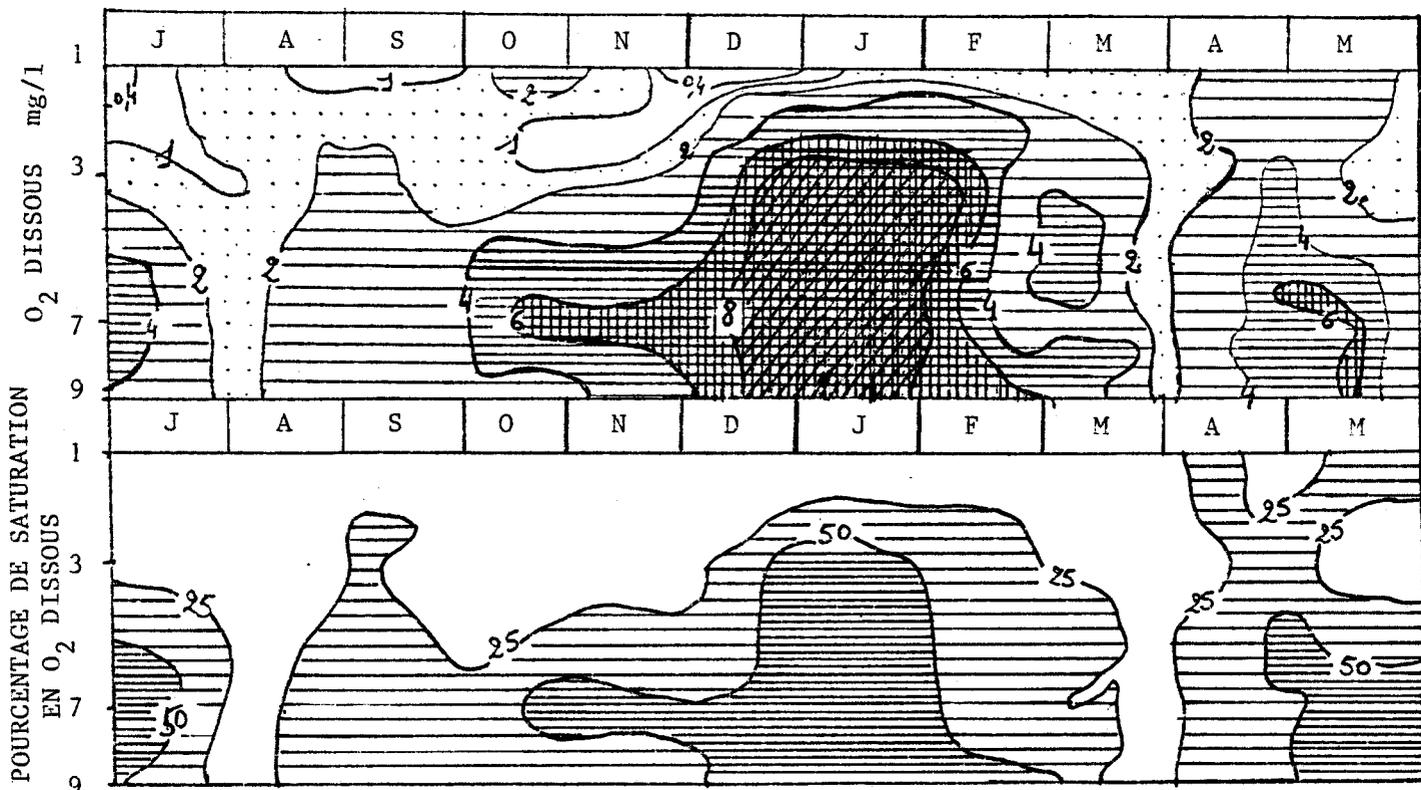


Fig. 8 : EVOLUTIONS SPATIO-TEMPORELLES DE L'OXYGENE DISSOUS ET DU POURCENTAGE DE SATURATION EN OXYGENE.

- après une courte période intermédiaire (octobre), une période hivernale de novembre à janvier où la température est nettement inférieure à 8° C et où les réactions biochimiques sont ralenties ; février est intermédiaire ;

- une période printanière de mars à mi-avril où la température se trouve aux alentours de 10° C, encore peu favorable à l'épuration ;

- une période pré-estivale de mi-avril à juin où la température minimale est de 12° C et la maximale de 19° C correspondant à une reprise possible des processus biochimiques, mais sans atteindre les valeurs de l'été précédent.

1.3. Oxygène dissous (figs 7 et 8)

La teneur en oxygène dissous est un facteur important dans le bon fonctionnement de bassins de lagunage. Contrairement à de nombreuses lagunes où les teneurs des eaux de surface sont très généralement élevées et où des valeurs proches et même dépassant la saturation sont très fréquemment observées, notamment lors de poussées phytoplanctoniques, la lagune étudiée ici est de façon générale déficitaire en oxygène. Bien que les teneurs soient rarement inférieures au mg/l, elles ne dépassent les 4 mg/l qu'en deux périodes : la période hivernale (novembre à janvier) qui correspond à une période de basses-eaux, et le mois de mai à l'extrémité aval de la lagune. Malgré ces valeurs basses on constate un gradient d'oxygénation net d'amont en aval.

Si on se réfère aux abaques de MORTIMER (1956), les pourcentages de saturation en oxygène sont généralement compris entre 25 et 50 % dans les bassins. L'effluent de la station quant à lui reste tout au long de l'année à une valeur inférieure à 25 %. Des valeurs très faibles sont également observées dans la totalité des bassins fin juillet 1976 et en mars 1977 (25 % de saturation).

Ce déficit en oxygène joue certainement un rôle primordial sur le "chimisme" des eaux des bassins, en particulier sur l'évolution des substances azotées et sur le développement d'un certain nombre d'espèces planctoniques : la sélection s'opère en faveur d'espèces peu exigeantes et tolérantes.

1.4. DBO₅ et DCO

La station d'épuration située en amont était prévue pour que l'effluent ait une DBO₅ comprise entre 15 et 20 mg/l, ce qui pour un débit de 400 m³/J⁻¹ aurait correspondu à un apport de 6 à 8 Kg/J de DBO₅.

Apport de DBO
en kg/ha/j.
pour des débits de
400 1500 m³/J

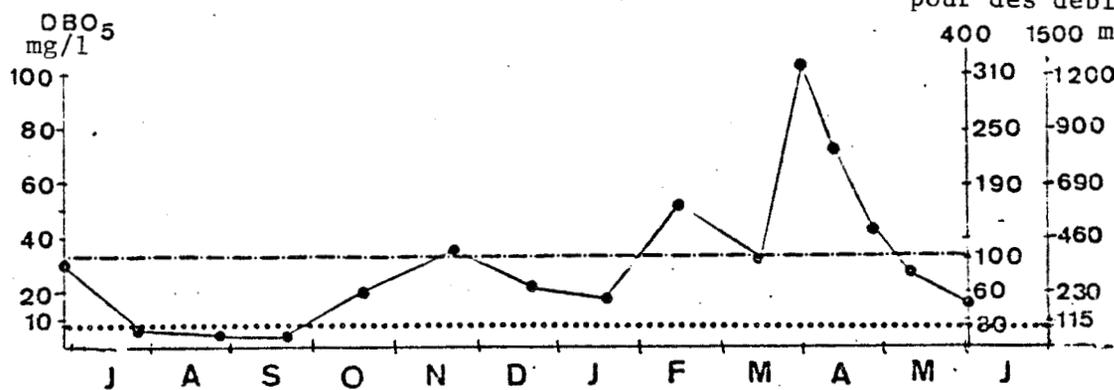


Fig. 9 : CHARGE SUPERFICIELLE DU BASSIN DE TETE.

(Serpentine + I° bassin)

Charge préconisée pour ne pas dépasser 100 kg/ha/j de DBO₅

----- pour un débit de 400 m³/j.

..... pour un débit de 1500 m³/j.

———— Charge estimée

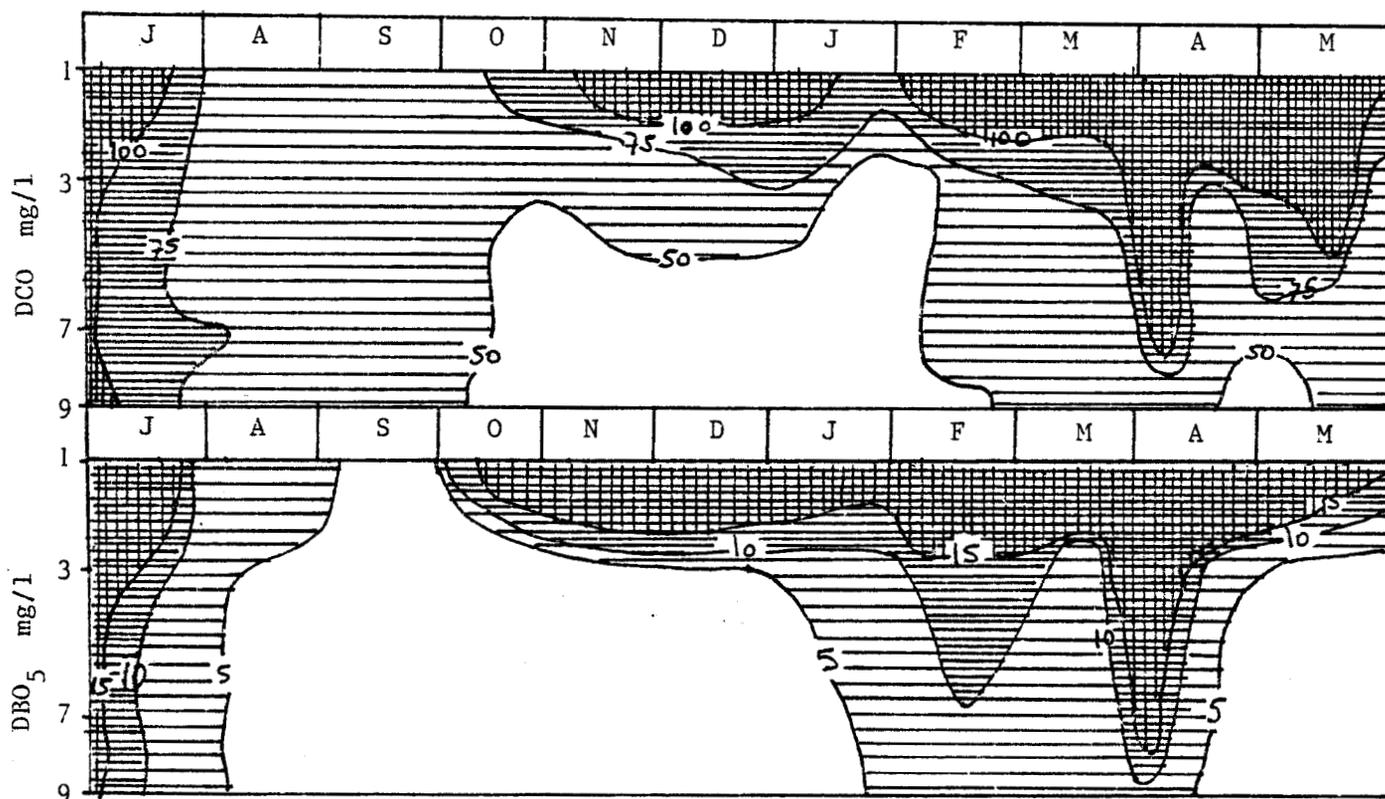


Fig. 10 VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DE LA DBO₅ ET DE LA DCO.

Cet apport représente une charge journalière de 3 à 4 Kg/Ha pour le bassin total (2 Ha), ou de 45 à 65 Kg/Ha rapportés au bassin de tête. En fait, les valeurs que nous avons observées s'étendent à l'intérieur d'une plage beaucoup plus étendue, avec des minima en août et septembre de 6 et 3 mg/l respectivement, et un maximum de 118 mg/l fin mars, la valeur modale étant de l'ordre de 35 mg/l.

Il est à remarquer que bien que l'hydraulique soit un des paramètres essentiels pour le calcul des mises en charge et des rendements, les travaux où ce facteur a pu être utilisé de façon rationnelle sont encore peu nombreux (PALISSON *et al.*, 1981). Pour situer les caractéristiques de cette lagune par rapport à celles citées dans la littérature, nous avons placé sur la figure 9, en regard des valeurs de la DBO du point 1 (alimentation du bassin de tête) les apports appliqués à la serpentine pour des valeurs extrêmes du débit : 400 et 1 500 m³/j. En France et sous climat "moyen", pour les lagunes à microphytes, il est actuellement préconisé (C.T.G.R.E.F., 1980) de ne pas dépasser 100 kg de DBO₅ par hectare et par jour pour le bassin de tête. Dans notre cas, la figure 9 montre que l'apport en DBO est supposé avoir fluctué entre 10 à 40 kg/j et par hectare du bassin de tête l'été, et 350 à 1 300 au début du printemps. De février à mai la serpentine a toujours été en surcharge. Nous allons donc devoir composer, tout au long de cet exposé, avec une incertitude importante sur les facteurs de charge.

La DCO fluctue entre 38 et 445 mg/l. Les mois montrant les plus faibles et les plus fortes valeurs sont les mêmes que pour la DBO. La corrélation entre DBO et DCO est forte (voir chapitre 3), cependant, l'analyse multivariable montrera que l'évolution de ces deux descripteurs est quelque peu différente.

L'évolution de la DBO et de la DCO (fig.10) de l'amont vers l'aval est très nette : quelle que soit la valeur de la DBO en amont, sa valeur à la station aval est toujours faible, souvent inférieure à 7 mg/l, exception faite du mois de juin où l'on constate à la station 9 des valeurs plus élevées qu'à la station précédente. MARAIS (1966) considère qu'une DBO de l'ordre de 2 à 4 mg/l est la valeur minimale qui puisse être obtenue dans les étangs de maturation. Pour DINGES (1982) un effluent est stabilisé dès lors que la DBO est égale ou inférieure à 10. Il semble donc que dans notre lagune, l'épuration soit bien avancée, une DBO résiduelle due aux organismes présents ne pouvant être éliminée.

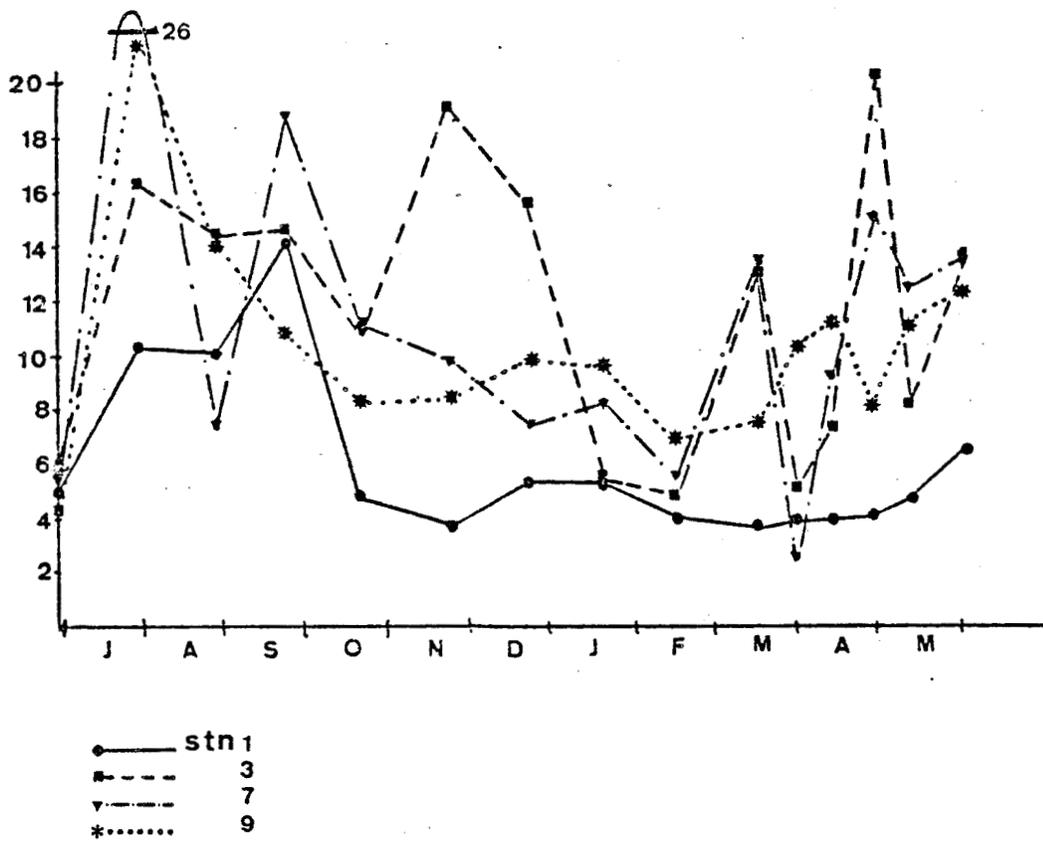


Fig. 11 : EVOLUTION ANNUELLE DU RAPPORT DCO/DBO AUX QUATRE STATIONS.

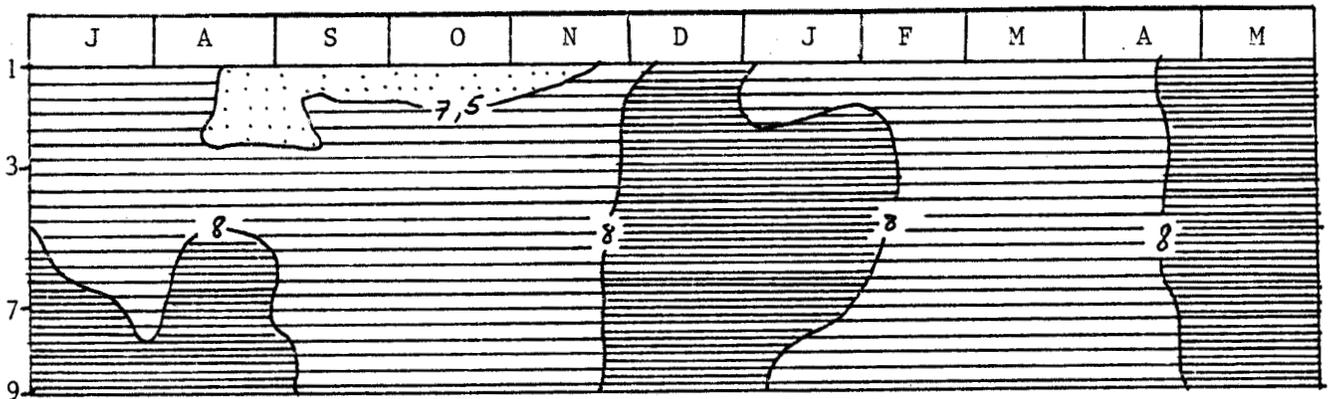


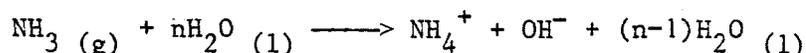
Fig. 12 : VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DU pH

Les variations du rapport DCO/DBO (fig. 11) sont généralement utilisés pour rendre compte des différences de vitesse de dégradation des diverses substances. On considère qu'un effluent de type domestique est caractérisé par un rapport DCO/DBO inférieur ou égal à 2,5. A la sortie de notre station d'épuration, à l'intérieur de laquelle une partie de la matière biodégradable a déjà été transformée, ce rapport est déjà en moyenne de 5,9 ($\pm 3,0$). Ce rapport évolue encore dans la lagune : au point 3 il est de 11,6 en moyenne ($\pm 5,1$), puis il se stabilise et même diminue légèrement. Aux points 7 et 9 il est respectivement de 11,0 ($\pm 5,7$) et 10,3 ($\pm 3,2$).

1.5. pH (Figure 12)

Les valeurs ont toutes été prises le matin avant que ne puisse se faire ressentir le plein effet de la photosynthèse algale. Il s'ensuit que, lors des blooms phytoplanctoniques, ce paramètre est fortement sous-estimé. On note dans ces lagunes un caractère alcalin constant : pH variant entre 7,6 et 8, pouvant même atteindre 8,5. En aval, les valeurs sont toujours plus élevées qu'en amont.

Compte tenu de l'importance du pH dans la toxicité de l'ammoniaque, nous avons mis en relation ces deux paramètres. En effet, dans les solutions aqueuses, l'ammoniac non ionisé (NH_3) existe en équilibre avec l'ion ammonium (NH_4^+) et l'ion hydroxyde (OH^-)



Or la toxicité de l'ammoniaque est attribuée au type chimique NH_3 alors que la forme NH_4^+ est considérée comme beaucoup moins toxique (WUHRMANN et WOKER, 1948 ; TABATA, 1962). Dès que le pH s'élève de quelques dixièmes d'unités, le rapport NH_3/NH_4 augmente de façon considérable (Fig. 13) à un taux dépendant de la température.

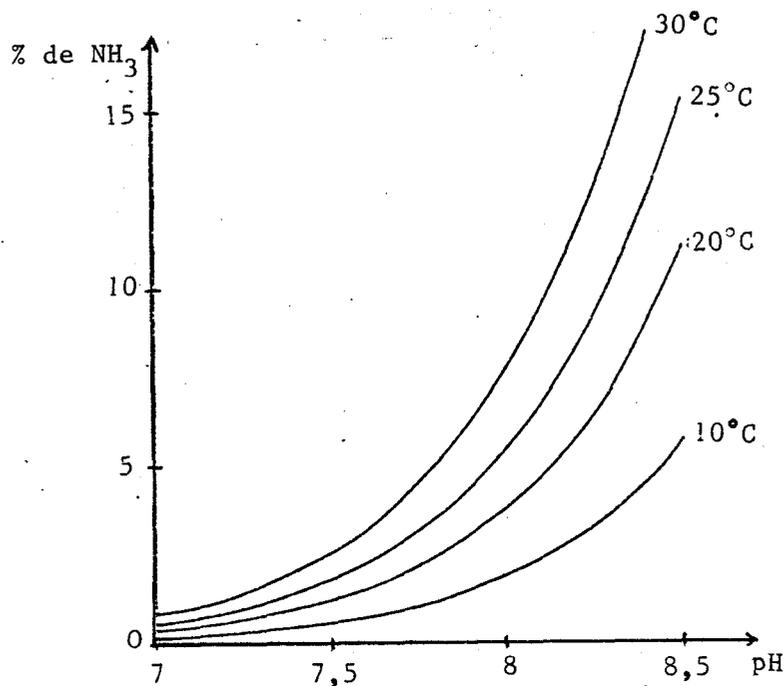


Fig. 13 : POURCENTAGE D'AMMONIUM NON IONISE EN FONCTION
DU pH A 10°C ,20°C ET 30°C
D'après BREMOND et PERRODON,1979

Dans nos observations, nous n'avons pas eu coïncidence entre les valeurs maximales du pH et de l'ammoniaque. Néanmoins nous verrons plus loin qu'à plusieurs reprises nous avons observé des taux de NH₃ incompatibles avec la survie des poissons (les valeurs du pH pouvaient être alors inférieures à 8 unités).

Juste avant le début de notre étude, le pH avait atteint des valeurs de 9 en conséquence d'un déversement de soude par une usine voisine. Cela avait entraîné l'apparition d'un peuplement planctonique résistant vis-à-vis de l'ammoniaque mais réputé moins efficace quant à l'autoépuration : un plancton à *Moira* (DINGES, 1973).

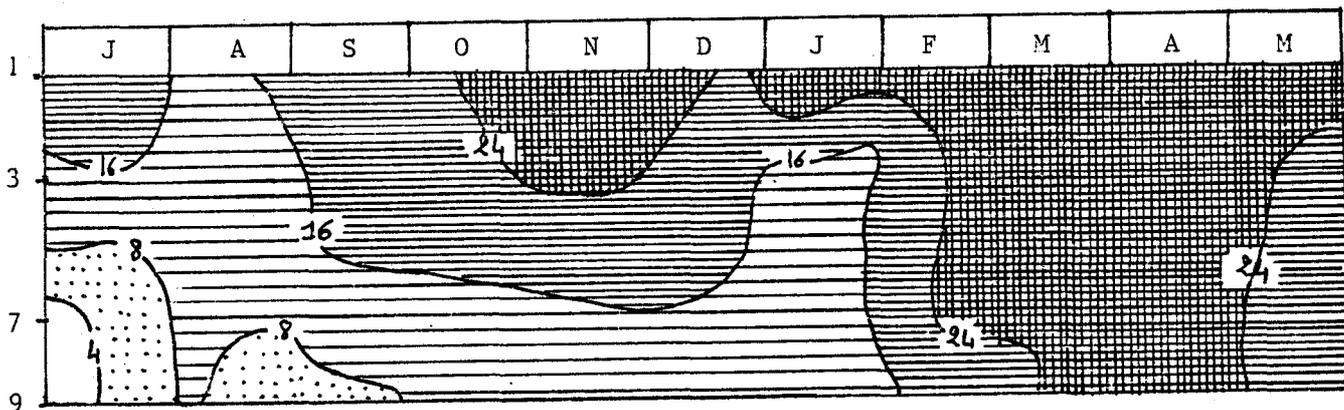


Fig. 14 : VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DES PO_4^{--} (mg/l)

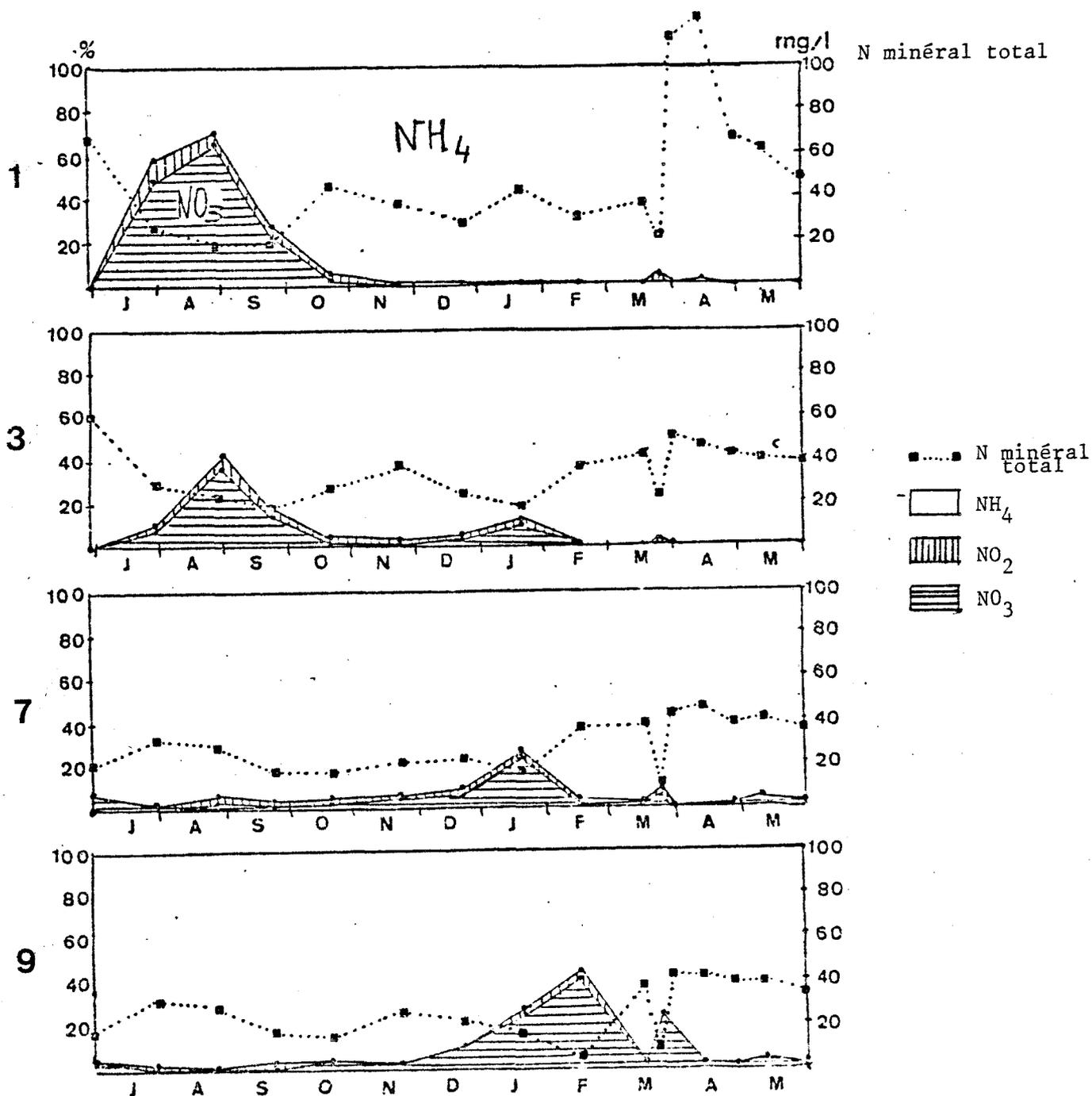


Fig. 15 : % relatif des formes d'azote minéral.

1.6. Les orthophosphates (Fig. 14)

L'étude du phosphore reste assez complexe car une partie seulement se trouve sous forme dissoute, le reste se trouvant sous forme colloïdale ou piégée par les sédiments ; seule la première partie a été étudiée.

Les eaux entrant dans la lagune sont riches en $P-PO_4$: taux souvent supérieurs à 8,3 mg/l. Une bonne diminution amont-aval est constatée toute l'année (24 à 72 % d'élimination), les meilleures performances ayant lieu pendant la période estivale. Cependant, assez paradoxalement, lors de périodes de fortes poussées algales le taux reste élevé.

1.7. Composés azotés (Figs 15 à 18)

Exception faite de la période estivale en amont et hivernale en aval, plus de 90 % de l'azote minéral dissous se trouve sous forme ammoniacale. Bien qu'une forte disparition de l'azote ammoniacal soit observée, ceci ne traduit pas nécessairement une nitrification active car, parallèlement, les teneurs en nitrates et en nitrites diminuent ou augmentent peu.

La figure 15 donne le détail de ces variations. La courbe en pointillé se rapporte aux variations de l'azote minéral total ; les traits pleins indiquent les pourcentages des trois formes d'azote.

En ce qui concerne l'évolution de l'azote minéral total, on voit que le taux moyen diminue régulièrement d'amont en aval. On constate deux périodes singulières : en saison chaude et en période de sous-charge des bassins, le taux demeure assez constant. L'oxygénation très faible du milieu s'accompagne d'une augmentation progressive du pourcentage relatif d'ammoniaque d'amont en aval. Ce n'est qu'en période hivernale (période de basses-eaux et de bonne oxygénation) que l'on observe l'évolution souhaitée : augmentation notable du pourcentage relatif du NO_3 , augmentation qui persiste plusieurs mois durant à la station 9.

La prédominance de la forme ammoniacale est sans doute liée au faible taux d'oxygène, déjà signalé. Selon MORTIMER (1941, 1942), l'oxydation de l'ammoniaque en nitrate est inhibée quand le taux d'oxygène est inférieur à 4 mg/l, seuil rarement dépassé aux deux stations les plus en amont. Dès que le taux d'oxygène est un peu plus élevé (avril, mai, octobre, novembre dans le dernier bassin, et décembre-janvier dans la totalité de la lagune), on constate une augmentation des teneurs en nitrates.

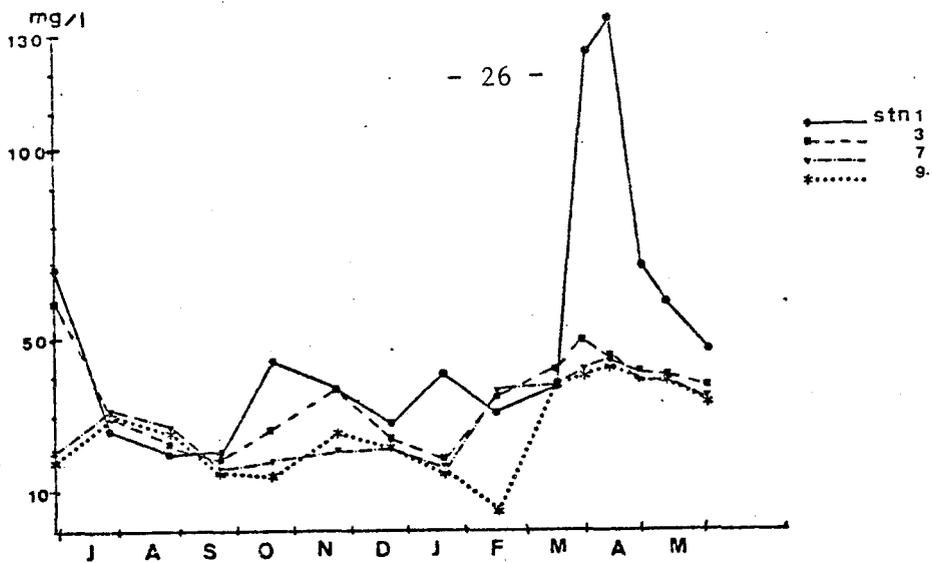


Fig. 16 : EVOLUTION ANNUELLE DE L'AZOTE MINERAL TOTAL AUX QUATRE STATION

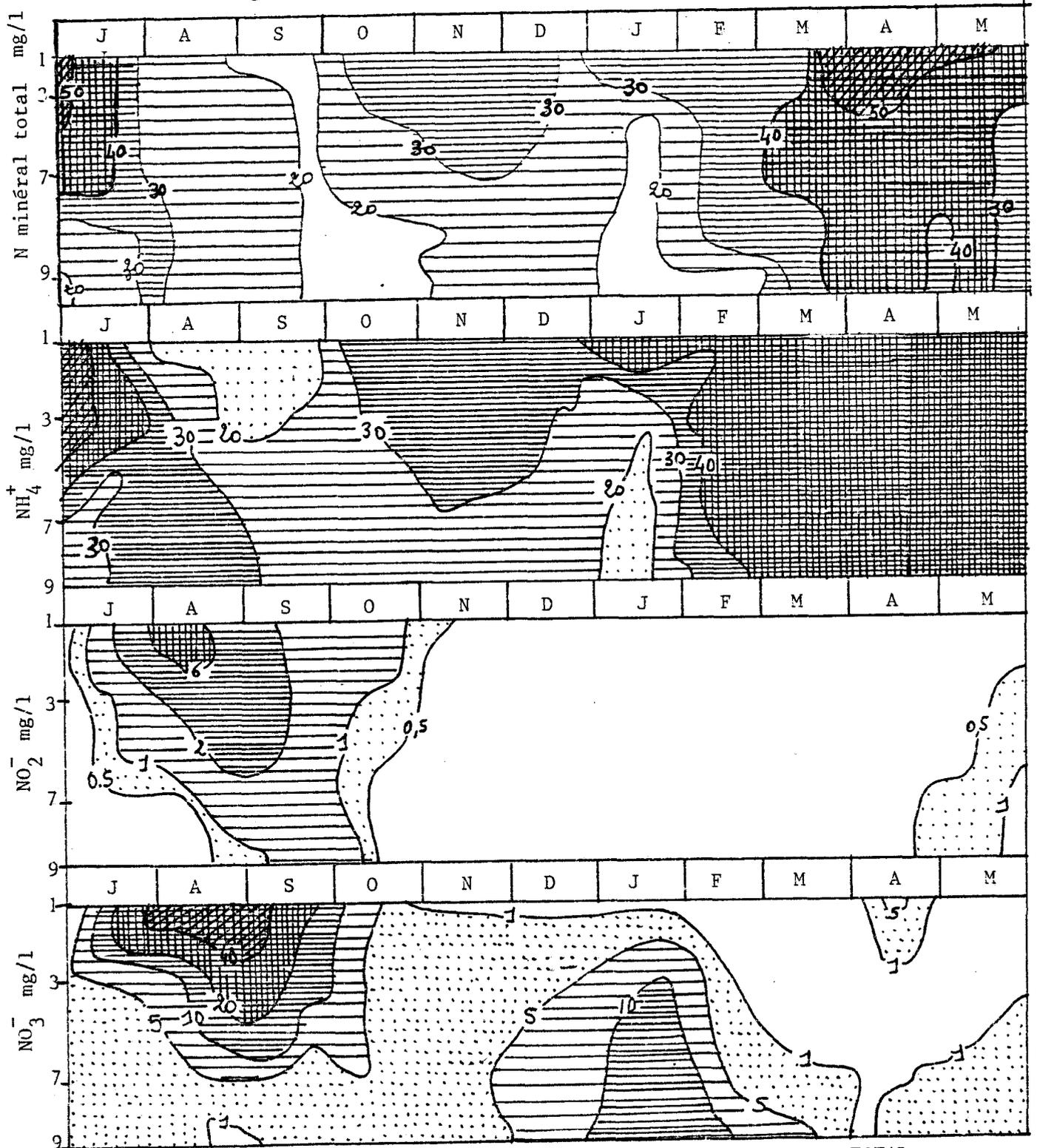


Fig. 17 : VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DE L'AZOTE MINERAL TOTAL ET DE SES DIFFERENTES FORMES : NH_4^+ ; NO_2^- ; NO_3^- .

De novembre à juin, les teneurs en nitrites ne sont généralement pas plus élevées que celles que l'on s'attend à rencontrer en milieu hypereutrophe (moins de 0,5 mg/l). Par contre aux faibles mises en charge estivales, on observe des taux très élevés en amont (jusqu'à 7,8 mg/l) et un gradient amont-aval fortement accusé. Dans les milieux aquatiques, la teneur en nitrite reste généralement basse. Des accumulations sont cependant notées en présence d'un pH alcalin et d'une grande quantité d'azote ammoniacal non transformé (BEAUPIED, 1980).

Selon GOLTERMAN (1975), le passage de NH_4 en NO_2 est inhibé quand les concentrations en oxygène sont inférieures à 0,4 mg/l, d'où une accumulation possible de nitrites.

Un phénomène similaire est observé pour les nitrites pendant la période de faible mise en charge : (1) des teneurs très élevées en amont avec un passage de moins de 0,5 mg/l en juin à 56,4 mg/l en juillet ; (2) un gradient amont-aval fortement accusé (57,7 à 0,6 mg/l en août) ; (3) un pourcentage relatif des nitrites par rapport aux autres formes passant de 65,6 % à 0,5 % de la station 1 à la station 9. Au contraire, en hiver, on constate un enrichissement progressif de la station 3 à la station 9. Le reste de l'année, les taux d'azote nitrique demeurent faibles.

Quelle que soit la saison, les teneurs en ammoniacale à l'aval des bassins sont rarement inférieures à 20 mg/l, ce qui reste un niveau élevé. Elles présentent trois maxima dans la moitié amont de la lagune, respectivement en juin-juillet, octobre-novembre et mars-avril avec chaque fois un gradient décroissant de l'amont vers l'aval. Lors des deux premiers maxima, on note une corrélation inverse entre NH_4 d'une part, NO_2 et NO_3 d'autre part. En août-septembre, on a un gradient amont-aval croissant pour NH_4 coïncidant pour NO_2 et NO_3 au maximum annuel et à un gradient décroissant. Pendant les mois chauds de 1976 (juillet à septembre), l'ammoniacale traverse la lagune sans modification de taux. En même temps, on constate une forte diminution des nitrites et nitrites (respectivement 75 % et 95 % d'élimination entre l'amont et l'aval). Si les algues ont à leur disposition à la fois du NH_4 et du NO_3 , c'est le NH_4 qui est préférentiellement consommé (FOGG, 1966 ; GOLTERMAN, 1967). Dans notre cas, il est probable que le NH_4 , favorisé par les très faibles teneurs en oxygène durant cette période, soit consommé par le phytoplancton et en même temps régénéré par le zooplancton. GLOYNA (1972) constate dans les lagunes du Texas une dénitrification assez poussée lors de fortes insulations, alors que

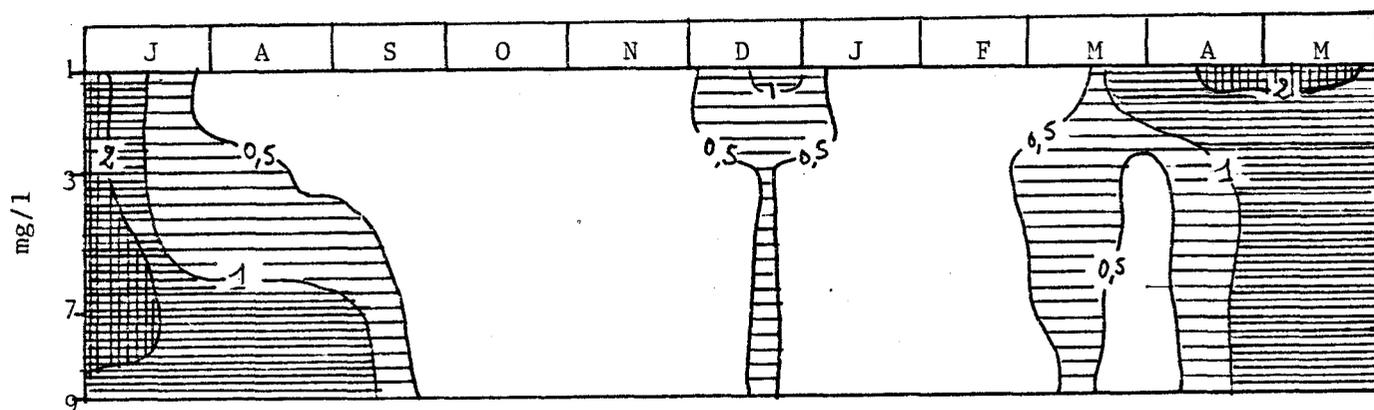


Fig. 18 : EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DU NH₃ NON IONISE.

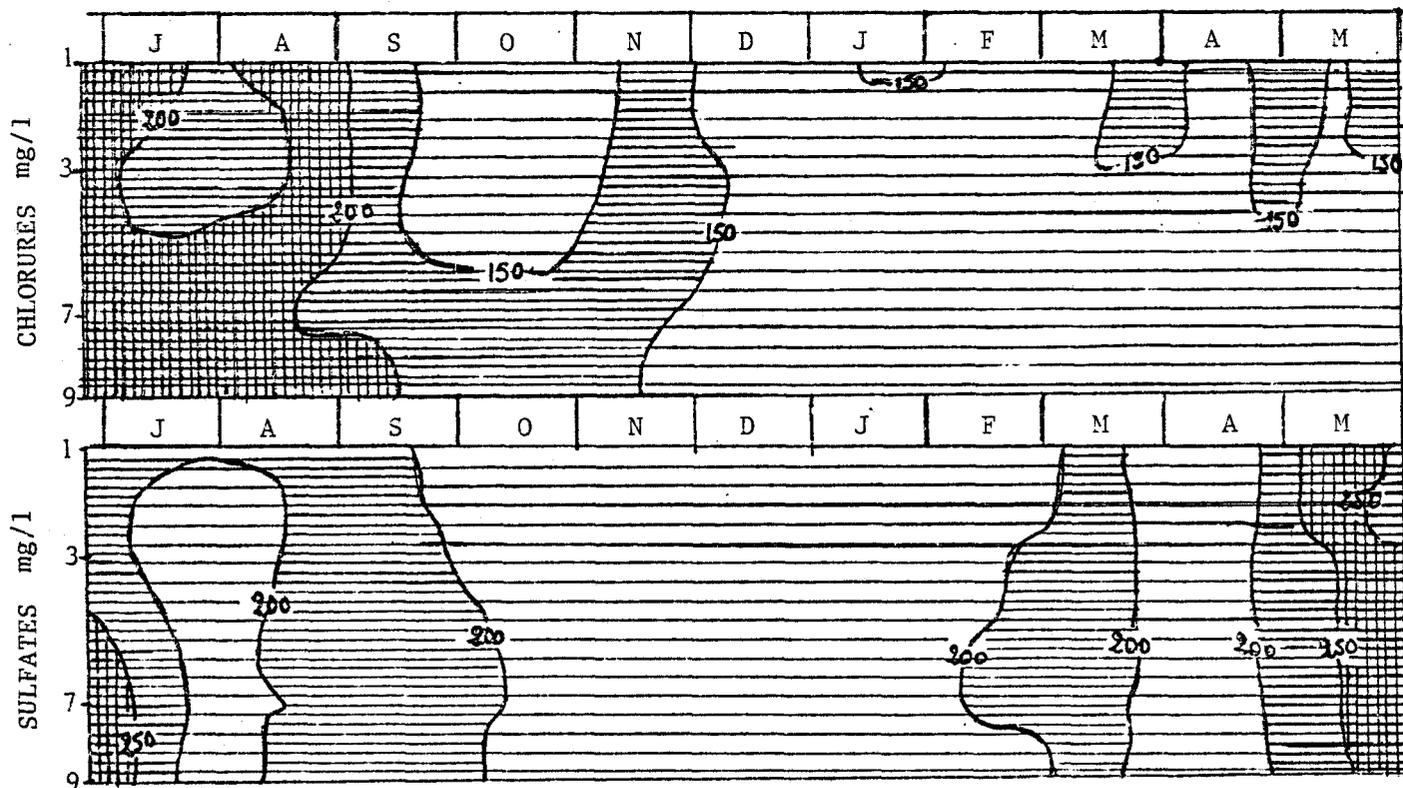


Fig. 19 : EVOLUTIONS SPATIO-TEMPORELLES DES CHLORURES ET DES SULFATES.

la valeur du pH augmente dans les bassins ; il considère alors que des quantités appréciables d'ammoniaque peuvent être libérées à la surface des bassins : il y a libération d'azote gazeux et mobilisation d'ammoniaque en vue de l'élaboration de nouvelles cellules d'algues.

Quand le pH augmente, le NH_4 se désionise et il y a alors apparition de la forme NH_3 considérée comme toxique par de nombreux auteurs. Selon BALL, cité par BAILLY (1976), le seuil de la DL₅₀ pour les poissons blancs varie selon espèces de 0,29 à 0,41 mg/l de N- NH_3 . Au-delà, des effets néfastes sont à craindre. Nous avons donc estimé à partir des taux de NH_4 , du pH et de la température, en utilisant les formules préconisées par EMERSON (1975), la quantité de NH_3 dans notre lagune (Fig. 18). Nous constatons que pendant la saison chaude, les teneurs dépassent très souvent 0,5 mg/l de N- NH_3 et sont souvent supérieures à 1 mg/l. Les mesures effectuées la veille de l'empoisonnement montrent aussi un taux en NH_3 dépassant 0,5 mg/l. Cet ammoniaque provoque des lésions branchiales qui limitent les échanges entre le sang et le milieu extérieur. Il agit également sur les érythrocytes et perturbe ainsi le transport de l'oxygène. Une faible quantité d'oxygène dissous associée potentialise encore l'effet du NH_3 . Il n'est donc pas étonnant que le poisson déversé n'ait pas survécu longtemps dans ce milieu.

1.8. Chlorures et sulfates (Fig. 19)

Ces deux ions que nous considérons ensemble présentent un point commun : étant utilisés par les organismes en quantité infime (oligoéléments), ils évoluent peu dans les lagunes d'épuration. Leurs quantités absolues sont déterminées par le niveau de pollution globale du milieu. Leurs variations relatives sont imputables aux facteurs hydrographiques et climatiques : bilans d'infiltration de la nappe phréatique, bilan d'évaporation/précipitation, etc...

Dans cette étude, les taux de chlorures varient de 82 mg/l à 256 mg/l. C'est dans le "fossé noir" que l'on observe les valeurs extrêmes, pour les trois autres stations, la fourchette des valeurs est plus étroite, les valeurs s'échelonnant de 123 à 230 mg/l.

Les valeurs moyennes sur l'année sont respectivement : 162,3 (\pm 45,8) dans le fossé noir, 153,4 (\pm 26,9) à la station 3, 157,2 (\pm 28,2) à la station 7 et 161,7 (\pm 35,5) à la station 9.

Les mois les plus chargés en chlorures sont les mois de juin 1976, juillet et août, quelle que soit la station étudiée. Ces valeurs se font ressentir plus longtemps en aval jusqu'en septembre à la station 7 et jusqu'en octobre à la station 9.

Il faut remarquer que, si ces mois correspondent aux mois les plus chauds, ce sont aussi les mois les plus secs : l'évaporation augmente la teneur en chlorures.

C'est aussi dans le "fossé noir" que l'on trouve les charges extrêmes en sulfates : 110 et 346 mg/l. Les taux moyens pour chaque station sont respectivement, d'amont en aval : 192,5 (\pm 40,1), 196,2 (\pm 40,1), 211,7 (\pm 44,9), 200,7 (\pm 45,7). Les mois les plus chargés sont aussi les mois de juin, août et septembre 1976. Le mois de juillet fait exception en ne montrant pas de très forte charge en sulfates alors qu'on trouve un taux important de chlorures.

Le contenu des eaux en sulfates est assez élevé mais dans les régions minières (mines de charbon) il n'est pas rare de constater un enrichissement en sulfates lié à l'oxydation des sulfures contenus dans les schistes ramenés à la surface.

1.9. Bactériologie (Fig. 20 et tableau 1)

Dans la littérature, l'efficacité du lagunage comme système d'élimination des germes de contamination fécale est largement évoquée. STANDER et MEIRING (1962) ont clairement établi la valeur des bassins de maturation comme tampon contre la pollution bactérienne de l'environnement : "Bien qu'un abaissement du nombre d'*E. coli* d'origine fécale à zéro pour 100 ml ne puisse pas toujours être réalisé dans les bassins de maturation, le degré de sécurité qui peut être obtenu est comparable à celui que donne, en pratique, la chloration d'un effluent filtré sur sable". D'autre part, de nombreux travaux ont montré que les bassins d'épuration tertiaire sont particulièrement efficaces pour l'élimination des *E. coli* d'origine fécale (WINDLE TAYLOR, 1965 ; DREWS, 1966).

En fait, la plupart des bactéries pathogènes sont incapables de se multiplier en dehors de l'organisme humain et, dans la plupart des cas, elles disparaissent peu à peu quand elles sont exposées aux conditions hostiles du milieu que constitue l'installation d'un traitement biologique (GLOYNA, 1972). Ces germes constituent alors une proie facile ou un substrat idéal pour d'autres organismes (LECLERC, 1981).

Les facteurs de la réduction bactérienne ont fait l'objet de nombreuses études (FITZGERALD et ROHLICH, 1958 ; POST, 1970 ; GLOYNA, 1972 ; WALKER et LECLERC, 1973). On peut en énumérer les principaux :

- . dilution et brassage ;
- . agglutination et fixation sur des matières particulaires qui finissent par se déposer ;
- . prédation : les bactéries présentes font partie de la chaîne alimentaire biologique et sont consommées en grand nombre par les Protozoaires et autres organismes filtreurs ;
- . température : les bactéries survivent d'autant mieux que les températures sont basses, aussi longtemps du moins que l'on ne descend pas au-dessous de 12°C. Les prédateurs, quant à eux, se multiplient plus rapidement aux températures élevées et, dès lors, réduisent le nombre de bactéries plus rapidement ;
- . ressources nutritives : beaucoup de bactéries d'origine fécale ont besoin de sources organiques de carbone et d'azote. La disponibilité des substances nutritives contrôle le nombre de bactéries ;
- . oxygénation et insolation : dans les bassins à longue durée de rétention et de faible profondeur la lumière solaire (en liaison avec la photosynthèse et avec l'action bactériolytique de certains métabolites algaux comme la chlorelline) et l'aération superficielle contribuent à la réduction bactérienne.

Les facteurs impliqués dans l'étude bactériologique sont nombreux. Les variations spatiales et saisonnières des descripteurs physico-chimiques et biologiques jouent sur la qualité biologique de l'eau et sur le rendement de l'élimination de la charge bactérienne.

Dans notre étude, trois sortes de dénombrements ont été effectuées :

les germes totaux (improprement appelés "totaux" puisqu'ils concernent uniquement les bactéries se développant sur milieu gélosé à 37°C). Il est alors probable que ce descripteur soit sous-estimé d'une à deux unités logarithmiques.

les coliformes totaux qui regroupent des bactéries fécales et des bactéries ubiquistes.

les Escherichia coli, dont l'habitat est exclusivement fécal et qui constituent la majorité des coliformes fécaux.

Ces deux derniers descripteurs expriment souvent l'état sanitaire de l'eau : la réglementation française des baignades en eau

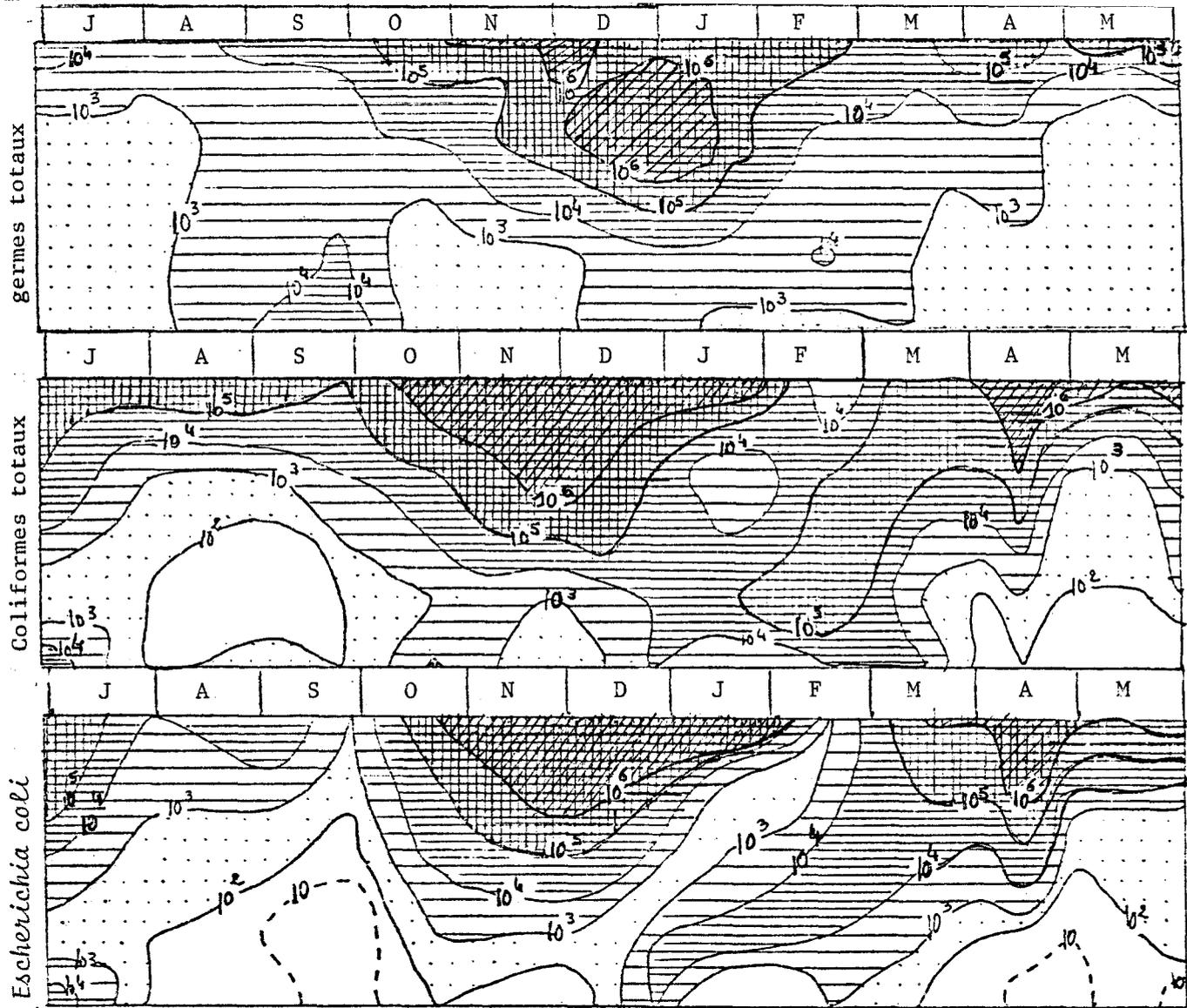


Fig. 20 : EVOLUTIONS SPATIO-TEMPORELLES DES DIFFERENTS GERMES ETUDIES:

germes totaux (cell./ml), coliformes totaux (cell./100 ml)
et *Escherichia coli* (cell./100 ml)

I - Germes totaux

Dates	28.06	05.08	26.08	23.09	20.10	23.11	22.12	17.01	16.02	15.03	31.03	13.04	28.04	11.05	01.06	
taux initial	$3,8 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$	$7,6 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^5$	$5,3 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^5$	$\bar{m} = 5,07$
3	2,1	0,84	0,82	0,32	1,8	0,74	1,9	-0,15	1,6	1,0	2,0	1,5	2,4	3,9	3,9	1,39
7	2,5	0,59	0,95	0,13	3,7	3,9	1,9	1,7	1,1	1,5	3,4	2,7	2,3	3,4	3,6	2,22
9	2,2	1	0,28	0,64	3,7	3,8	2,1	2,5	1,1	1,5	3,2	2,9	2,5	3,5	3,8	2,32

II - Coliformes totaux

Dates	28.06	05.08	26.08	23.09	20.10	23.11	22.12	17.01	16.02	15.03	31.03	13.04	29.04	11.05	01.06	
taux initial	10^6	10^6	10^6	10^5	10^7	10^7	10^7	10^7	10^3	10^6	10^6	10^7	10^7	10^6	10^7	$\bar{m} = 6,2$
3	1	3	3	1	2	0	2	4	2	1	1	1	4	3	3	1,3
7	4	4	5	3	4	4	3	2	3	3	4	4	5	4	4	3,3
9	1	4	3	3	3	5	3	4	1	2	4	5	6	3	6,4	3,4

III - *Escherichia coli*

Dates	28.06	05.08	26.08	23.09	20.10	23.11	22.12	17.01	16.02	15.03	31.03	13.04	28.04	11.06	01.06	
taux initial	10^6	10^4	10^5	10^3	10^6	10^7	10^7	10^7	10^3	10^6	10^6	10^7	10^6	10^6	10^7	$\bar{m} = 5,7$
3	1	1	2	1	1	1	2	6	1	1	1	1	3	3	4	1,3
7	4	2	4	3	3	4	3	2	1	3	4	4	5	4	4	3,2
9	1	2	3	3	4	6	3	6	0	4	4	6,1	5,7	3	7,6	3,9

Tableau 1 : Taux de réduction des différents germes étudiés aux trois points de la lagune (par rapport à l'entrée) - en unités logarithmiques.

douce exige une teneur en coliformes totaux inférieure à 5 000 cellules par 100 ml alors que la directive moins sévère du Conseil des Communautés Européennes concernant les baignades, aussi bien en eau douce qu'en eau de mer, prescrit pour sa part que les nombres de coliformes totaux ne doivent pas dépasser 10 000 cellules par 100 ml. Excepté pendant le mois de juin 1976, dès que la température dépasse les 10°C, ces basses valeurs sont obtenues dans notre lagune. En revanche pendant la période hivernale, les concentrations en coliformes totaux sont plus élevées et avoisinent les 10 000 cellules par 100 ml.

A l'entrée de la lagune, les dénombrements sont de l'ordre de 10^5 cellules par ml pour les germes totaux et de 10^6 par 100 ml pour les coliformes totaux et les *Escherichia coli*.

Les résultats font apparaître une élimination progressive des différentes espèces en fonction du temps de séjour, mais les vitesses d'élimination sont notablement différentes selon les catégories.

En ce qui concerne les germes totaux, l'abattement observé (exprimé en unités logarithmiques à base 10) est respectivement aux stations 3, 7 et 9, par rapport à la 1, de 1,39, de 2,22 et de 2,32. Il arrive parfois que l'on observe en aval une augmentation de la densité bactérienne par rapport aux stations précédentes. Cette caractéristique peut s'expliquer par la position géographique de la dernière station, qui reçoit les détritits apportés par les vents dominants. Ces détritits stagnent alors, une décomposition secondaire peut y avoir lieu et entraîner pour conséquence une nouvelle prolifération bactérienne. Il semble difficile d'atteindre des valeurs inférieures à 100 cellules par ml, l'efficacité est alors directement liée à la charge bactérienne entrante.

Les évolutions des coliformes et des *Escherichia coli* sont assez voisines. On retrouve des abattements similaires, respectivement 1,8 ; 3,3 ; 34 pour les coliformes et 1,8 ; 3,2 ; 39 pour les *E. coli*. Nous approchons des faits décrits dans la littérature (GLOYNA, 1972 ; LECLERC, 1973) : un taux d'élimination d'*E. coli* plus élevé que celui des coliformes qui, en revanche, dépasse celui correspondant à l'ensemble de la population bactérienne.

Il est à noter que les "bonnes performances" concernant la réduction des germes de contamination fécale (coliformes ou *E. coli*) ne correspondent pas nécessairement à celles des germes totaux. En février par exemple, alors que la réduction des germes totaux est de 2,4 unités logarithmiques, on n'observe aucune réduction des taux de coliformes.

2 - DESCRIPTEURS PLANCTONOLOGIQUES

La première partie de l'étude décrivait le fonctionnement général de l'écosystème lagunaire d'un point de vue physico-chimique.

Si de nombreux phénomènes physiques (décantation, piégeage, évolution dans les sédiments) et chimiques participent à l'épuration, l'édifice biologique a aussi un rôle en transformant et assimilant par incorporation à sa propre biomasse une fraction des apports polluants. Une meilleure connaissance des capacités d'épuration des diverses associations planctoniques pourrait permettre de modifier (dans la mesure où cela est possible) les conditions ambiantes de façon à "gérer" le développement des associations par le jeu soit de la prédation, soit de la compétition.

La structure d'un peuplement planctonique dépend de l'interaction de deux processus :

- d'une part, du statut trophique de l'étang et des conditions climatiques qui déterminent le peuplement primaire puis, par la voie de la chaîne alimentaire et de la compétition, conditionnent les maillons supérieurs ;
- d'autre part, de la prédation (sélective ou non), qui modifie en retour (feed-back) la structure du peuplement, depuis les maillons supérieurs jusqu'aux producteurs.

Ce double jeu contrôlé par les fluctuations physico-chimiques, entraîne une réorganisation permanente de la biocénose.

Trois catégories d'organismes sont concernées dans les processus de purification des étangs d'oxydation.

- 1° Les bactéries et les protozoaires saprotrophiques.
- 2° Les algues autotrophes et mixotrophes.
- 3° Les consommateurs de nourriture particulaire (tels que protozoaires, rotifères, cladocères et chironomides).

Seules les deux dernières catégories ont été étudiées ici.

2.1. Le phytoplancton

2.1.1. Incidence du phytoplancton sur le milieu

Le phytoplancton est souvent considéré comme l'élément "clef" de l'épuration. ANGELI (1980) résume brièvement le rôle de l'activité autotrophe du phytoplancton.

En effet, grâce à son activité chlorophyllienne, ce dernier produit l'oxygène nécessaire à sa propre respiration, à celle des autres organismes aérobies et à l'oxydation de la matière organique. Il absorbe les nutriments solubles, que ce soient ceux des eaux usées brutes ou ceux résultant de la décomposition bactérienne. Par ses métabolites, il peut stimuler ou inhiber spécifiquement la croissance bactérienne.

Cependant une trop grande prolifération phytoplanctonique peut entraîner un certain nombre de nuisances : les sursaturations en oxygène sont néfastes aux vertébrés (dégazage dans le sang et embolie) et à certains éléments du plancton (notamment aux cladocères qui, captés en surface par les bulles d'air emprisonnées entre leurs valves, meurent d'inanition). La consommation concomitante de CO₂ entraîne une élévation du pH et modifie les équilibres ioniques (voir problème de la toxicité du NH₃)

Une partie importante des substances fixées par les algues et non consommées par le zooplancton est restituée "post mortem". Les métabolites libérés par les cellules peuvent inhiber la nutrition et la reproduction de certains cladocères, rotifères et copépodes.

D'autre part, dans les milieux déséquilibrés par des apports de substances nutritives minérales ou organiques, la colonisation de la masse d'eau peut se faire par des espèces se développant essentiellement par voie hétérotrophe. Ces algues caractéristiques des eaux polluées peuvent exclure les espèces phytoplanctoniques plus strictement autotrophes et le zooplancton phytophage le plus apte à modérer la croissance algale. Ces algues favorisent alors la fixation d'azote libre N₂ par les bactéries et les cyanophycées. L'auteur remarque dans ses bassins expérimentaux de lagunage que le développement anarchique du phytoplancton entraîne à chaque fois une chute importante du rendement global de l'épuration (épuration bactériologique exceptée), voire une aggravation secondaire de la pollution.

2.1.2. Estimation de la biomasse phytoplanctonique de la lagune

Ce paramètre a été étudié par le biais de la chlorophylle a. Les variations sont illustrées dans les figures 21 et 22. Les valeurs maximales ont été observées durant le mois exceptionnellement chaud de juin 1976 alors que les bassins étaient colonisés par une petite espèce de Cladocère : *Moina macrocopa* et que *Daphnia magna*

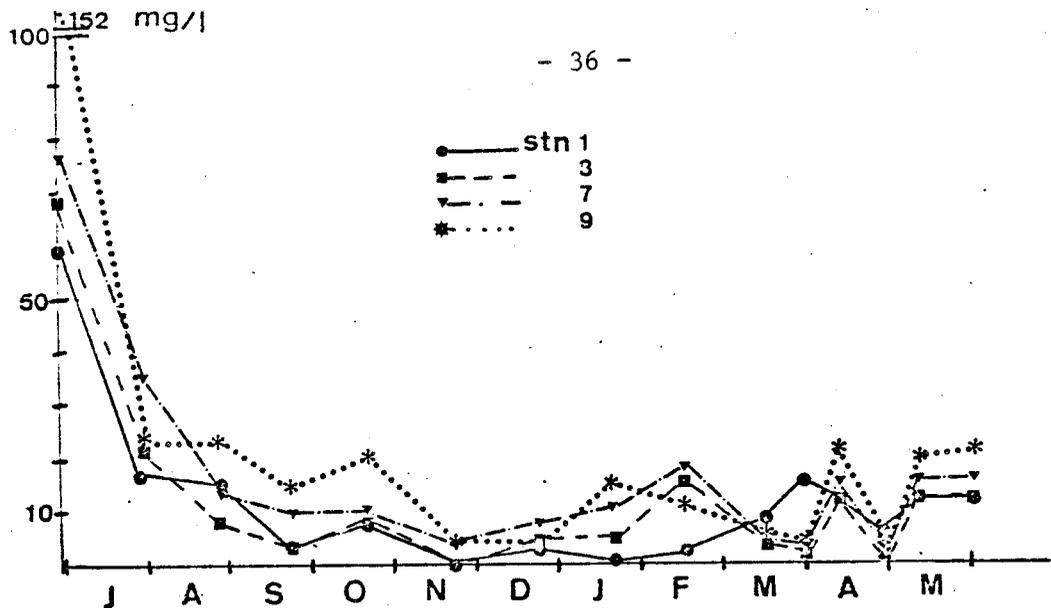


Fig. 21 : EVOLUTION ANNUELLE DE LA CHLOROPHYLLE a AUX QUATRE STATIONS.

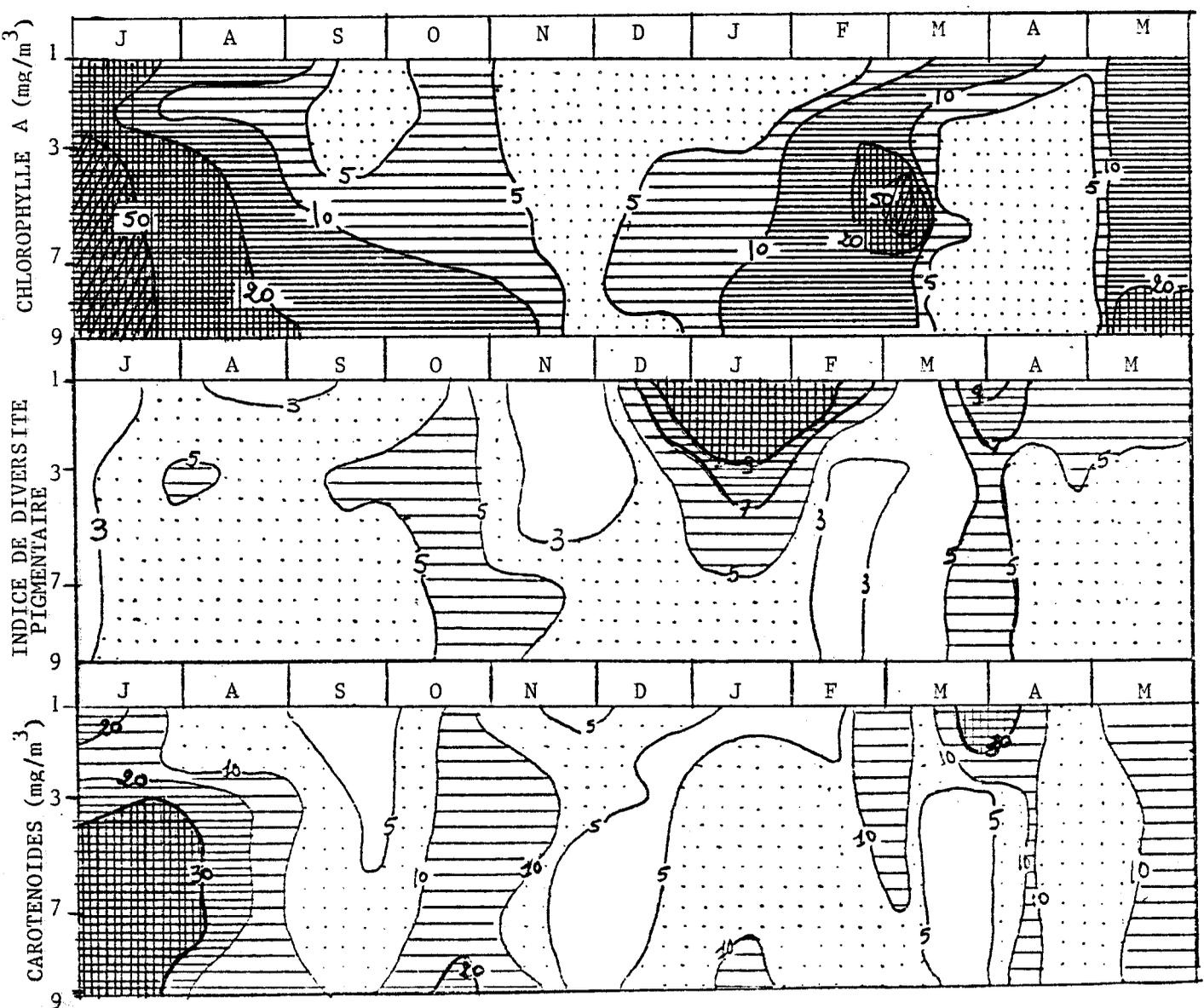


Fig. 22 : VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DE LA CHLOROPHYLLE A, DES CAROTENOIDES ET DE L'INDICE DE DIVERSITE PIGMENTAIRE.

était presque totalement absente. Le taux de chlorophylle a a atteint alors 150 mg/m^3 . Un autre pic très bref fut aperçu le 8 mars (80 à 90 mg/m^3). En juillet, malgré les fortes densités de daphnies, les taux oscillent entre 20 et 30 mg/m^3 . Le reste de l'année, les valeurs sont faibles et varient de 5 à 15 mg/m^3 . Eu égard à la richesse du milieu en nutriments, les eaux de cette lagune sont relativement pauvres en pigments. Ce paradoxe apparent peut s'expliquer en fait par la très forte pression prédatrice que les grands filtreurs crustacéens sont à même d'exercer. Les variations spatio-temporelles des caroténoïdes et de l'indice de diversité pigmentaire sont illustrées dans le graphe 22. L'évolution des caroténoïdes suit de très près celle de la chlorophylle a tandis que les valeurs de l'indice de diversité pigmentaire évoluent en sens contraire.

MEIER (1929) considère qu'une accumulation de caroténoïdes est l'indice d'une nutrition déficiente. Quand une culture devient sénile et que la capacité nutritive du milieu est utilisée, les cellules accumulent des caroténoïdes. Selon MARGALEF (1960), le vieillissement et le ralentissement de la multiplication se reflètent en une incrémentation de la quantité relative de caroténoïdes en même temps que la quantité totale de pigments décroît.

L'indice de diversité pigmentaire est sujet à des biais plus ou moins importants par suite d'interférences avec la chlorophylle b et avec les produits de la dégradation de la chlorophylle a présents dans les cellules sénescents ou les "pelotes fécales" des rotifères et des crustacés (MARGALEF, 1974) ; ces interférences entraînent dans les deux cas une erreur par excès. Ces paramètres sont alors délicats à appréhender et à interpréter dans les milieux tels que cette lagune où la biomasse du zooplancton est de beaucoup supérieure à celle du phytoplancton.

2.2. Le zooplancton

2.2.1. Incidence du zooplancton

La présence du zooplancton dans les bassins de lagunage est fréquemment passée sous silence et son rôle sous-estimé. Depuis quelques années cependant, un certain nombre d'auteurs (GLIWICZ et HILLBRICHT-ILKOWSKA, 1972 ; GLIWICZ, 1975, 1976, 1977 ; ANGELI, 1979 ; UHLMANN, 1981) ont mis l'accent sur l'importance de l'action prédatrice exercée par le zooplancton. Les Ciliés, les Rotifères, les Copépodes et

les Cladocères participent tous plus ou moins activement à l'épuration, que ce soit par le jeu de la floculation (en sécrétant des substances de type muqueux qui fait flocculer les particules en suspension et les bactéries) ou par le jeu de la prédation. Les espèces rencontrées se nourrissent pour la plupart en filtrant les éléments figurés en suspension dans le milieu et participent directement à l'élimination des matières en suspension et de la DBO. La "clarification" du milieu étant alors proportionnelle à la capacité de filtration de la biocénose.

Cependant, une trop grande prolifération zooplanctonique provoque un contrôle très sévère du phytoplancton qui se répercute sur l'oxygénation du milieu et sur le cycle des nutriments (arrêt des processus de nitrification). D'autre part, une partie de l'azote et du phosphore consommés par l'ingestion de cellules algales est restituée au milieu sous forme de NH_4^+ et de PO_4^{--} . Une polémique existe sur les avantages et les inconvénients d'un zooplancton "efficace". On attend généralement d'un bassin de maturation l'élimination des nutriments, une réduction de l'azote organique, des MES, de la DBO, du carbone organique total. Ces transformations ne sont pas réalisables en même temps et en un même endroit: en présence d'un phytoplancton abondant, on obtient l'élimination des nutriments, mais de mauvaises performances au niveau des autres descripteurs (DBO, MES, C organique total) ; lors de fortes prédatations par le zooplancton, on observe une bonne amélioration de la DBO et des MES, mais une mauvaise élimination des nutriments. Il faudrait organiser l'espace-temps de telle façon que les différents "acteurs" de l'épuration puissent être privilégiés à tour de rôle, par exemple en jouant sur la configuration des lagunes : bassins en séquences dont la morphologie et la profondeur permettraient dans un premier temps le développement des algues et l'oxygénation, dans un deuxième temps celui du zooplancton ce qui permettrait l'élimination des algues en excès. Il faudrait ensuite contrôler l'abondance du zooplancton, soit en ajoutant un maillon supplémentaire, poissons à condition qu'ils soient eux-mêmes évacués par la suite ; soit en ajoutant des macrophytes, qui absorberont les nutriments rejetés par le zooplancton, et qui seront par ailleurs régulièrement faucardés ; soit encore en prélevant régulièrement avec un filet le zooplancton de grande taille, régulièrement dans le dernier bassin.

2.2.2. Suivi du peuplement zooplanctonique

Nous allons examiner maintenant les variations d'abondances en fonction des stations et des dates. Le caractère de la masse d'eau devra toujours être présent à l'esprit : les étangs d'oxydation occupent une place transitoire entre les eaux polluées et les eaux saines et on passe rapidement, dans l'espace, d'un type d'écosystème à l'autre. Il s'ensuit que dans un milieu limité, on observe un gradient fortement accusé des caractères écologiques de la masse d'eau ; d'autre part il suffit de peu de choses pour que le gradient se déplace et qu'en un point fixe on passe d'une situation à l'autre, parfois rapidement, ce qui donne une impression d'instabilité. Le potentiel trophique et les variations biochimiques associées influencent la dynamique des populations et, de ce fait, il existe une succession écologique très marquée d'amont en aval.

2.2.2.1. Effectif zooplanctonique total

.....
Les figures 23 à 31 représentent les principales variations quantitatives observées pour le zooplancton.

Le nombre d'individus par litre, toutes espèces confondues, diminue d'amont vers l'aval : en moyenne 16 400 individus par litre à la station 1, 7 900 à la 3, 1 690 à la 7, 478 à la 9. La biomasse, par contre, augmente jusqu'à la station 7 puis diminue : respectivement 1,12 ; 171 ; 291 ; 44,1 mg/l en moyenne.

Le plus fort écart dans le temps est observé à la station 3 : 62 individus par litre en janvier, 103 000 en février. Février est la date où le by-pass a été ouvert et l'incident se traduit par une forte augmentation de la quantité de plancton, mais à des degrés divers selon les stations (70 à 13 200 à la station 7 ; 74 à 814 à la 9) ; cette augmentation ne se traduit pas sur la biomasse.

Une autre période de forte densité zooplanctonique est juin 1976 ; mais à cette époque les grands Cladocères sont rares dans les bassins et l'absence de prédation a pu autoriser le développement des petites espèces.

La figure 23 permet de constater que les variations spatio-temporelles des Cladocères reflètent assez précisément celles du plancton total en ce qui concerne la biomasse : ces Crustacés constituent en effet la plus grande partie de la biomasse, vu leur taille. En revanche, les variations d'abondances en nombre d'individus par litre sont différentes selon les groupes et nous les envisagerons dans ce qui suit.

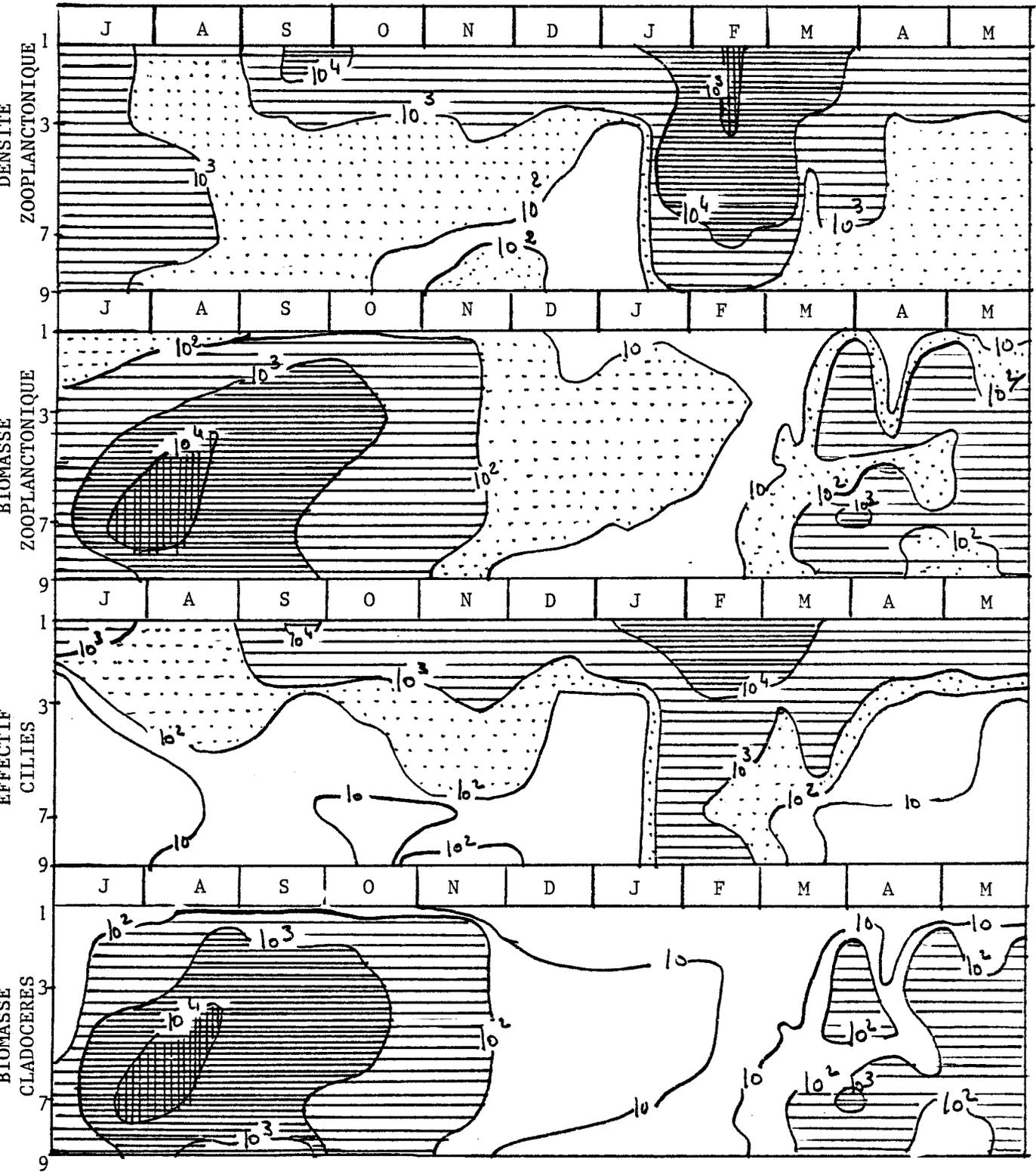


Fig. 23 : VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DE LA DENSITE (ind./l)
ET DE LA BIOMASSE (mg/l) ZOOPLANCTONIQUE.
comparaisons avec les variations spatio-temporelles de la densité
des Ciliés et de la biomasse des Cladocères.



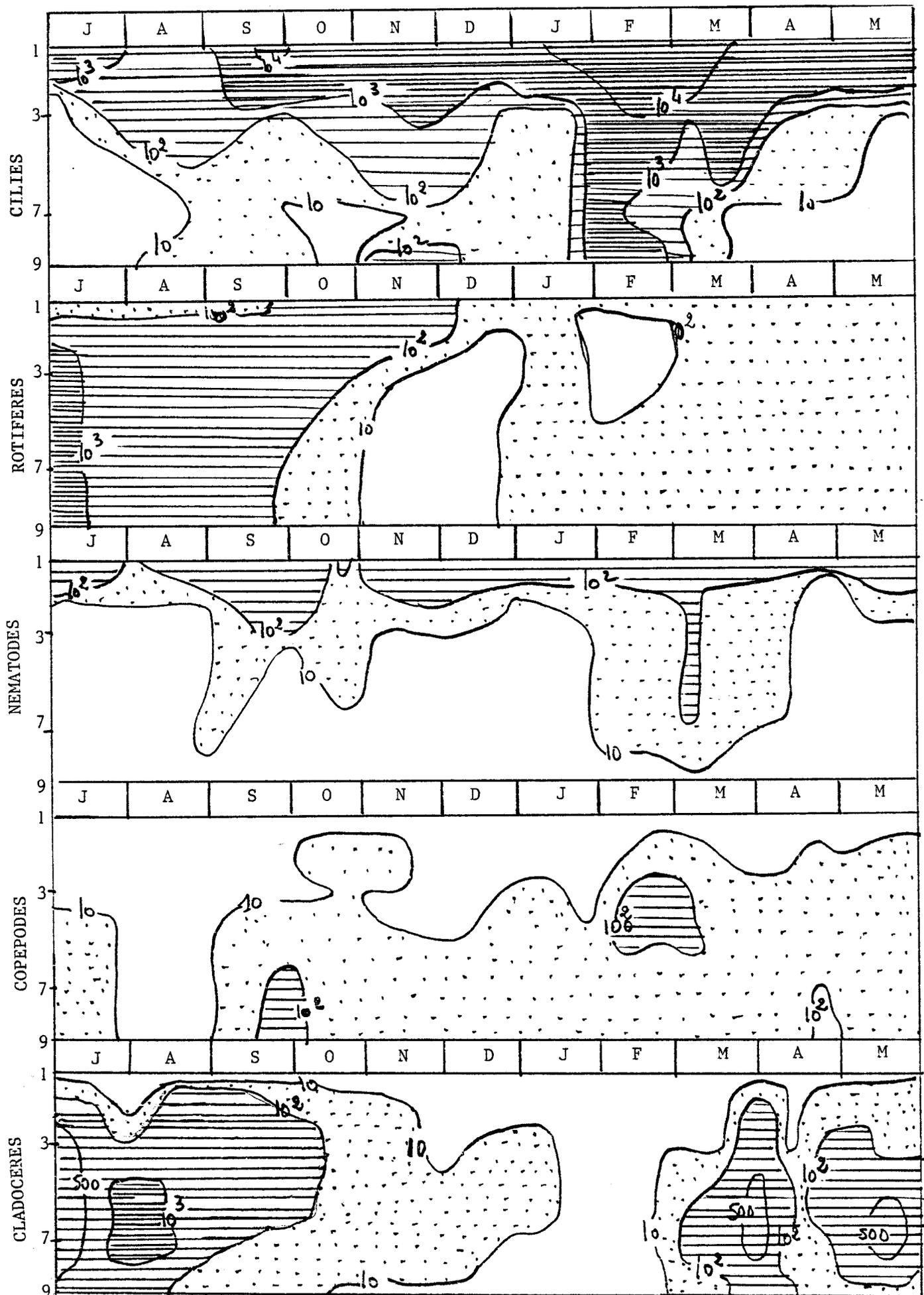


Fig. 24 : VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES EFFECTIFS
DES PRINCIPAUX GROUPES PLANCTONIQUES. (ind./l)

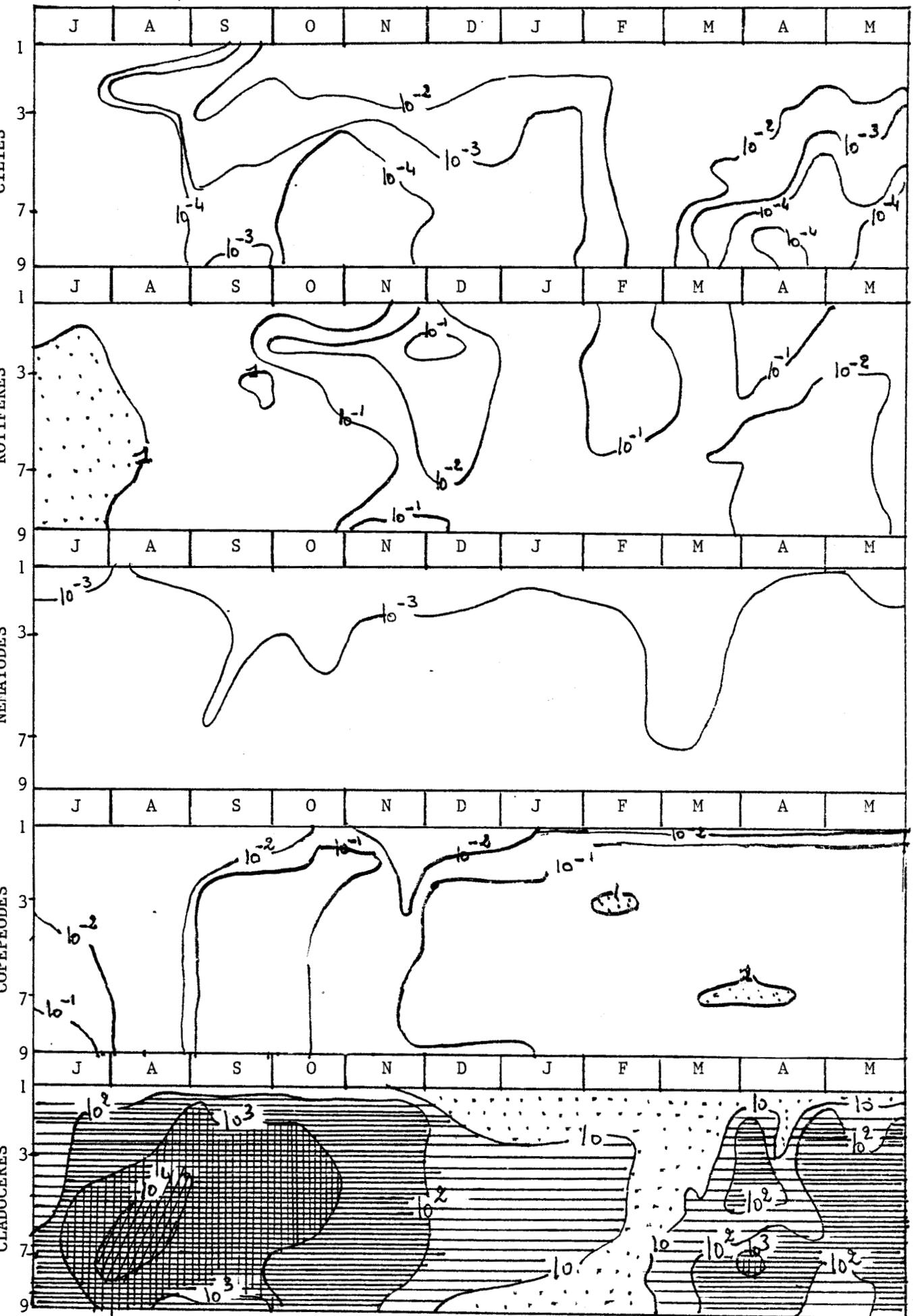


Fig. 25 : VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DE LA BIOMASSE
DES PRINCIPAUX GROUPES PLANCTONIQUES (mg/l).

2.2.2.2. Amibes

.....
Bien que certaines amibes puissent être pélagiques, la plupart des espèces ont besoin d'un substrat pour se développer. Les amibes notées en juillet 1976 et mai 1977 dans le fossé noir (respectivement 10 et 15 individus par litre) provenaient probablement de la station d'épuration, milieu qui leur est favorable.

2.2.2.3. Ciliés (fig. 26)

.....
Il est maintenant bien connu que les Ciliés peuvent avoir un rôle signifiant dans les étangs de stabilisation (CURDS, 1979). Bon nombre de Ciliés librés sont inféodés à la présence d'une abondante nourriture bactérienne, donc d'une charge importante en matière organique dégradable. Selon TAYLOR et BERGER (1975), DIVE (1975), JAKSON et BERGER (1984), une densité de 10^6 bactéries par ml est nécessaire pour assurer la survie des Ciliés bactériophages. En dessous de ces taux, leur survie est fonction de leur faculté d'adaptation : baisse de la demande énergétique individuelle, quantité de réserve, taux bas de respiration. Ils colonisent normalement le benthos et les sédiments et ne gagnent la pleine eau que si celle-ci reçoit une charge suffisamment élevée en composés organiques dégradables. Selon ANGELI (1979), seuls les Ciliés euplanctoniques doués d'une nage puissante leur permettant de se déplacer rapidement à la recherche de leur nourriture, seraient capables de coloniser l'aval, alors que ceux à nage lente seraient nécessairement inféodés au secteur amont, où leur abondance reflèterait la richesse bactérienne du milieu. A l'intérieur de certaines limites, et s'ils n'entrent pas en compétition avec les métazoaires, la densité des Ciliés bactériophages est directement proportionnelle à celle de la matière organique disponible.

Ces caractéristiques expliquent que nous n'avons trouvé de quantités abondantes de Ciliés qu'en amont : leur survie est trop aléatoire en aval.

Le tableau suivant indique la composition des principaux pics d'abondance, mois par mois, avec indication (nombres entre parenthèses) des stations où ces pics ont été observés. Nous envisagerons ensuite la présence des différents groupes de Ciliés.

Tableau 2 : SUCCESSION DES PICS D'ABONDANCE SPECIFIQUE (CILIES)

1976			
Jun	: <i>Vorticella</i> (1) <i>Paramecium</i> (1, 9)	Février	: <i>Lionotus</i> (3, 7, 9) <i>Astylozoon</i> (3, 7, 9) <i>Telotrochidium</i> (1, 3, 7, 9)
Juillet	: <i>Vorticella</i> (1)		<i>Monodinium</i> (3, 7) <i>Vorticella</i> (1, 3, 7, 9)
Août	: <i>Vorticella</i> (1, 3, 7, 9) <i>Oxytrichidae</i> (9)		<i>Paramecium</i> (1, 3, 7) <i>Euplotes</i> (1, 3, 7, 9)
Septembre	: <i>Vorticella</i> (1, 3, 7, 9) <i>Paramecium</i> (1, 3, 7) <i>Euplotes</i> (1, 3, 9) Acinétiens (1)	Début mars	: <i>Telotrochidium</i> (1, 3, 9) <i>Vorticella</i> (1, 3, 7, 9) <i>Paramecium</i> (1, 3) <i>Colpidium</i> (1) <i>Astylozoon</i> (3) <i>Euplotes</i> (3)
Octobre	: <i>Vorticella</i> (1, 3) <i>Paramecium</i> (1, 3) <i>Euplotes</i> (3) Acinétiens (1)	Fin mars	: <i>Vorticella</i> (1) <i>Astylozoon</i> (3) <i>Paramecium</i> (3)
Novembre	: <i>Vorticella</i> (1, 3, 7, 9) <i>Paramecium</i> (3) <i>Euplotes</i> (3)	Début avril	: <i>Vorticella</i> (1, 3, 9) <i>Paramecium</i> (1) <i>Astylozoon</i> (3) <i>Telotrochidium</i> (3)
Décembre	: <i>Telotrochidium</i> (1) <i>Monodinium</i> (1) <i>Vorticella</i> (1, 3, 7, 9) <i>Paramecium</i> (1, 3, 9) <i>Euplotes</i> (1, 3, 7, 9) <i>Chilodonella</i> (3)	Fin avril	: <i>Monodinium</i> (1) <i>Vorticella</i> (1, 3) <i>Paramecium</i> (1, 3) <i>Euplotes</i> (1) <i>Astylozoon</i> (3, 9) <i>Chilodonella</i> (3)
1977			
Janvier	: <i>Telotrochidium</i> (1, 9) <i>Monodinium</i> (1) <i>Vorticella</i> (1, 3, 7, 9) <i>Paramecium</i> (1, 3) <i>Colpidium</i> (1) <i>Euplotes</i> (1)	Mai	: <i>Vorticella</i> (1, 3, 7) <i>Euplotes</i> (1, 9) <i>Astylozoon</i> (3) <i>Paramecium</i> (3)
		Juin	: <i>Vorticella</i> (1, 3) <i>Paramecium</i> (1) <i>Euplotes</i> (1, 7)

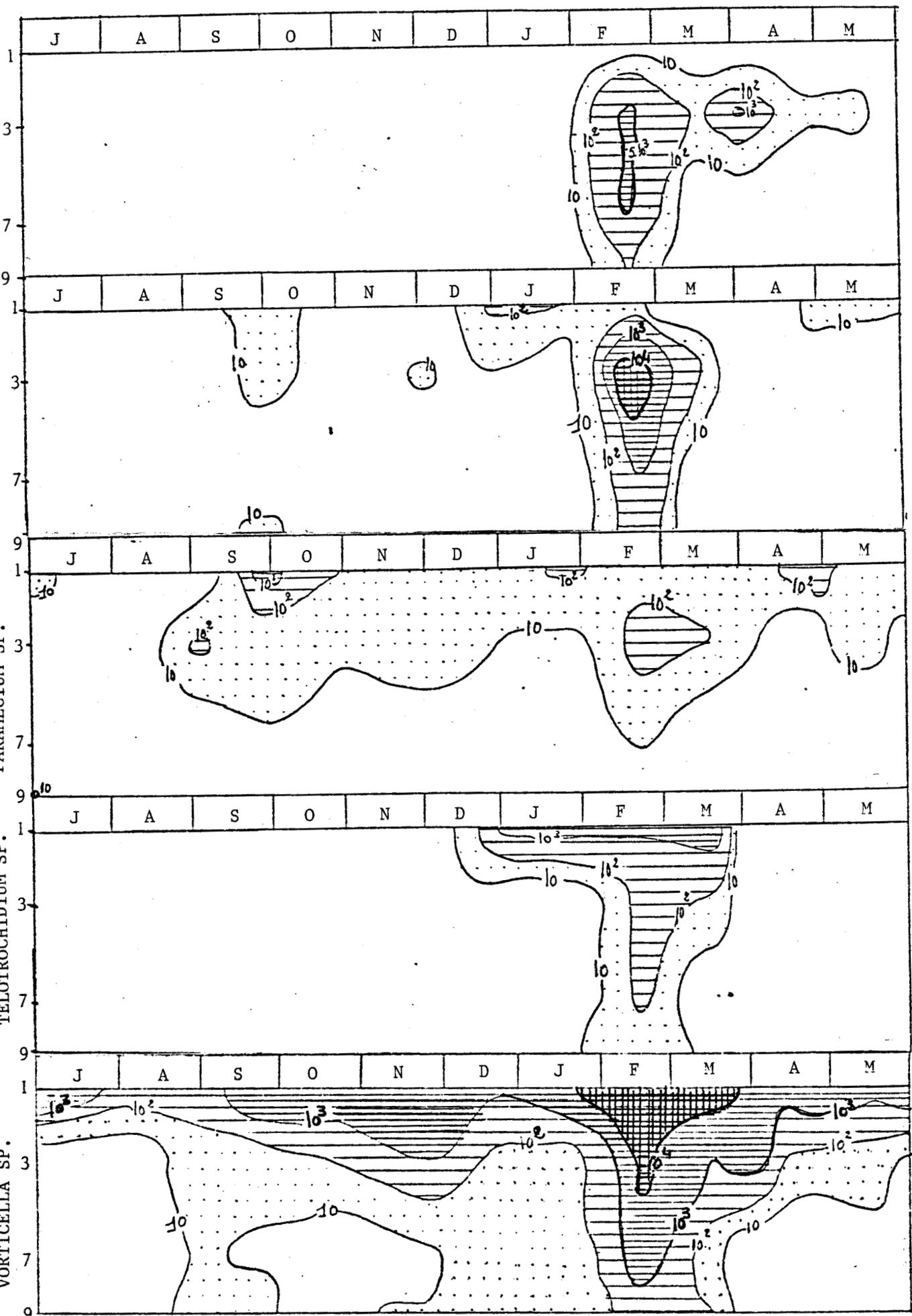


Fig. 26 : VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES EFFECTIFS DES GENRES DOMINANTS DE CILIES (effectif/l)

1. Acinétiens

Ils n'ont été trouvés que deux fois et seulement dans le "fossé noir", en septembre et octobre, à raison de 30 et 80 individus par litre.

Ces organismes se nourrissent d'autres Ciliés qu'ils capturent avec leurs tentacules creux et contractiles.

Ce sont des formes résistantes que l'on trouve assez souvent dans les boues traitant des eaux résiduaires à forte charge.

2. *Astylozoon*

Ce genre n'a jamais été rencontré dans le "fossé noir". Alors qu'il est apparu continuellement de février à mai en 3, on ne l'a rencontré en 7 qu'en février et en 9 en février et fin avril.

A la station 3, il a atteint des effectifs de 10 000. De même en 7, où on a dénombré quelques 7 628 individus. 1 000 fin mars en 3, sinon quelques dizaines jusqu'à une centaine.

Ce sont des Ciliés euplanctoniques proches des *Vorticellidae*.

3. *Chilodonella*

On n'a rencontré ce genre que deux fois dans les bassins, en décembre et fin avril, avec un effectif très faible (8 individus par litre), et seulement à la station 3. D'après FAURET-FREMIET (1967), les espèces de ce genre sont normalement inféodées au benthos et comptent quelques formes ayant une préférence très marquée pour les bactéries sulfuraires. Selon BAUER (1961), les *Chilodonella* font partie des trois Ciliés parasites possibles des poissons. Leur température optimale est de 5 à 10° C et ils peuvent être responsables en hiver de pertes importantes de poissons, principalement dans les étangs à carpes.

4. *Colpidium*

Ils n'ont été rencontrés que deux fois et uniquement dans le "fossé noir" à raison de 40 et 16 individus par litre, en janvier et début mars.

D'après BICK (1972 : *In* CEMAGREF, 1981) la présence de ce genre indique une charge organique importante, avec notamment la présence de fortes concentrations en NH_4^+ et une décomposition

active. C'est une espèce qui peut se trouver dans les boues activées (DEGREMONT, 1972). DIVE (1975) n'observe pas de multiplication importante de ce genre quand la concentration bactérienne est inférieure à 10^7 E. coli/ml.

5. *Euplotes*

Les *Euplotes* sont surtout apparues en amont. Elles ont été rencontrées 7 fois à la station 1 avec des effectifs variant de quelques dizaines à quelques centaines d'individus par litre. Elles ont été absentes du "fossé noir" de juin à août, en octobre, novembre, mars et début avril. A la station 3, elles ont été rencontrées de septembre à début mars, sauf en janvier. En février, leur effectif était très fort (jusqu'à 73 000 individus par litre). Aux autres stations, ils sont apparus nettement moins souvent et en nombre plus faible. (En février : 1 000 individus par litre au point 7 et 300 au point 9). On les a cependant rencontrées en mai et juin en aval.

Comme pour le *Colpidium*, sa présence tend à indiquer une charge organique importante, de fortes concentrations en NH_4 et une décomposition bactérienne active (BICK, 1972 in CEMAGREF, 1981). C'est un genre à spectre alimentaire très large : algues, bactéries et petits Ciliés ; son adaptation en est très certainement favorisée.

6. *Lionotus*

Ils ne sont apparus qu'en février aux stations 3, 7 et 9, assez nombreux en 3 (800 individus par litre), nettement moins aux autres stations (44 et 16).

C'est un Cilié nageur et rampant à la surface des floes. Ce genre est très fréquent dans les boues en bonne voie de formation, juste avant l'apparition des Ciliés attachés. *Lionotus* demande un bon niveau d'oxygénation (plus de 1 mg/l d' O_2 dissous) C'est un carnivore (ANGELI, 1979).

7. *Monodinium*

Rencontré 3 fois dans le "fossé noir" (décembre, janvier et fin avril), il n'a été observé dans les bassins qu'en février (stations 3 et 7) et est totalement absent de la station 9.

C'est un Cilié libre et nageur. Assez peu fréquent dans les eaux résiduaires urbaines, il se rencontre surtout

dans les rejets domestiques riches en graisses et protéines (cuisine et cantines) On le trouve comme forme transitoire, avec les Ciliés attachés, dans les milieux où les variations de charge sont fréquentes et importantes.

8. *Oxytrichidae*

Ils n'ont été observés qu'à la station 9 en août, à raison de 5 individus par litre.

9. *Paramecium*

Ils sont surtout présents en amont. On les observe dans 10 prélèvements sur 15 à la station 1 ; dans 11 prélèvements en 3, avec une abondance nettement plus faible ; aux stations 7 et 9, on ne les observe que deux fois.

Ils sont absents de la station 1 en juillet, août, novembre, fin mars et mai, et de la station 3 en juin 1976, juillet, début avril et juin 1977. A la station 7 on les rencontre en septembre 76 et février 77 et à la station 9, en juin et décembre 1976.

Les abondances vont en diminuant d'amont en aval. Les maxima pour les quatre stations sont respectivement 2186, 368, 20 et 10 par litre.

Les Ciliés du genre *Paramecium* sont essentiellement bactériophages et détritivores. On les rencontre en général quand la tension en oxygène est faible (très faible), c'est un organisme libre et nageur qui est assez résistant et qui prédomine dans les boues mal oxygénées traitant des eaux résiduaires urbaines ou de l'industrie alimentaire.

Selon ANGELI (1979), les Ciliés de grande taille tels que les Paramécies et les *Euplotes* ont une grande capacité de filtration. Lorsque leurs populations sont suffisamment importantes, ils peuvent contribuer efficacement à l'éclaircissement du milieu et à la floculation des éléments figurés de petite taille. Ce sont des organismes très opportunistes, se nourrissant aussi bien de petits protistes que de détritits ou de bactéries. Il s'agit là de bons indicateurs de milieux polytrophes.

10. *Telotrochidium*

Assez nombreux quand ils existent dans le "fossé noir" (plusieurs milliers d'individus par litre), on les a trouvés de décembre à début mars.

A la station 3, on les a trouvés en février, mars et avril (jusqu'à 270 individus par litre). Au point 7, on ne les a trouvés qu'une seule fois en février (208 individus par litre), et au point 9 3 fois, mais en faible nombre, en janvier, février et début mars.

11. *Vorticellidae*

On les retrouve fréquemment dans tous les bassins : 15 fois sur 15 au point 1, 13 fois au point 3, 8 fois au point 7, 8 fois au point 9.

Ils sont absents des bassins en juin et juillet et dans le troisième bassin, absents de plus en octobre, fin mars, fin avril et juin 1977.

Leur nombre décroît très fortement de l'amont vers l'aval : maxima respectivement de 104 240, 17 040, 4 020, 244 individus par litre en février. Ils sont toujours relativement nombreux en 1, un peu moins en 3. En 7 et 9, excepté le mois de février, on ne retrouve que quelques individus par litre. Ils sont un peu plus abondants en 9 qu'en 7 (sauf en février).

Selon ANGELI (1979) ces Ciliés oligoxybiontes possèdent une polluo-résistance plus élevée que celle des Rotifères les plus tolérants.

Ce sont des organismes essentiellement bactériophages et détritivores.

12. Conclusions sur les Ciliés rencontrés

Exception faite d'*Acineta* et de *Telotrichidium*, les espèces rencontrées ont été décrites dans les étangs d'oxydation par différents auteurs (NEEL et HOPKINS, 1956 ; KIMERLE et ENNS, 1968 ; PURUSHOTHAMAN, 1970). La plupart de ces espèces, apparues de façon sporadique, peuvent provenir de la station d'épuration et être en survie dans le "fossé noir". En effet, la concentration bactérienne excédait rarement 10^6 bactéries par ml et les espèces bactériophages peuvent avoir du mal à se maintenir dans de telles conditions. Seules les *Vorticellidae*, les Paramécies et les *Euplates* devaient trouver dans ces bassins un milieu favorable qui leur permettait de se développer de façon importante si la pression prédatrice n'était pas trop forte.

La mise en service du "by-pass" a permis l'apparition dans les bassins situés en aval d'un certain nombre de Ciliés mais ceux-ci n'ont eu qu'un développement fugace.

Un genre a réussi à coloniser pendant un certain temps la station 3.

Quoiqu'il en soit, les espèces rencontrées sont des espèces tolérantes vis-à-vis des teneurs extrêmement faibles en oxygène dissous et des taux élevés d'ammoniaque. Les caractères physico-chimiques de l'effluent en provenance de la station d'épuration, très riche en matière organique, excluaient probablement toutes les espèces moins tolérantes, pour ne convenir qu'à des espèces vraiment très peu exigeantes.

2.2.2.4. Rotifères (figs.27 et 28)

Les deux facteurs écologiques qui conditionnent principalement la présence des rotifères semblent être la température et l'oxygène. Selon plusieurs auteurs (KLIMOWICZ, 1968 ; UHLMANN, 1958-1959 ; GALKOVSKAJA, 1961) les Rotifères n'apparaissent dans de tels bassins que de façon sporadique en hiver alors qu'ils peuvent avoir un développement important pendant la saison chaude. A température élevée, les Rotifères sont sensibles à la pauvreté en oxygène alors qu'à basse température, bon nombre d'espèces eurythermes (ou sténothermes froids) supportent une plus faible oxygénation de l'eau (POURRIOT, 1965). Certains auteurs (RAMADAN, KLIMOWICZ et SWELIM, 1963) décrivent cependant des Rotifères dans des eaux chaudes (25-30° C) ne contenant plus que quelques fractions d'oxygène ou même totalement anoxiques, et citent parmi ces espèces de nombreux Bdelloïdes et Brachionidae tels que *Epiphanes*, *Brachionus calyciflorus* ou *B. urceolaris*. Selon GALKOVSKAJA (1961), les espèces rotifériennes qui se développent le mieux dans de tels bassins sont phytoplanctonophages. Outre la température, le substrat et la nourriture sélectionnent les différents groupes.

LOEDOLFF (1965) considère que dans de tels bassins les Ciliés et les Rotifères bactériophages apparaissent parfois en si grand nombre qu'ils peuvent avoir un effet très marquant sur l'élimination des bactéries. KLIMOWICZ (1968) note que lors de forts développements de Rotifères (cet auteur avait observé des densités de plus de 70 000 individus par litre), la "clarification" des eaux était remarquable : il y avait sédimentation des matières en suspension, dont la réduction pouvait atteindre 70 %. La minéralisation biochimique était efficace, mais en même temps apparaissant dans l'étang un déficit en oxygène de sorte que les processus de nitrification amorcés s'arrêtaient.

La succession des pics d'abondance spécifique (Rotifères) est indiquée dans le tableau suivant :

<p>Juin : <i>Asplanchna</i> (3, 7, 9) <i>B. rubens</i> (3, 7, 9) <i>B. calyciflorus</i> (3, 7, 9) <i>Polyarthra</i> (3, 7, 9) <i>F. longiseta</i> (3, 7, 9)</p>	<p>Février : <i>Epiphanes</i> (3) <i>B. urceolaris</i> (3) <i>B. calyciflorus</i> (1, 3, 7, 9) <i>F. cornuta</i> (1, 3, 7, 9) Bdelloïde (1, 3, 7, 9)</p>
<p>Juillet : <i>B. urceolaris</i> (3, 7, 9) <i>B. rubens</i> (3) <i>B. calyciflorus</i> (7, 9) <i>Polyarthra</i> (9)</p>	<p>Début mars : <i>Epiphanes</i> (3) <i>B. urceolaris</i> (7) <i>F. cornuta</i> (1, 7) Bdelloïde (1, 9) <i>B. calyciflorus</i> (3) <i>F. longiseta</i> (9)</p>
<p>Août : <i>B. rubens</i> (3, 7, 9) <i>Polyarthra</i> (1, 7, 9)</p>	<p>Fin mars : <i>F. cornuta</i> (1, 3, 9) Bdelloïde (1)</p>
<p>Septembre : <i>Rhinoglena</i> (1) <i>B. urceolaris</i> (3, 7) <i>B. rubens</i> (3, 7, 9) <i>Polyarthra</i> (7, 9) Bdelloïde (1)</p>	<p>Début avril : <i>Epiphanes</i> (1) <i>B. urceolaris</i> (3) Bdelloïde (1, 3) <i>Polyarthra</i> (3) <i>F. cornuta</i> (3, 7) <i>B. calyciflorus</i> (7) <i>F. longiseta</i> (7)</p>
<p>Octobre : <i>Rhinoglena</i> (1, 3) <i>B. rubens</i> (3, 7, 9) <i>Polyarthra</i> (7) Bdelloïde (1)</p>	<p>Fin avril : <i>Epiphanes</i> (3) Bdelloïde (1) <i>F. cornuta</i> (3, 7, 9)</p>
<p>Novembre : Bdelloïde (1) <i>B. calyciflorus</i> (9) <i>F. cornuta</i> (9)</p>	<p>Mai : <i>Epiphanes</i> (3, 7, 9) Bdelloïde (1) <i>F. longiseta</i> (7) <i>F. cornuta</i> (7)</p>
<p>Décembre : Bdelloïde (1, 3, 7, 9)</p>	
<p>Janvier : <i>F. longiseta</i> (1, 7) Bdelloïde (3) <i>B. calyciflorus</i> (7) <i>F. cornuta</i> (7, 9)</p>	<p>Juin : <i>B. rubens</i> (1, 3, 7, 9) <i>F. cornuta</i> (1, 3, 7) Bdelloïde (1)</p>

Tableau 3 : SUCCESSION DES PICS D'ABONDANCE SPECIFIQUE DES ROTIFERES.
(numéros des stations entre parenthèses).

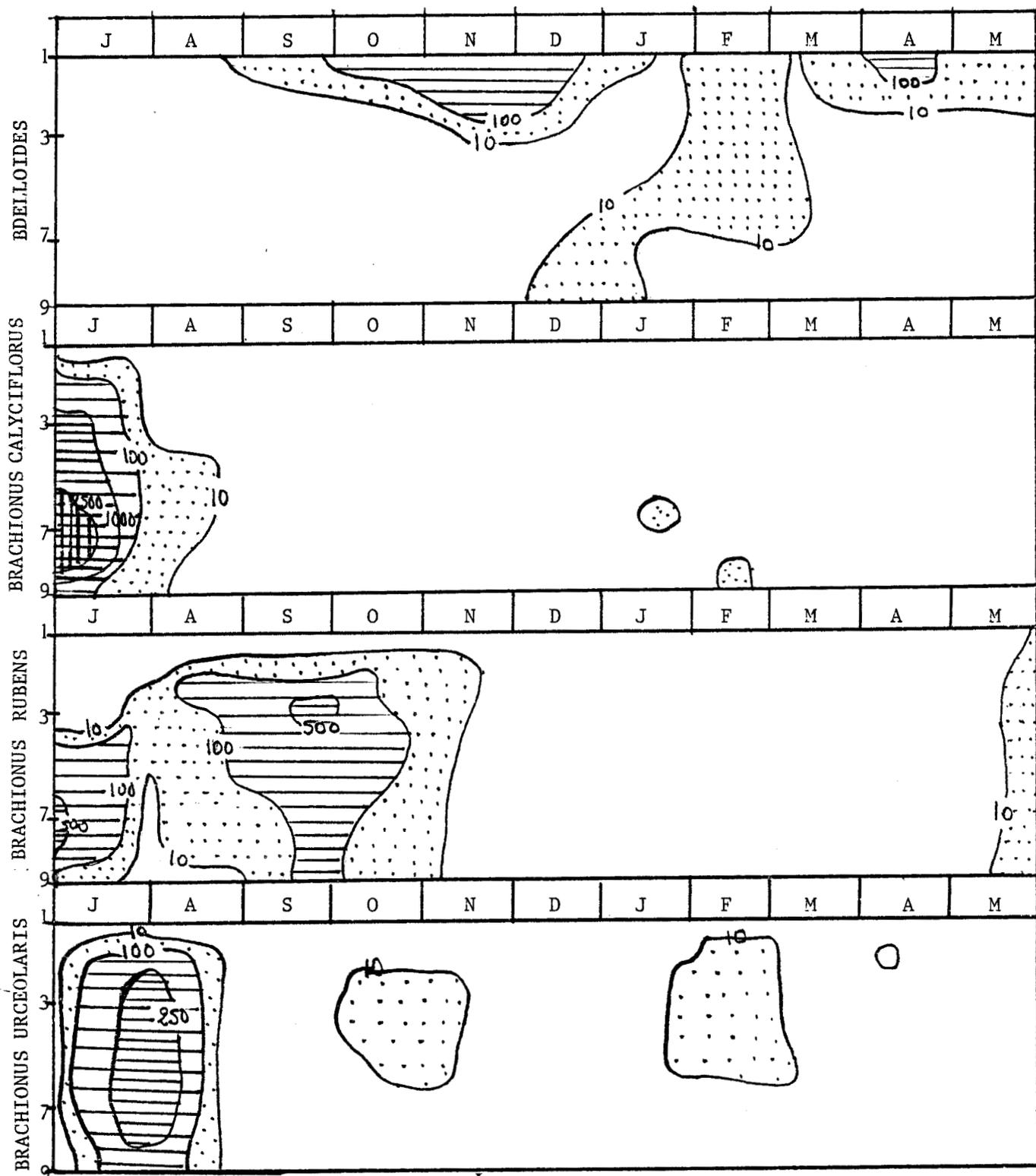


Fig. 27 : VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES EFFECTIFS DES PRINCIPALES ESPECES DE ROTIFERES (effectif/l).

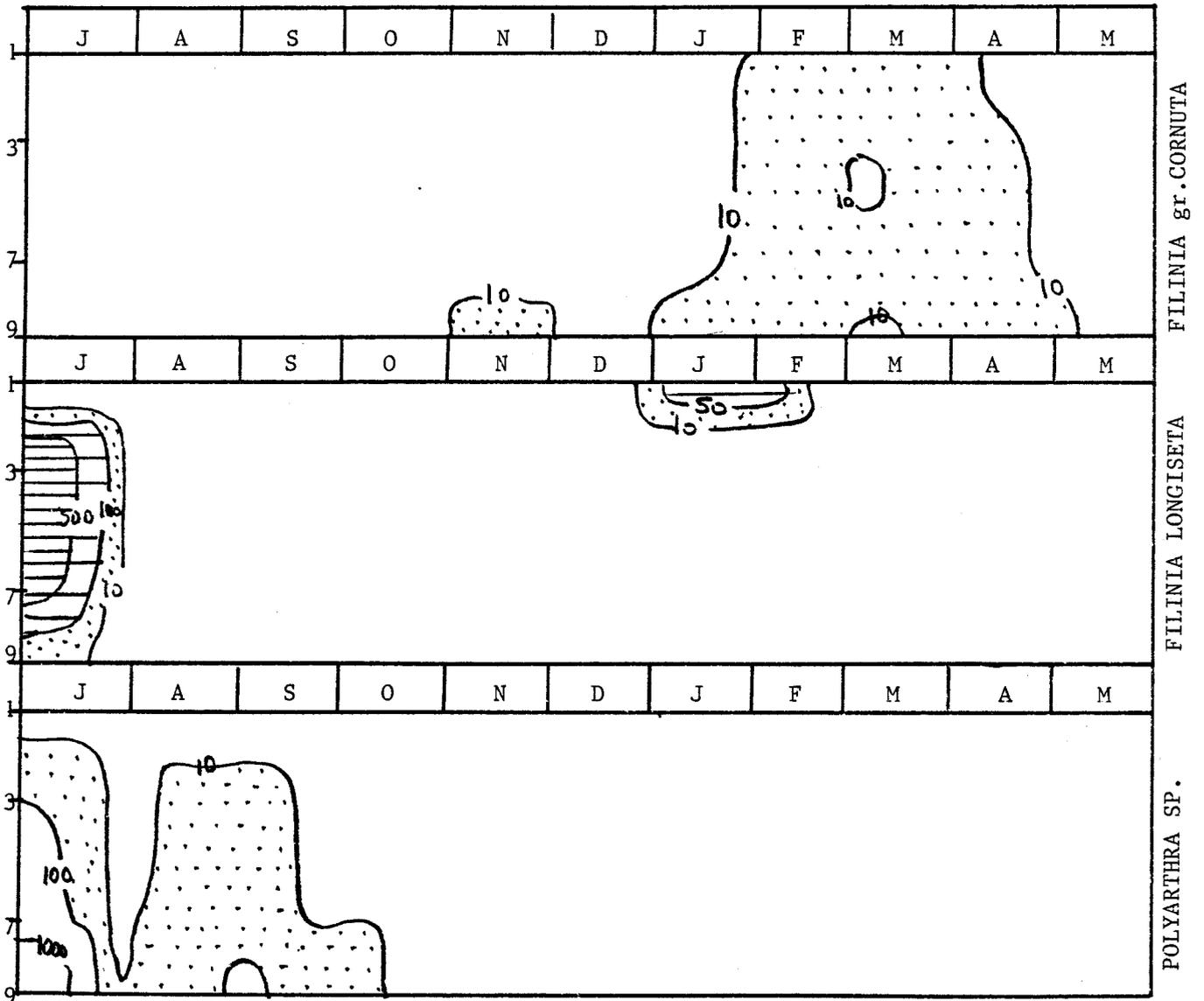


Fig.28 : VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES EFFECTIFS DES PRINCIPALES ESPECES DE ROTIFERES (SUITE)
(effectif/l)

1. *Asplanchna*

Ils n'ont été trouvés qu'en juin 1976 aux stations 3, 7 et 9 et en assez faible abondance (respectivement 4, 20 et 48 individus par litre).

ARORA (1966) la décrit comme une espèce résidente des eaux très chargées où il y a abondance de bactéries et de phytoplancton. Il la mentionne dans des étangs d'oxydation, mais souvent par apparitions assez brèves. D'autres auteurs l'observent aussi dans des eaux fortement polluées recevant soit des effluents industriels (KLIMOWICZ, 1961 ; RAMADAN, KLIMOWICZ et SWELIM, 1963 ; DE SMET et EVANS, 1972), soit des effluents domestiques (KLIMOWICZ, 1968). ANGELI (1979) la rencontre dans les bassins de lagunage en été, dans des eaux presque totalement désoxygénées et chargées en ammoniacale, témoignant d'une pollution-résistance élevée de cette espèce.

Une des particularités des *Asplanchna* est la sécrétion d'une substance qui provoque une cyclomorphose adaptative chez quelques espèces proies, telle que l'apparition d'épines postéro-latérales, phénomène que l'on peut observer dans nos bassins. Cet avantage sélectif permet à certaines espèces (en l'occurrence, dans cette étude, à *B. calyciflorus* et *F. Longiseta*) de se maintenir en présence du prédateur, et de survivre à d'autres espèces plus compétitives pour les ressources alimentaires, mais non protégées contre le prédateur qui les élimine (HALBACH, 1969, 1972). Dans nos bassins, nous observons, pendant la présence d'*Asplanchna*, une dominance très forte de *B. calyciflorus* sur *B. rubens*, dominance qui s'inverse totalement au moment de la disparition des *Asplanchna*.

2. Bdelloïdes

Ils sont apparus très fréquemment à la station 1 (11 observations sur 15). Ils en étaient absents en juin-juillet-août-janvier. Aux autres stations, ils sont apparus : 4 fois au point 3 (décembre, janvier, février), 2 fois au point 7 (décembre et février) 3 fois au point 9 (décembre, février, début mars). Leur densité était assez faible (au maximum 50 individus par litre) par contre dans le "fossé noir" le maximum atteint 200 individus par litre.

Ce sont des espèces tolérantes vis-à-vis de H_2S , NH_4 , très peu exigeantes vis-à-vis de $l'O_2$. Ils sont caractéristiques des milieux eutrophes et généralement abondants dans les milieux où prolifèrent les Ciliés. Selon POURRIOT (1965), ce seraient les seuls

Rotifères susceptibles d'utiliser avec profit une nourriture bactérienne ; ils seraient plutôt des formes d'eau chaude et supportent des milieux totalement dépourvus d'O₂.

ANGELI (1972) les remarque dans les secteurs de la Deûle les plus touchés par les effluents du bassin minier: ce sont alors les seuls métazoaires planctoniques encore trouvés en vie. Un plancton rotiférien à Bdelloïdes dominants est, selon cet auteur, l'indication d'une pollution complexe à composantes chimiques. Les Bdelloïdes remplacent finalement les espèces très résistantes des genres *Filinia* et *Brachionus* dans les secteurs les plus sévèrement touchés. HAKKARI (1972) note que leur distribution est restreinte aux régions les plus polluées.

3. *Brachionidae*

Trois espèces ont été rencontrées dans ces bassins : *B. urceolaris*, *B. rubens*, *B. calyciflorus*.

B. rubens est apparu pendant les périodes chaudes : juin, juillet, août, septembre, octobre 1976 et juin 1977. A la station 1, il n'est apparu qu'en juin 1977. Aux stations 7 et 9, il a été remplacé en juillet par d'autres brachions : *B. urceolaris* et *B. calyciflorus*. Leur nombre peut atteindre quelques centaines d'individus par litre.

B. calyciflorus est présent en juin 1976 dans les bassins en nombre plus important que *B. rubens* (quelques milliers d'individus par litre). En juillet, il est encore présent aux stations 7 et 9 mais seulement à raison de quelques individus par litre (40 et 20). Quelques individus réapparaissent de façon sporadique (novembre au point 9, janvier au point 7, février dans l'ensemble des stations sauf la 3, seule date où il apparaît en 1, début mars en 3 et début avril en 7).

B. urceolaris est moins fréquent. Il apparaît en juillet alors que les deux autres espèces ont disparu ou nettement régressé dans les trois stations des bassins (quelques centaines d'individus par litre). Il apparaît ensuite de façon plus sporadique en septembre aux stations 3 et 7 ; il n'apparaît jamais dans le "fossé noir".

Les *Brachionus* (plus particulièrement *calyciflorus*) sont très souvent cités dans la littérature des étangs d'oxydation (ARORA, 1966 ; KLIMOWICZ, 1968 ; GALKOVSKAJA, 1961). De nombreux auteurs s'accordent pour considérer que les différentes espèces de *Brachionus* sont caractéristiques des milieux eutrophes (PEJLER, 1957 ;

LILLIEROTH, 1950 ; POURRIOT, 1965). Pour ce dernier, la présence simultanée de plusieurs genres de *Brachionus* dans un même biotope indique une eau hypereutrophe. Toujours selon cet auteur, la plupart des espèces se rencontrent en eau alcaline. Bien que ce ne soit pas la concentration en ions H^+ qui soit directement responsable de la répartition écologique des Rotifères, l'existence d'espèces différentes résulte plus probablement de l'action conjuguée de plusieurs facteurs physico-chimiques, et d'un environnement biologique tel que la présence d'algues spécifiques indispensables à certaines espèces algivores dont le spectre alimentaire est très étroit. Les brachions sont des filtreurs de bactéries, détritiques, algues et consommateurs préférentiels de Volvocales.

B. rubens, décrite par POURRIOT (1965) comme une espèce sténotherme d'eau chaude (température minimale et maximale respectivement 18 et 25° C) est considérée par PACAUD (1939) comme une espèce parmi les plus résistantes. Cette espèce est commensale des daphnies, en particulier de *D. magna* sur laquelle elle vit en épizoaire.

B. calyciflorus est décrite comme une espèce eurytope et eurytherme (POURRIOT, 1965 ; RUTTNER-KOLISKO, 1974 ; HOFMANN, 1977). Selon POURRIOT (1965), cette espèce (ainsi que *B. urceolaris*) supporte une faible oxygénation de l'eau, même dans les eaux chaudes. ANGELI (1972) la considère comme une espèce très résistante car elle la rencontre dans des secteurs très pollués corrélativement à des traces de toxiques et des teneurs très basses en oxygène. C'est une espèce de grande taille capable d'exercer sur le phytoplancton une pression prédatrice suffisamment forte pour assurer le contrôle éventuel du phytoplancton. Comme nous l'avons déjà mentionné, la position, la longueur et le mouvement des épines postéro-latérales de cette espèce constitue une protection contre la capture par les *Asplanchna*.

B. urceolaris, quant à lui, est une espèce eurytherme (de 5 à 20° C).

Dans ces bassins, on retrouve ces trois espèces très fortement liées par des phénomènes de compétition. Si *B. rubens* est présent pendant la période chaude, cette espèce est très fortement dominée par *B. calyciflorus* pendant la présence des *Asplanchna*. Quand ces deux espèces ont disparu ou nettement régressé, *B. urceolaris* tente alors de se développer.

4. *Epiphanes*

Rencontré une seule fois et en faible nombre aux stations 1, 7 et 9 (fin avril au point 1 avec un effectif de 50 individus par litre), il a été plus souvent observé à la station 3, où il a été rencontré jusqu'à 350 individus par litre (février, début mars, fin avril et mai).

Selon KLIMOWICZ (1968) *Epiphanes senta* est répertorié parmi les espèces benthiques qui résident la plupart du temps sur des substrats durs et qui n'aiment pas aller vers les couches supérieures. POURRIOT (1965) décrit les *Epiphanes* comme des espèces très tolérantes mais présentant une nette préférence pour les températures basses. Certaines espèces supportent de faibles teneurs d'oxygène.

BICK-SCHOLTYSECK (1960) confirme le développement préférentiel de cette espèce au printemps en association généralement avec *Rotaria rotatoria* et *Euglena viridis*.

5. *Filinia*

F. cornuta est rencontrée assez souvent dans ces bassins, à raison de quelques dizaines d'individus par litre. Elle apparut d'abord en aval en novembre, puis aux points 7 et 9 en janvier, enfin sur l'ensemble des stations en février. Jusqu'en juin 1977, elle est souvent présente dans plusieurs stations.

F. longiseta, quant à elle, est rencontrée de façon plus épisodique. En très grand nombre en juin à l'intérieur de la lagune, à l'exclusion du "fossé noir" (respectivement 740 individus au point 3, 580 au point 7 et 84 au point 9). Les autres périodes d'apparition sont nettement moins importantes et leur effectif est plus réduit : respectivement 80 et 8 individus par litre en janvier aux stations 1 et 7 ; 40, début mars au point 9 ; 4 individus à la station 7 début avril et en mai.

Selon RUTTNER-KOLISKO (1980) les caractéristiques morphologiques de deux espèces de *Filinia*, *Filinia longiseta* et *Filinia terminalis* sont telles que ces deux espèces peuvent être confondues. Cependant leurs exigences écologiques permettent de les différencier : la première vit dans l'épilimnion des eaux chaudes jusqu'à des températures de 24 et même 29° C tandis que la seconde présente un maximum thermique de 12° C et un développement optimal quand la concentration en oxygène est inférieure à 2 mg/l. Il est probable que sous le nom de *Filinia longiseta* se trouvent les deux espèces.

Les *Filinia*, comme les autres Rotifères rencontrées jusqu'ici, sont considérées comme des indicateurs de milieux eutrophes (POURRIOT, 1982 ; BERZINS, 1949 ; FEJLER, 1957 ; ARORA, 1966). *F. cornuta* est signalée à plusieurs reprises par des auteurs étudiant des milieux influencés par la pollution (GUILLARD, 1950 ; KLIMOWICZ, 1968 ; DE SMET et EVANS, 1972 ; ANGELI, 1979). POURRIOT (1965) les décrit comme des espèces très tolérantes mais marquant une préférence pour l'eau froide. PEJLER (1961) et AMREN (1964) observent les plus fortes poussées lors de basses concentrations en oxygène. Leur régime alimentaire se compose de bactéries, de détritits (NAUWERCK, 1963), mais aussi de particules inertes totalement refusées par d'autres espèces telles que *Epiphanes* et *Polyarthra* (POURRIOT, 1982).

Comme chez les Brachionidae, on observe des variations phénotypiques portant sur les soies natatoires et qui les protègent de leurs prédateurs, les *Asplanchna*.

6. *Polyarthra*

Jamais observés dans le "fossé noir", ils apparaissent en grand nombre dans la lagune en juin 1976. Quel que soit le mois, quand ils sont rencontrés, ils sont toujours plus nombreux en aval qu'en amont. Leur nombre croît de la station 7 à la station 9. Ils sont surtout apparus en été (juillet, août, septembre et octobre). A la station 3, ils ont été rencontrés encore début avril.

Les Rotifères du genre *Polyarthra*, bien que généralement algivores, ne sont pas filtreurs mais microprédateurs. Contrairement aux *Filinia*, ils refusent absolument les particules inertes (POURRIOT, 1982).

7. *Rhinoglena frontalis*

Rencontrée en septembre (station 1) et en octobre (stations 1 et 3), elle n'est présente que par quelques dizaines d'individus par litre. C'est un petit Rotifère strictement algivore décrit par POURRIOT (1965) comme sténotherme d'eau froide strict. ANGELI (1979) l'a rencontrée dans des bassins de lagunage, en coïncidence avec une surabondance de phytoplancton, de fortes sursaturations en oxygène, des conditions ambiantes très sévères ou lors de très mauvais rendements de l'épuration.

En conclusion, les espèces rencontrées dans ces bassins sont les espèces communément décrites dans les étangs d'oxydation. Ce sont en général des espèces résistantes. Les phénomènes de compé-

tition jouent un rôle primordial dans la sélection des espèces. Il serait intéressant de voir au niveau de l'AFC multiple si ces espèces se comportent de façon similaire ou non.

2.2.2.5. Cladocères (fig. 29)

Il est incontestable que dès que les Cladocères sont présents dans le milieu, ce sont les organismes les plus actifs. Deux espèces seulement ont été rencontrées dans nos bassins : *Moina macrocopa* et *Daphnia magna*.

1. *Moina macrocopa*

Moina macrocopa n'est apparue qu'en juin 1976 mais ses effectifs étaient assez importants (756/litre au point 3 ; 972/litre au point 7 ; 4/litre seulement au point 9, totalement inexistante au point 1).

Les moinidae sont caractéristiques de biotopes hypereutrophes. DINGES et RUST (1972) indiquent que ce sont des organismes très résistants aux mauvaises conditions du milieu. Ces auteurs les ont trouvés dans des étangs du Texas alors que le pH dépassait 9 unités et que les taux en ammoniacque étaient élevés. PACAUD (1939) note leur présence dans des milieux tels que des mares de ferme, où les teneurs en PO₄ sont supérieures à 1 mg/l. ANGELI (1979) constate dans ses bassins de lagunage, un bref remplacement de *Daphnia pulex* et *Daphnia magna* par *Moina* en été lorsqu'il y a coïncidence entre température élevée, forte mise en charge et une activité algale intense.

BANTA et BROWN (1929 *in* HUTCHINSON, 1967) indiquent qu'à 25° C et en présence d'une quantité constante de nourriture, la vitesse de croissance de *Moina macrocopa* est très supérieure à celle des autres espèces. C'est une forme d'été présente dans de petites pièces d'eau en région tempérée. Toutes autres caractéristiques étant égales, *Moina macrocopa* a un énorme avantage sélectif sur les autres espèces à 30° C et même à 25°C. La grande dépendance de cette espèce vis-à-vis de la température permet un développement opportuniste d'une grande population au plus fort de l'été.

2. *Daphnia magna*

PACAUD (1933, 1939), SCHEITHAUER et BICK (1964) considèrent *Daphnia magna* comme une espèce très caractéristique des eaux fortement chargées en matière organique. Dès qu'une population de daphnies s'établit dans un étang, c'est l'écosystème entier qui est

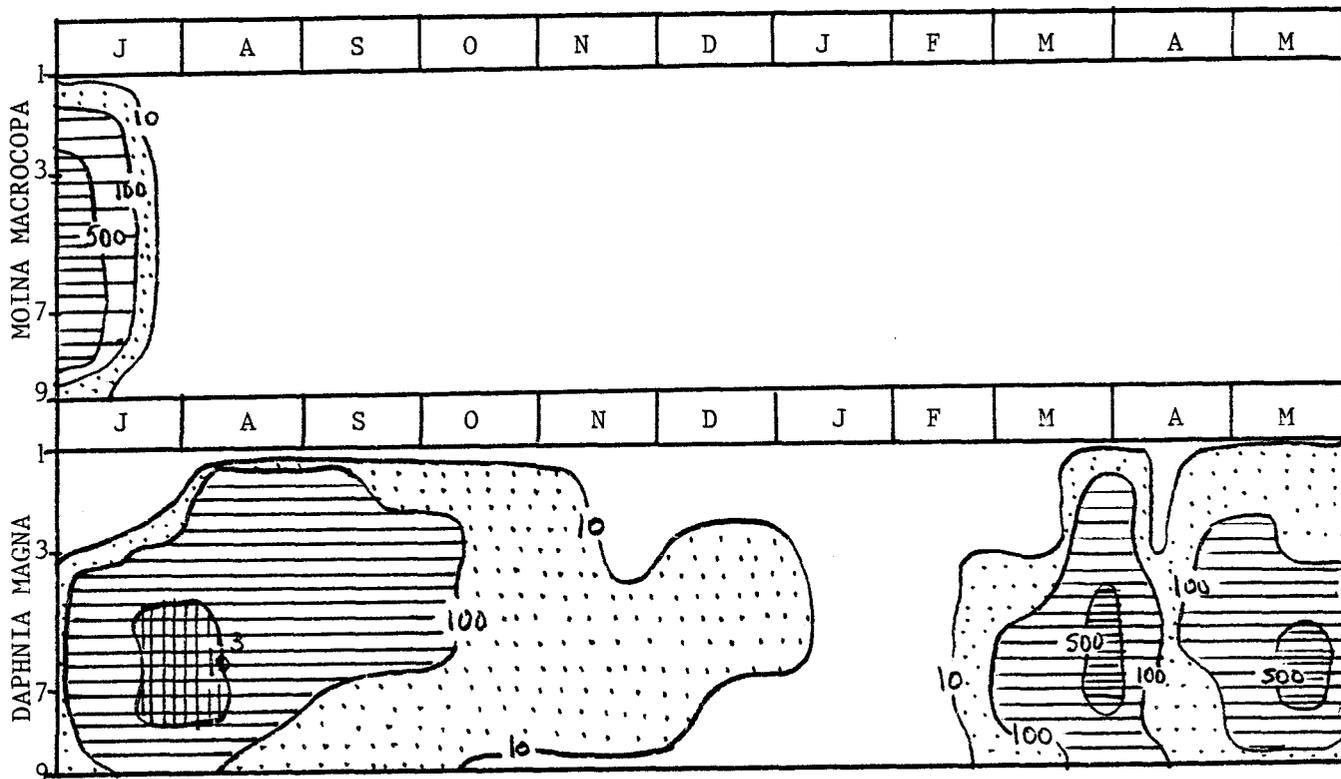


Fig. 29 : VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES 2 ESPECES DE CLADOCERES RENCONTREES.
(effectif/1).

modifié : les daphnies servent de support pour un certain nombre de biontes en particulier pour les Brachions et les Vorticelles, qui ne sont habituellement présents qu'en petit nombre dans les étangs de stabilisation.

D'après DINGES et RUST (1972), la fourchette optimale du pH se situe entre 7,5 et 8. Un pH plus élevé est l'indicateur d'un environnement néfaste qui peut affecter la distribution ionique de l'ammoniaque libre toxique. On observe que la présence simultanée d'ammoniaque et d'un pH supérieur à 8 entraîne une réduction drastique de la population de daphnies. La photopériode joue également un rôle important dans le développement des populations : en général, les daphnies apparaissent quand la période illuminée approche les 10 heures par jour, et restent présentes jusqu'au solstice d'été (14 heures de lumière par jour). L'augmentation de la photopériode se reflète aussi sur l'augmentation de la croissance algale, mais la clarté de l'eau caractéristique des "étangs à daphnies" permet un maximum de pénétration de la lumière.

Les daphnies peuvent supporter de très faibles taux d'oxygène mais ne supportent pas un manque total d'oxygène, même temporairement. Quant il y a assez d'oxygène et que le pH est convenable, ce n'est pas la charge organique qui limite la production d'oxygène mais éventuellement les matières en suspension qui, si elles sont abondantes gênent alors la nage et la filtration.

La diversité des éléments retenus par ces Cladocères est très grande : détritits, bactéries, levures, algues, Protozoaires. Leur spectre alimentaire est large : particules comprises entre 0,6 et 40 μ selon GELLER et MULLER (1981), pouvant aller jusqu'à 200 μ selon POURRIOT (1982). Diverses bactéries sont connues pour convenir aux Cladocères : SCHMIDT (1968), MAC MAHON et RIGLER (1965) ont utilisé entre autres des *Escherichia coli* pour alimenter *Daphnia magna* en élevage. Il n'est donc pas étonnant que leur prolifération ait un rôle important sur la réduction bactérienne.

UHLMANN (1981) établit que des taux élevés provoquent des "périodes d'eaux claires" caractérisées par une forte transparence, des concentrations basses en bactéries et algues, un faible taux d'oxygène dissous (0,2 à 1 mg/l) et une DBO faible. La nitrification est lente voire même bloquée à cause du faible nombre de bactéries. Pendant ces périodes, l'efficacité d'épuration vis-à-vis de la DBO et des bactéries reste importante. La nutrition des Cladocères se fait alors directement sur les détritits (et non plus sur les MES) : il y a alors "court-circuitage" des processus classiques de l'épuration.

Les essais de daphnies augmentent la turbulence de l'eau à petite échelle et favorisent le transport de l'oxygène vers les strates inférieures et les sédiments. Il s'ensuit une augmentation de l'activité des bactéries aérobies dans les strates inférieures. Ce même auteur indique cependant que de telles quantités de daphnies (plusieurs milliers par litre) ne sont pas souhaitables car une modification brusque du milieu (par exemple un apport insuffisant d'O₂) peut provoquer une mortalité soudaine de la population, entraînant une pollution secondaire.

Dans nos bassins, *Daphnia magna* n'est apparu que deux fois dans le "fossé noir" et en très faible quantité : 0,2 à 8 individus par litre en décembre et début mars. A l'intérieur de la lagune il a pratiquement toujours été présent (sauf fin avril au point 9), mais il a subi de grandes fluctuations.

Tout d'abord pendant la présence de *Moïna* (pH élevé), il n'était dans les bassins qu'à raison de quelques individus par litre (2, 28, 12, respectivement aux stations 3, 7 et 9). Après cette période, il s'est développé un peu plus fortement (quelques centaines d'individus par litre, voire plus de 1 500), ceci pendant 2 à 3 mois, puis son effectif s'est mis à régresser (septembre, octobre : moins de 60 individus par litre). En décembre, janvier et février, la densité descend à moins d'un individu par litre, cette période correspondant au niveau de très basses-eaux mais surtout à la période d'empoisonnement. Avec l'installation du by-pass et l'apport concomitant de nourriture, on observe de nouveau une explosion de daphnies (700 individus par litre au point 7 au mois de mai).

2.2.2.6. Copépodes (fig.30)

.....
Ils sont très rarement mentionnés dans la littérature concernant les étangs d'oxydation.

Tous les individus rencontrés dans notre lagune appartiennent à la famille des Cyclopidae. Dans le "fossé noir", ils ne sont apparus que trois fois, et en faible nombre (quelques individus par litre). Aux trois autres stations, ils ont été rencontrés presque en permanence (absents en juillet et août ainsi qu'en juin à la station 3). L'effectif n'est que de quelques dizaines d'individus par litre, au maximum 180, donc en nombre beaucoup plus faible que les Cladocères.

GELLER et MULLER (1981) ont comparé l'efficacité de filtration des Copépodes et des Cladocères. La taille de

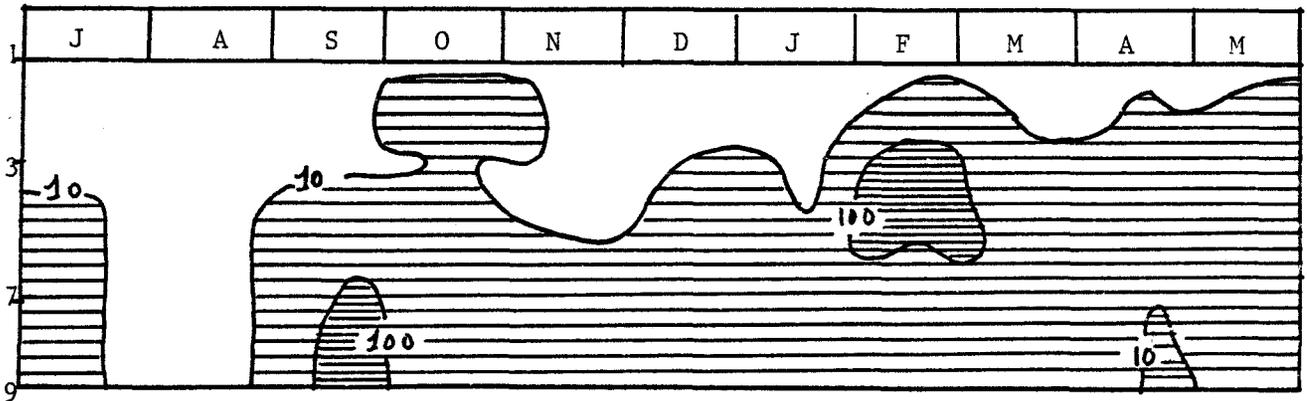


Fig. 30 : EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE L'EFFECTIF DES COPEPODES.
(effectif/l).

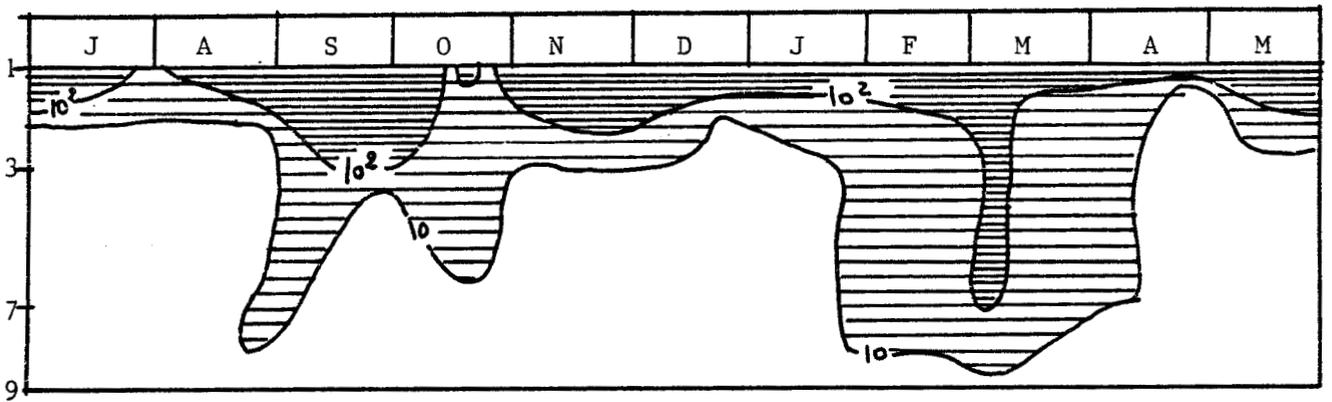


Fig. 31 : EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE L'EFFECTIF DES NEMATODES.
(effectif/1).

maille des filtres des Cyclopidae est supérieure à celle des Cladocères et ils ont, de ce fait, un spectre alimentaire plus étroit : ils les considèrent comme des filtreurs "grossiers", ou macrofiltreurs. Selon ces auteurs, il existerait une succession de ces deux taxons : en hiver, prédominance des copépodes, filtreurs grossiers ; en été, remplacement par des filtreurs plus fins tels que *Daphnia magna*. Dans nos bassins, ce phénomène se confirme en partie : on observe une diminution très nette du nombre de Cladocères en hiver ; cependant les Copépodes, toujours présents, n'augmentent pas. Ils sont en revanche complètement absents en juillet et août.

2.2.2.7. Nématodes (fig. 31)

.....
Les Nématodes sont souvent très abondants dans les étangs d'oxydation (CHANG et KABLER, 1962). Ils ne nagent pas librement dans l'eau mais ont toujours besoin d'un substrat. Parmi les métazoaires associés au traitement des eaux usées, ils sont considérés comme les organismes les plus résistants. Ils apparaissent bien avant les Rotifères car ils supportent des conditions nettement plus sévères. Bien que peu d'espèces soient adaptées aux conditions d'anaérobie stricte, ils supportent mieux que beaucoup d'organismes la raréfaction de l'oxygène (WENINCER, 1971a, b).

Les conditions de nourriture semblent être le facteur primordial qui gouverne la colonisation et la croissance des Nématodes. La principale source est bactérienne. *Escherichia coli* est, selon SCHIEMER (1975), une nourriture tout à fait acceptable pour une très grande variété d'espèces. Selon ce même auteur, l'importance des Nématodes dans la minéralisation de la matière organique dissoute est faible.

Selon MURAD et BAZER (1970) et WENINGER (1971 b), la gamme de température optimale s'étend de 7 à 10° C tandis que CHAUDHURI *et al.* (1965) trouvent un développement maximal de la population pour des températures de 17 à 18° C.

Dans nos lagunes, les Nématodes sont caractéristiques du "fossé noir" où ils sont trouvés en assez grande abondance (de quelques centaines à plus d'un millier par litre) toute l'année, excepté le mois d'octobre.

Aux trois stations à l'intérieur de la lagune, ils sont observés en quantité nettement plus faible (quelques dizaines au maximum) et le plus souvent pendant la saison froide (de septembre

ÉPURATION CHIMIQUE ET BACTÉRIOLOGIQUE D'EFFLUENTS SECONDAIRES DANS LES BASSINS DE MATURATION

Auteurs	Temps de rétention (jours)	Taux de réduction %										
		Paramètres chimiques						Paramètres bactériologiques				
		Matières en suspension	DBO ₅	DCO	Oxydation permanganique	Azote total	Azote ammoniacal	Azote nitrique	<i>E. coli</i>	Strep. fécaux	Germes totaux 20°C	
MYERS (1949)			88									
STANDER (1955)									99,98	98,9		
FALL (1958)	1,8	67	41-51	72								
METZLER <i>et al.</i> (1958)	17		75	75								
KELLER (1959)									99,7-99,99			
PARKER (1962)	6,3-7,3		82-84						99,97-99,99	99,95	94-98	
CILLIE (1962)	66		92		67				99,30			
TAYLOR (1964)	17	84	70						99,99			
OSBORN (1964)	49,7				55	76	92	20				
TRUESDALE <i>et al.</i> (1964)	2,1	35										
GAILLARD <i>et al.</i> (1964)	15		73	35			25	39	99,99			
BOLITHO (1964)	21		73		53		70	35	99,76			
RIGBY (1965)	5,3	64	55									
LOEHR <i>et al.</i> (1965)			20-70									
DREWS (1966)	9,2			44	48	36	36		96,81-99,61			
OSBORN (1968)	27		30-43		2-37		48-73	23-17	99,0-99,97			
OAKLEY <i>et al.</i> (1969)	17	83	53-90									
RASCHKE (1970)	3,7-4,2		6-78				60-100	0-100				

extrait de WALKER et LECLERC, 1973

PERFORMANCES DANS LES ETANGS DE MATURATION, extrait de MITCHELL et WILLIAMS, 1982

- élimination de la DBO : 13 à 35 %,
- élimination des MES : 8 à 50 %,
- élimination de l'N organique : 0 à 72 % (DINGES, 1978 ; DREWS, 1966),
- élimination du NH₃ : 29 à 71 % (DINGES, 1976, 1978),
- élimination du P-PO₄ : 31 % (DINGES, 1976, 1978),
- élimination du phosphore total : 25 % (CARPENTER *et al.*, 1976).

Tableau 4 : PERFORMANCES DANS LES BASSINS DE MATURATION
(extrait de la littérature).

à février). Ils ont quand même été dénombrés aux mois de mai et juin 1977 à la station 3, et sont présents aux trois stations en octobre. Il est probable que les populations présentes dans la lagune proviennent du "fossé noir" et soient en déclin.

2.3. Performances de la lagune

On retrouve souvent dans la littérature les termes de : performances, taux de réduction, rendements d'épuration, etc... (cf. Tableau 4).

De ce fait, nous avons calculé pour chaque descripteur étudié, le pourcentage d'amélioration entre l'amont et l'aval. En l'absence de données sur l'hydraulique (pertes par infiltration ou évaporation, temps de rétention, pluviométrie, etc...), cette notion est peu objective puisque l'eau analysée le même jour à l'entrée et à la sortie du bassin n'est pas la même en raison du temps de rétention inconnu de sorte que l'abattement calculé ne décrit pas rigoureusement la perte de pollution au cours de la rétention. L'évaluation de ces performances nous permettra, cependant, d'avoir une notion générale sur l'évolution de ces descripteurs. Pour cela les performances moyennes (abattement calculé sur les moyennes des sorties et des entrées) ont été calculées pour l'ensemble de l'année et pour 6 "sous-périodes" regroupant plusieurs mois consécutifs caractérisés par leur ressemblance. Les résultats sont regroupés dans le tableau . Nous avons ajouté les valeurs moyennes de la chlorophylle a et de la biomasse zooplanctonique. Ces résultats appellent les commentaires suivants :

Juin 1976

La température de la lagune est supérieure à 25°C. La mise en charge de la lagune est plus forte que les charges admissibles. L'azote minéral total est élevé en amont (70 mg/l) mais plus de 70 % est éliminé lorsque l'eau arrive en aval. Aux stations 1 et 3, où le taux d'oxygène est faible, cet azote est entièrement sous forme ammoniacale. Le taux d' NH_3 non dissocié est estimé de 2 à 3 mg/l. Aux stations 7 et 9, les taux d'oxygène sont nettement plus favorables (respectivement 6,2 et 3,6 mg/l) et les nitrites et nitrates augmentent. Pendant ce mois, le phytoplancton est très abondant ($\bar{m} = 90,9 \text{ mg/m}^3$) et le zooplancton (90,7 mg/l) se caractérise par le développement de *Moina macrocopa* et l'abondance des Rotifères. Sur le plan des performances, on constate une élimination importante des nutriments (73 %

pour l'azote et 86 % pour les orthophosphates). En ce qui concerne la DBO, la DCO et les MES, les taux de réduction sont nettement inférieurs à la moyenne annuelle. Quant aux bactéries, au point 7, leur réduction est de l'ordre de 99,99 % mais il n'est plus que de 99,90 % à la station 9.

Juillet, août et septembre

Les températures sont encore élevées (supérieures à 17°C) et les bassins sont sous chargés. Malgré les concentrations en phyto-plancton supérieures à la moyenne, le bilan en oxygène se solde par un déficit important. Les mesures étant faites le matin, il est possible que le déficit en O₂ provoqué par la nuit n'ait pas encore pu être compensé. Mais la biomasse du zooplancton (2,4 g/l en juillet à la station 7 et 878 mg/l en moyenne sur les trois stations de la lagune ; soit environ 9 t/ha) est telle qu'elle peut, par sa respiration, expliquer ces faibles valeurs en oxygène. Ces dernières peuvent entraîner un passage NO₃ → NO₂ et un relargage de NH₄ par les sédiments. Le taux d'azote minéral est à son minimum (tout au moins en amont), il reste constant dans le temps (20 à 30 mg/l) mais augmente légèrement d'amont en aval. Pendant cette période, le taux de nitrate est maximum dans le fossé noir. La résultante de la dénitrification, de la photosynthèse et de la régénération se traduit par une augmentation progressive du NH₄ de l'amont vers l'aval. Il s'ensuit que malgré la faible charge à l'entrée de la lagune, l'eau à l'aval est de mauvaise qualité que ce soit sur le plan de l'oxygénation ou de l'ammoniaque. Nous reviendrons sur cet aspect du métabolisme du plancton dans la conclusion de la quatrième partie.

Dans des conditions optimales de production de daphnies, DE PAUW *et al.* (1980) obtiennent sur son de riz des maxima de 400 à 600 mg/m³/semaine de poids humide de *Daphnia magna*. Or, dans ces conditions, les daphnies consomment 36 mg/DCO/l/jour. A cette période, les apports de la station d'épuration sont insuffisants pour maintenir une biomasse aussi importante ; un apport endogène et un recyclage de la matière organique sont indispensables.

Sur le plan bactériologique, les performances sont de piètres qualités. Ce rendement faible s'explique en partie par les taux faibles à l'entrée (surtout en ce qui concerne les germes totaux et les *Escherichia coli*).

Novembre, décembre, janvier

La température atteint la limite du seuil critique pour l'épuration (inférieure à 7°C). La surcharge en DBO se traduit par une augmentation importante du NH_4 et du PO_4 . L'élimination de l'azote total est moins importante. Cette période de basses-eaux est associée à une augmentation de la teneur en oxygène et à une pauvreté du zooplancton. On observe alors une période de nitrification intense. Le rapport N/P est faible (entre 4 et 5) et l'azote risque d'être limitant malgré ses concentrations importantes.

L'installation du by-pass en février s'est fait ressentir principalement sur les formes d'azote : augmentation du NH_4 et de l'azote minéral total aux niveaux des stations 3 et 7. Malgré le court-circuitage du gradient amont-aval, l'épuration se fait bien sentir à la station 9.

Pour les autres périodes, les performances sont assez proches des moyennes annuelles, indiquées dans la colonne de droite du tableau 5.

Tableau 5 : PERFORMANCES DANS LES ETANGS D'ANICHE-AUBERCHICOURT. (exprimées en % d'amélioration).

Descripteur	Juin seul	1976 P. estivale juillet à septembre	P. hivernale novembre à janvier	Février	P. printanière mars à mi-avril	1977 P. estivale mi-avril à juin	Moyenne annuelle
D.B.O. ₅	16,7	4,4	82,6	86,8	88,8	82,8	73,6
D.C.O.	28,9	25,5	64,2	77,1	69,3	60	50,8
M.E.S.	37,5	- 176	- 99	81	81,7	63,3	55,4
N-NO ₃	*	97,7	*	83,3	*	*	50,2
N-NO ₂	*	78,3	*	20	*	*	57,5
N-NH ₄	74,7	- 136,5	45,7	90,6	59,5	36,6	43
N total	73,3	- 15,1	38,8	*	58,2	34,2	43,6
P-PO ₄	85,6	67,5	50,1	23,6	34,9	23,9	42,8
SO ₄	- 45	- 1,9	7,1	2,3	- 0,8	9,4	4,9
Cl	16,4	- 15	3,6	1,5	- 3,2	17,1	- 2,7
Germes totaux	99,9	- 133 en 1 54,34 en 7	99,9	99,59	99,8	99,97	98,4
Coliformes totaux	99,90 en 9 99,99 en 7	99,4	99,96	en hausse	99,92	99,99	99,8
E. coli	99,90 en 9 99,99 en 7	99,8	99,97	en hausse	99,99	99,99	99,8
Chl a mg/m ³	90,9	15,6	4,9	12,2	9,22	11,4	15,9
Biomasse zoo- planctonique en mg/l	90,7	384	9,8	2,8	97,8	98,4	126

* Pour NO₃ et NO₂, les valeurs étant nulles à l'entrée, l'amélioration n'est pas estimable

TROISIÈME PARTIE

ÉTUDE DE LA DIVERSITÉ TAXONOMIQUE

TROISIÈME PARTIE

ETUDE DE LA DIVERSITÉ TAXONOMIQUE

Notre étude sur les bassins de lagunage ne prétend pas avoir recensé de façon exhaustive toutes les espèces présentes ayant joué un rôle dans l'autoépuration. Mais toutes les stations ont été échantillonnées et dépouillées de façon similaire : il est donc possible de les comparer entre elles et de dégager les caractéristiques de chacune d'elles et leur importance respective.

Après avoir vu la composition taxonomique, il nous a semblé intéressant d'analyser la structure du peuplement aux différentes stations. Devant l'ampleur des données à considérer, la concentration de l'information dans des indices et diagrammes facilite les comparaisons. Des indices descriptifs tels que la richesse taxonomique, la diversité spécifique, la diversité relative encore appelée régularité (evenness) sont des indices classiquement utilisés pour caractériser différents peuplements. Des diagrammes caractéristiques permettent parfois d'affiner la description globale : spectres de diversité, diagrammes rangs-fréquences...

Cette étude de structure peut d'autre part se faire soit sur la base du nombre d'individus de chaque unité taxonomique identifiable, soit sur la base de leur biomasse. La première option est relative au fait que les conditions d'apparition d'une espèce dans la biocénose concernent les individus isolément : ce sont des individus qui apparaissent ou n'apparaissent pas, de façon discrète. La deuxième option tient à ce qu'il ne paraît pas justifié d'attribuer la même importance dans la biocénose à un individu de grande ou petite taille. Les deux options correspondent donc à deux types de descriptions de l'écosystème. Nous avons, dans cette partie de notre travail, calculé les divers indices successivement à partir des nombres d'individus et des biomasses.

Parmi les très nombreux indices proposés dans la littérature, nous avons retenu les suivants :

-richesse taxonomique (nombre de taxons),

	Nb de taxons observés	Effectif \bar{m} par litre	Amibes		Ciliés		Rotifères		Cladocères		Copépodes		Nématodes		Espèces non observées
			Nb de taxons observés	Z	Nb de taxons observés	Z	Nb de taxons observés	Z	Nb de taxons observés	Z	Nb de taxons observés	Z	Nb de taxons observés	Z	
Station 1	18 17 (Amoeba non compris)	16 442 <i>1,12</i>	1	0,01	7	94,1 <i>40,12</i>	7	0,6 <i>11,04</i>	1	0,003 <i>16,15</i>	-	0,0016 <i>0,20</i>	-	5,2 <i>32,4</i>	<i>Moina macrocopa</i> <i>Polyarthra vulgaris</i> <i>Asplanchna</i> <i>Br. urceolaris</i> <i>Chilodonnella</i> <i>Aslytozoon</i> <i>Lionotus</i> <i>Oxytrichidae</i>
Station 3	22	7 898 <i>171,2</i>	0		8	94 <i>0,21</i>	10	3,4 <i>0,32</i>	2	2,1 <i>99,31</i>	-	0,4 <i>0,17</i>	-	0,1 <i>2,10</i>	<i>Amoebiens</i> <i>Acinetien</i> <i>Colpidium</i> <i>Oxytrichidae</i>
Station 7	20	1 690 <i>290,5</i>	0		7	52,5 <i>0,01</i>	9	25,4 <i>0,38</i>	2	19,4 <i>99,36</i>	-	2,5 <i>0,25</i>	-	0,1 <i>0,00039</i>	<i>Amoebiens</i> <i>Rhinoslena</i> <i>Acinetien</i> <i>Colpidium</i> <i>Chilodonnella</i> <i>Oxytrichidae</i>
Station 9	20	478 <i>44,1</i>	0		7	16,8 <i>0,007</i>	9	61,4 <i>0,93</i>	2	12,2 <i>98,30</i>	-	8,9 <i>0,76</i>	-	0,7 <i>0,003</i>	<i>Amoebiens</i> <i>Rhinoslena</i> <i>Acinetien</i> <i>Monodinium</i> <i>Chilodonnella</i>
Ensemble des Stations	26 25 sans Amoeba	6626 <i>126,7</i>	1		11	90,1 <i>10,33</i>	10	4,1 <i>3,15</i>	2	2,1 <i>77,88</i>	-	0,4 <i>0,35</i>	-	3,3 <i>8,59</i>	

Tableau 5 : RICHESSE TAXONOMIQUE ET POURCENTAGE DES DIFFERENTS TAXONS POUR CHAQUE STATION ET POUR L'ENSEMBLE DES STATIONS.

Effectif : chiffres droits ;

Biomasses: chiffres italiques .

- pourcentages relatifs des différents taxons (dominances),
- indice de diversité de Shannon et régularité.

Les diagrammes que nous avons utilisés sont :

- les "diagrammes rang-fréquence" (où la "fréquence" est l'abondance relative des espèces dans une récolte ou un groupe de récoltes),
- les "diagrammes abondance-fréquence" (où il s'agit des fréquences d'apparition des diverses espèces).

1 - RICHESSSE TAXONOMIQUE ET POURCENTAGES DES DIFFERENTS TAXONS

La richesse spécifique d'un peuplement est le nombre d'espèces qui le constituent. Nous n'avons pas toujours pu réaliser les déterminations jusqu'à l'espèce, et nous parlerons de "richesse taxonomique".

1.1. Variations amont-aval

26 taxons ont été distingués sur l'ensemble des stations mais toutes les espèces n'ont pas été rencontrées à chaque station. Le tableau 5 donne, pour chaque station et pour l'ensemble des stations, le nombre de taxons et les pourcentages en nombre d'individus (chiffre droits) et en biomasses (*chiffres italiques*) de chacun d'eux, observés sur l'année entière.

Si l'on considère l'ensemble des groupes, on constate que la station 3 est la plus diversifiée : 22 espèces sur 26 observées au total. La station la moins diversifiée est la station 1 (fossé noir) : 18 espèces ; les stations 7 et 9 ont montré 20 espèces. Le nombre d'individus, toutes espèces confondues diminue de façon régulière et importante d'amont en aval. La biomasse montre un gradient beaucoup plus contrasté : très faible à la station 1, elle augmente fortement jusqu'à la station 7, puis devient assez faible à la 9.

Les Amibes n'ont été rencontrées que deux fois, et seulement à la station 1.

Les Ciliés comprennent 7 ou 8 espèces dans chaque station, et 11 pour l'ensemble des stations. Leur abondance relative est très importante à la station 1 et décroît vers l'aval, passant de 94 à 16,8 % en effectifs. En biomasse, ils ne sont importants qu'à la station 1 (40,12 %). Dans la lagune, ils diminuent de 0,21 à 0,007 % d'amont en aval.

Les Rotifères comprennent 10 espèces (pas toutes présentes à toutes les stations). Ils montrent un gradient opposé à celui des Ciliés, le pourcentage en effectifs croissant régulièrement de 0,6 à 61,4 % de l'amont (station 1) à l'aval. Le pourcentage en biomasse est de 11,04 %

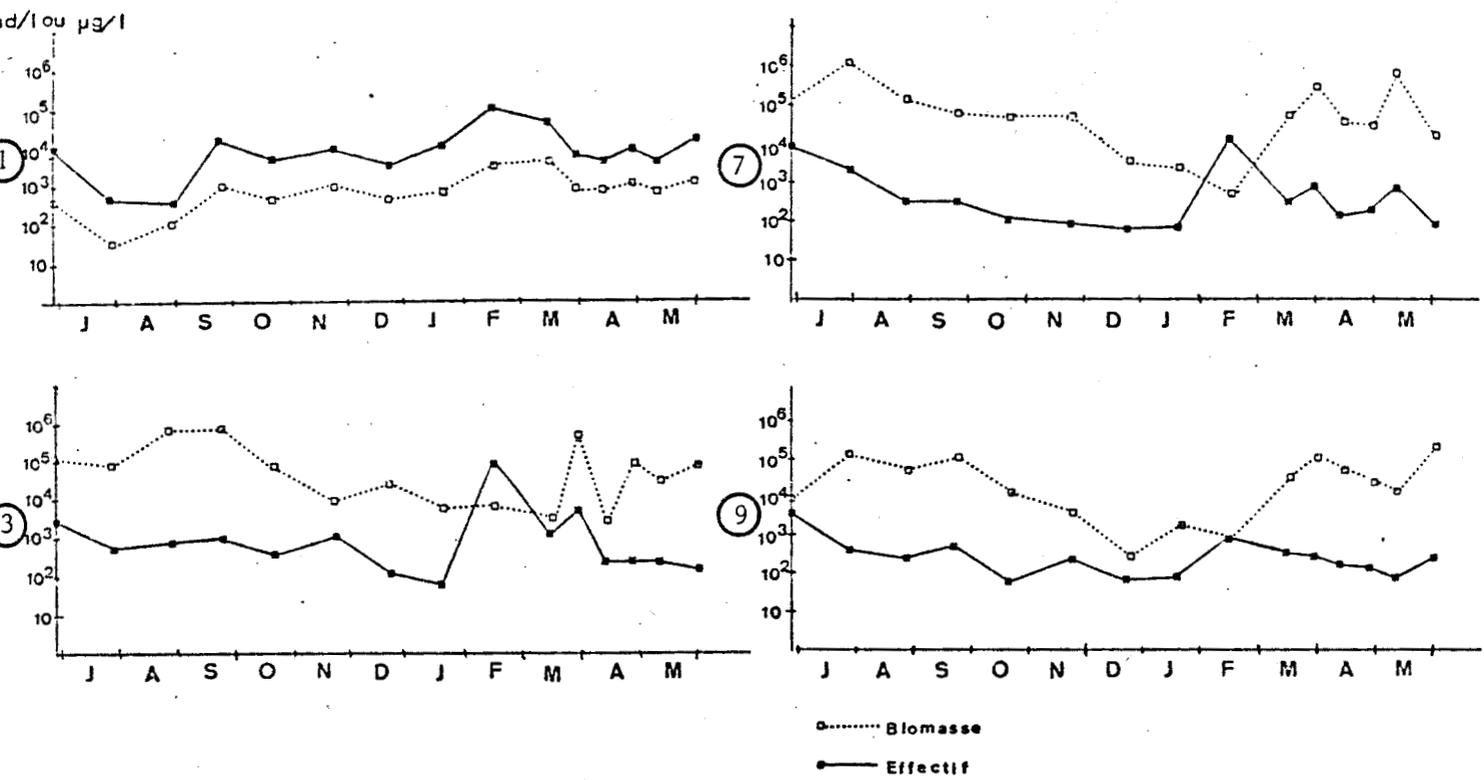


Fig. 32 : VARIATIONS ANNUELLES DE LA DENSITE ET DE LA BIOMASSE DES ORGANISMES AUX QUATRE STATIONS.

dans le fossé noir, puis devient infime dans la lagune (0,32 à 0,93 %) en raison de la prédominance des Cladocères.

Les Cladocères (2 espèces) sont apparus très rarement à la station 1 (donnant cependant, en raison de leur taille, une biomasse de 16,13 %). Dans la lagune, leur effectif ne dépasse pas 19,4 % et cependant leur biomasse représente en moyenne de 98,30 à 99,36 % de la biomasse totale.

Les Copépodes sont toujours en effectifs inférieurs aux Cladocères ; très rares dans le fossé noir, ils augmentent d'amont en aval, dans la lagune (seulement 8,9 % à la station 9). Leur biomasse augmente de même de la station 1 à la station 9, sans dépasser toutefois 0,76 % de la biomasse totale.

Ils ne semblent pas avoir joué un rôle très important.

Les nématodes suivent un gradient voisin de celui des Ciliés : maximum dans le fossé noir (5,2 % en effectifs, 32,4 % en biomasse), rares dans la lagune avec cependant une légère remontée de l'abondance à la station 9 - peut-être en raison de l'accumulation en cette station de matériel organique, ainsi que nous l'avons déjà signalé.

En résumé, la station 1 (en amont de la première pompe) se caractérise par une biomasse faible mais un nombre d'individus très élevé, et un nombre d'espèces réduit comprenant surtout des Ciliés et des Rotifères. Les Cladocères y sont rares tandis que les Amœbiens, Acinétiens et *colpidium* ne sont présents qu'à cette station.

La station 3 est la plus diversifiée, comprenant tous les taxons recensés dans la lagune, à l'exception des Oxytrichidae. Cette diversité dénote peut-être un mélange entre le peuplement en provenance du fossé noir, et le peuplement propre à la lagune. La biomasse est élevée.

La station 7 montre la biomasse maximale.

La station 9 montre une chute de biomasse importante par rapport à la précédente. Les Rotifères sont dominants en effectifs, alors que les Ciliés l'étaient dans toutes les autres stations.

Il est possible que la position des stations 3 et 7 par rapport à la configuration des bassins explique en partie l'importance numérique des Cladocères. En effet, ces stations sont situées près des goulots d'étranglement, ce qui pourrait favoriser la pullulation de ce groupe. Quelques observations réalisées entre les stations 3 et 7 ont souvent montré des densités de Cladocères inférieures à celles observées près des goulots.

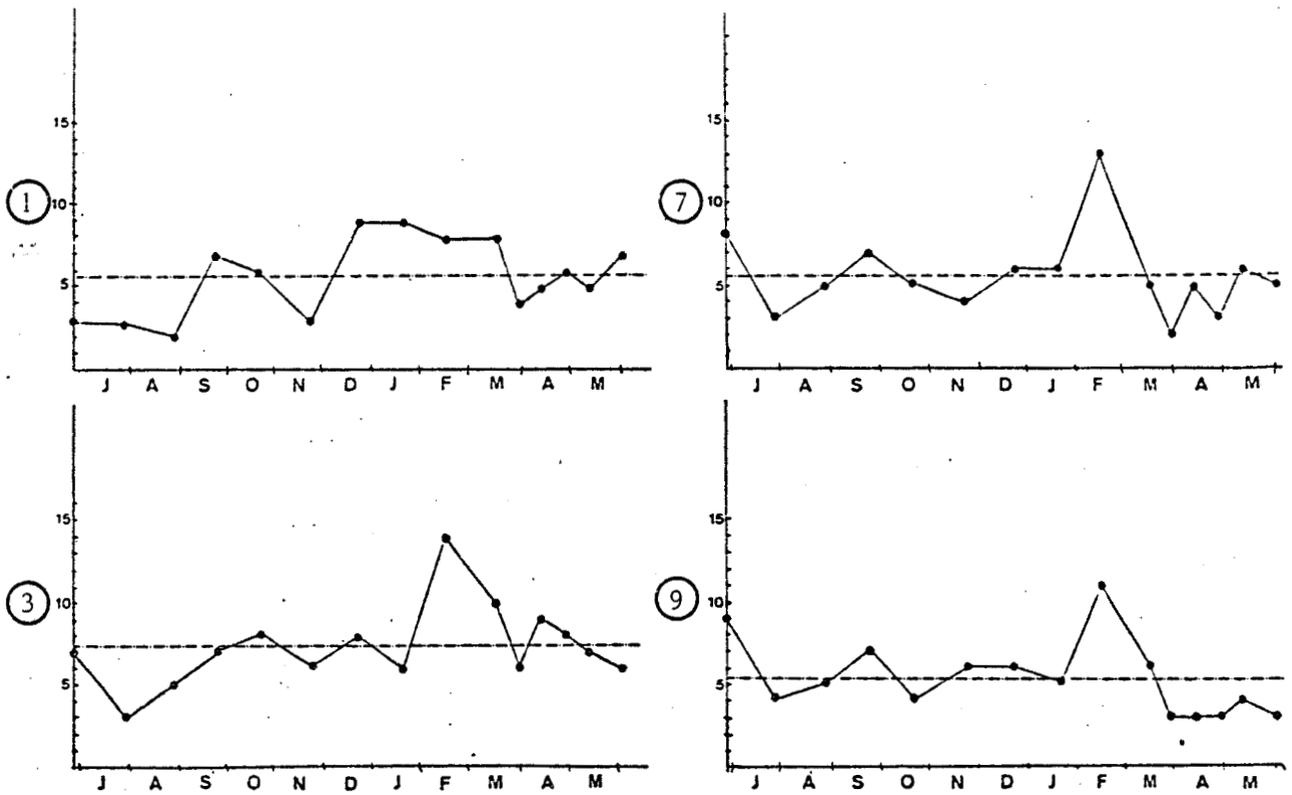


Fig. 33 : VARIATIONS SAISONNIERES DE LA RICHESSE TAXONOMIQUE
AUX QUATRE STATIONS.

(Le trait en tiret correspond à la richesse stationnelle moyenne).

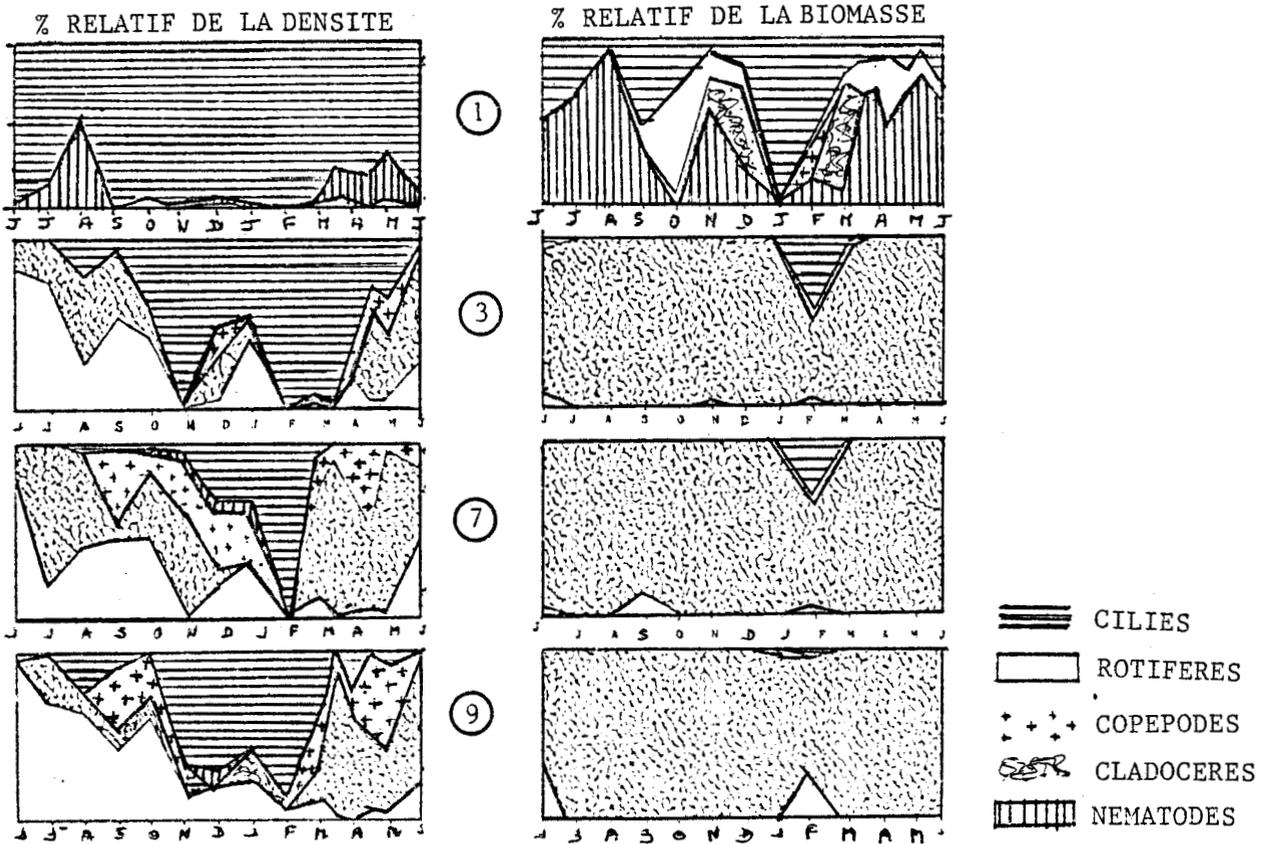


Fig. 34 : VARIATIONS SAISONNIERES DES POURCENTAGES DES PRINCIPAUX
GROUPES TAXONOMIQUES.

(en nombre d'individus et en biomasse).

1.2. Variations saisonnières

Nous décrivons les variations de la richesse taxonomique dans chaque station par comparaison avec une "richesse stationnelle moyenne", nombre moyen d'espèces observées dans la station aux différentes dates (fig. 33). Cette richesse moyenne ne s'identifie pas avec la richesse taxonomique totale de chaque station, examinée au paragraphe précédent.

Les stations 1,7 et 9 montrent respectivement des richesses moyennes de 5,67 5,53 et 5,27 espèces par récolte, valeurs non significativement différentes au vu des écarts-types (respectivement 2,32 ; 2,59 ; 2,34). La station 3 est significativement plus riche en espèces : moyenne stationnelle 7,33 ; écart-type 2,50.

Le nombre d'espèces rencontrées est inférieure à la moyenne annuelle en juillet et août, surtout aux stations 1 et 3. Une augmentation du nombre d'espèces se note ensuite à la station 1 entre décembre et mars, mais n'est noté qu'en février et mars aux autres stations. Rappelons qu'en février le "by-pass" a été ouvert, permettant l'entrée dans la lagune de l'eau de la station avec sa faune, laquelle était précisément plus diversifiée à cette époque (voir station 1 de décembre à mars). Le nombre d'espèces au moment du pic de février est de 13 et 14 aux stations 3 et 7, et 11 seulement à la 9, où quelques espèces ont eu le temps d'être éliminées.

Les variations dans le temps et dans l'espace des pourcentages (en nombre d'individus et en biomasse) des principaux groupes taxonomiques sont représentés à la figure 34.

En biomasse, les Cladocères dominant de façon titanesque dans les trois bassins, leur pourcentage ne diminuant qu'en février, au bénéfice des Ciliés pour les stations 3 et 7, des Rotifères pour la station 9. A la station 1, la biomasse se partage entre les Ciliés, Nématodes et dans une moindre mesure les Rotifères.

En effectifs d'individus, les Ciliés sont très largement prédominants, suivis des Nématodes à certaines époques de l'année. Dans les bassins on observe une évolution le long de l'année, avec essentiellement une alternance entre Ciliés (octobre à mars) et Rotifères (juin à octobre) ; Copépodes et Cladocères forment, eux aussi, un pourcentage notable en effectifs.

2 - DIVERSITE , REGULARITE

2.1. Définitions et propriétés

La richesse taxonomique est une mesure de diversité insuffisante puisqu'elle ne permet pas de différencier des peuplements comportant un même nombre d'espèces, avec des fréquences relatives très différentes. La notion de diversité spécifique a été introduite pour rendre compte de cette inégale répartition des individus entre les espèces.

Parmi les nombreux indices de diversité cités dans la littérature, nous avons choisi l'indice de Shannon, indice le plus fréquemment utilisé par les écologistes. De plus cet indice a l'avantage de pouvoir se généraliser à la biomasse. Cet indice intègre la richesse taxonomique et l'abondance relative des taxons. Il est calculé comme suit :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

p_i est l'abondance relative de la $i^{\text{ème}}$ espèce, soit en effectifs, soit en biomasse ;

S est le nombre total d'espèces de la station.

Les propriétés de l'indice de diversité spécifique peuvent se résumer comme suit :

$H = 0$ (valeur minimale) si l'échantillon ne contient qu'une seule espèce. Cet indice augmente à mesure que s'accroît le nombre d'espèces.

Pour un nombre donné d'espèces, H est maximum quand toutes les espèces sont également représentées dans l'échantillon (dans ce cas $H = \log_2 S$). Par contre, plus il y a dominance d'un petit nombre d'espèces, moins l'échantillon est diversifié.

L'indice de diversité n'étant qu'un repère de l'état fonctionnel de l'écosystème et non une variable d'état, ce n'est pas tant sa valeur absolue que l'on suivra, que sa variation le long des gradients spatio-temporels.

Afin de pouvoir distinguer la partie prise, dans le calcul de l'indice de diversité, par le nombre d'espèces en présence, on a représenté sur chaque graphique de variation de H la valeur de $H_{\text{max}} = \log_2 S$, indice de diversité maximal théorique avec ce nombre d'espèces.

TRAVERS (1971) a montré que deux indices de même valeur peuvent correspondre à deux peuplements très différents dans leur structure quantitative. IL faudra donc être prudent dans les comparaisons des valeurs et ne pas se limiter à cet indice pour juger d'un peuplement.

Considérant que la diversité spécifique est constituée de deux entités qui doivent être interprétées séparément : le nombre d'espèces et la régularité de leurs distributions de fréquence, plusieurs auteurs ont défini de diverses façons des indices de diversité spécifique relative (LLOYD et GHERLARDI, 1964 ; Mc INTOSH, 1967 ; HURLBERT, 1971 ; PIELOU, 1966, 1975).

Ce dernier auteur propose de relativiser les valeurs de la diversité (H) par un autre indice "l'évenness" encore appelé régularité. Cet indice se définit comme le rapport de la diversité réelle à la diversité maximale :

$$R = \frac{H}{H_{\max}}$$

R varie donc de 0 à 1, et sera d'autant plus près de 1 que les taxons d'abondance moyenne sont mieux représentés. Finalement l'indice de diversité se représente comme le produit de deux facteurs rendant compte chacun d'une des composantes de la diversité : nombre d'espèces et régularité, puisque :

$$H = \frac{H}{H_{\max}} \cdot H_{\max} = R \cdot \log_2 S$$

2.2. Remarques sur le choix de l'ensemble-cible

Il pourra paraître singulier que la "cible" du calcul des diversités (comme celle des diagrammes rang-fréquence envisagés plus loin) soit un ensemble hétérogène d'unités taxonomiques, allant de l'embranchement à l'espèce : les nématodes, les Vorticellidae, *brachionus rubens*... En effet, les théoriciens de la diversité parlent essentiellement de diversité spécifique (considérant que l'environnement est partagé en niches écologiques définies par des espèces), parfois de diversité à des niveaux taxonomiques différents (genres, familles), mais pratiquement jamais en mêlant les unités taxonomiques d'importances différentes.

Or il faut revenir, pour comprendre la signification de la diversité, à sa définition dans le cadre de la Théorie de l'information (ATLAN, 1972). L'indice de diversité de Shannon est une quantité d'information : c'est l'information contenue dans une description, précisément dans notre cas, la description d'une récolte de plancton au niveau de précision où on la donne. Ce niveau est arbitraire.

Mais il est tout aussi arbitraire de retenir, de façon exclusive, l'espèce dans une description de biocénose. En effet une biocénose est toujours complexe et organisée hiérarchiquement : une espèce est à la fois originale dans ses rôles écologiques, et partiellement redondante

Stations		H	$H_{\max} = \log_2 S$	$R = H/H_{\max}$
1	effectif	0,91 (0,40)	2,30 (0,74)	0,42 (0,21)
	biomasse	1,43 (0,54)		0,62 (0,16)
3	effectif	<u>1,79</u> (0,61)	<u>2,80</u> (0,50)	0,64 (0,10)
	biomasse	0,33 (0,54)		0,10 (0,14)
7	effectif	1,51 (0,56)	2,34 (0,64)	0,65 (0,19)
	biomasse	0,42 (0,71)		0,14 (0,20)
9	effectif	1,52 (0,52)	2,31 (0,57)	0,67 (0,16)
	biomasse	0,47 (0,74)		0,17 (0,22)

Tableau 6 : MOYENNES ET ECARTS-TYPES DE H, H_{\max} ET R
AUX QUATRE STATIONS.

vis-à-vis d'espèces voisines. Il en est de même de toute catégorie taxonomique, à quelque niveau que ce soit. Par exemple, il peut y avoir de nombreuses espèces de Vorticellidae, mais toutes sont microphages, fixées, et de tailles similaires : les Vorticellidae, groupe lui-même diversifié, montrent donc un type particulier et commun d'insertion dans l'écosystème, et les considérer globalement n'est nullement absurde. C'est d'ailleurs ce que les hydrobiologistes classiques font couramment en étudiant les variations spatio-temporelles des Ciliés, à côté de celles des Nématodes et des *Brachionus rubens* et en les représentant par des graphiques similaires. Là aussi la description est arbitraire, liée principalement sinon uniquement, il faut le dire, à la facilité de détermination rapide des unités choisies. La diversité mesure simplement la quantité d'information d'une telle description de caractère classique.

Une seule précaution est impérative : calculer les diversités toujours à partir des mêmes descripteurs.

Cette diversité étant calculée, il est justifié d'en rechercher les variations selon l'espace, le temps et les conditions écologiques. On pourra ensuite, si on le désire, étudier la diversité intérieure d'un groupe : diversité des Ciliés par exemple. Notons enfin que l'espèce n'est nullement la plus petite unité écologique concevable ; les sous-espèces, les écophases, les classes d'âge, les clones, pools génétiques, peuvent avoir des rôles écologiques distincts et donc justifier un calcul de diversité fondé sur une description intra-spécifique des communautés : une telle attitude réductionniste n'aurait pas de fin et devient stérile. Notre attitude est la suivante : un certain niveau de description étant admis (à la fois parce qu'il est praticable, et justifié écologiquement puisque les "catégories" sont plus homogènes intérieurement qu'entre elles), nous étudions la diversité à ce niveau.

2.3. Résultats

Le tableau ci-contre indique les moyennes et écarts-types de H, H_{\max} et $R = H/H_{\max}$ rencontrés aux quatre stations. La figure 35 représente les variations dans l'année de ces quantités.

En effectifs, la diversité et la régularité du fossé noir sont très faibles. Dans les bassins de lagunage, la diversité est maximale à la station 3 (nous avons déjà signalé que cette station comportait le plus grand nombre de taxons sur l'année) ; la diversité diminue légèrement aux stations 7 et 9, alors que la régularité reste pratiquement

EFFECTIF

BIOMASSE

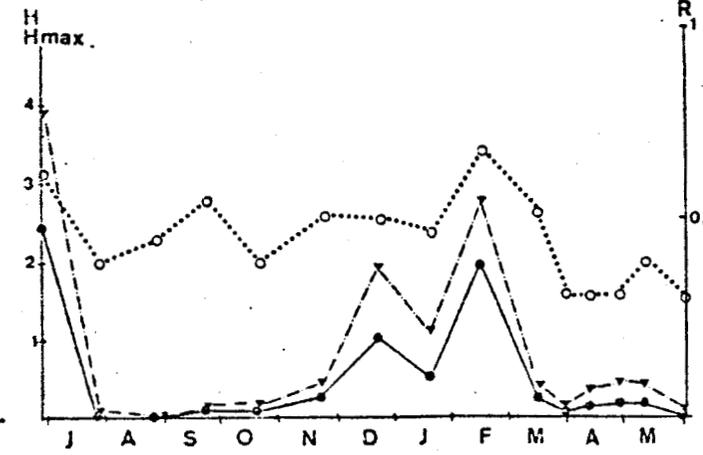
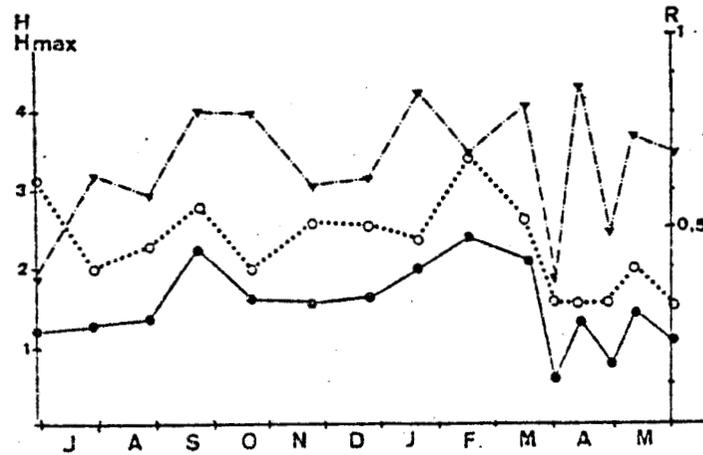
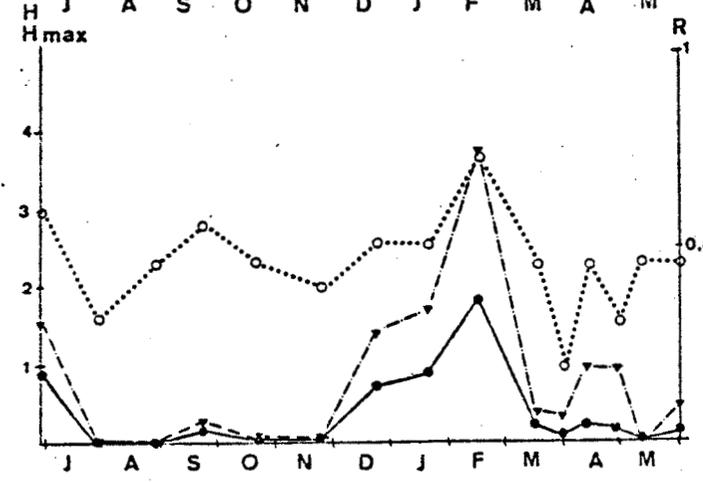
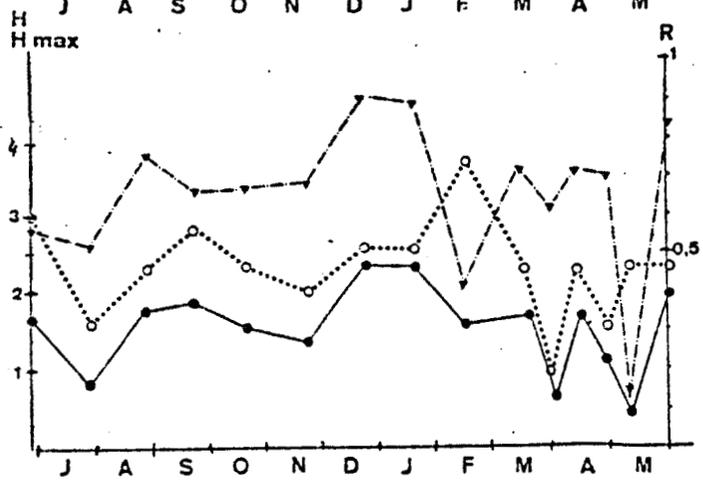
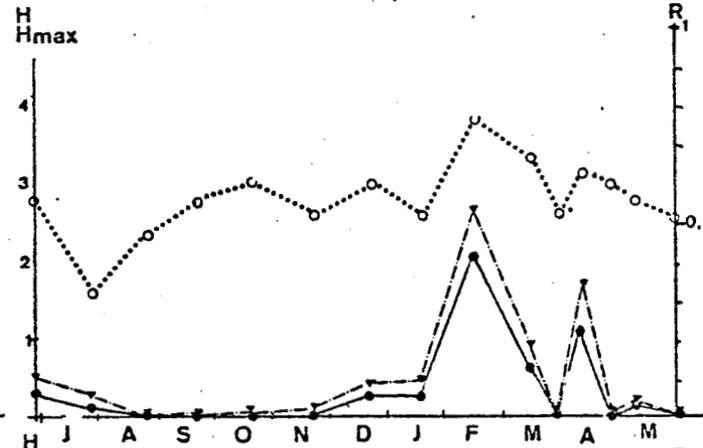
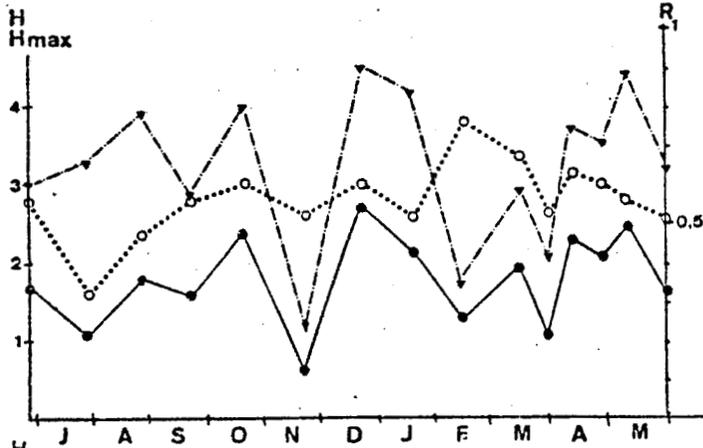
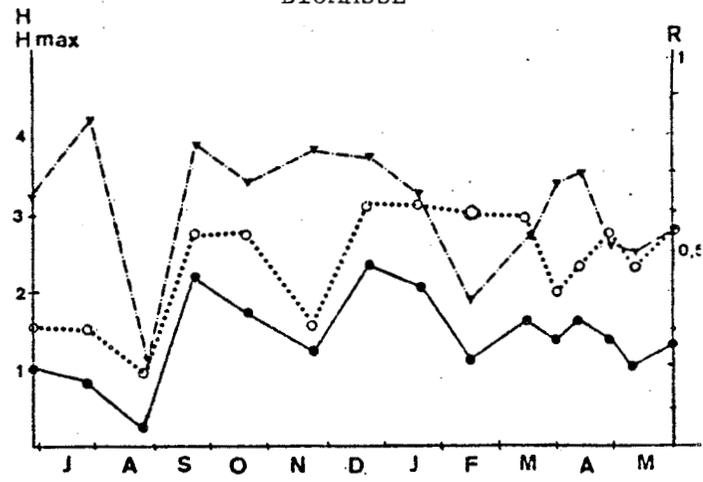
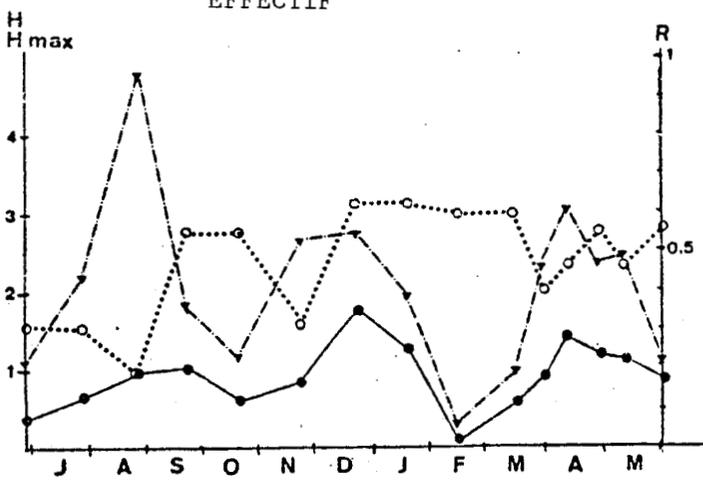


Fig. 35 : VARIATION ANNUELLE DE H, H_{MAX} ET R AUX QUATRE STATIONS.

—●— H
○..... H_{MAX}
 -▲- R

la même : seul le nombre d'espèces diminue un peu.

La diversité en biomasse est plus élevée que celle en effectifs pour le fossé noir. Dans la lagune, au contraire, la diversité en biomasse est plus faible, surtout à la station 3 ; cette faible diversité est essentiellement due à une faible régularité, liée à la biomasse importante des Cladocères, organismes de grande taille constituant la plus grande partie de la biomasse. L'augmentation de régularité des biomasses par rapport à celle des effectifs, à la station 1, traduit une tendance inverse, en l'occurrence, une plus grande homogénéité (effectivement observée) des tailles d'organismes et, même, au delà, une certaine "régulation" : les effectifs des différents taxons ont tendance à être inversement proportionnels à leur poids, en sorte que leurs biomasses tendent à l'égaliser.

Au cours de l'année, H_{\max} et R varient de façon totalement indépendante : nombre d'espèces et régularité de leur distribution sont bien deux composantes indépendantes de la diversité. La liaison entre H et H_{\max} est nette pour les stations 7 et 9 : les variations du nombre de taxons sont essentiellement responsables de celles de la diversité : le mois de février à la station 7 fait exception.

Aux stations 1 et 3, les variations de la diversité semblent au contraire plutôt liées à celles de la régularité. Le mois d'août à la station 1 fait exception, mais il n'y a que deux espèces présentes et cette fluctuation est peu significative.

Le mois de février est singulier pour les trois stations de la lagune. Nous rappelons que c'est l'ouverture du by-pass. Le nombre d'espèces augmente ; en même temps diversité et régularité s'effondrent à la station 3 ; la diversité diminue et la régularité s'effondre à la station 7 ; à la station 9, la régularité diminue sans s'effondrer tandis que la diversité augmente légèrement. Il y a donc un net gradient d'influence du by-pass : l'eau de la station d'épuration étant à cette époque caractérisée par un assez grand nombre d'espèces mais une diversité et une régularité très faibles. Ces caractéristiques s'étendent très vite à la station 3, moins nettement à la 7 et peu à la 9.

Aux trois stations de la lagune, il est manifeste que les variations de l'indice de diversité en biomasse suivent de très près celles de la régularité. L'indice et la régularité sont très faibles en dehors de la période hivernale. Cette dernière est caractérisée par une diminu-

tion des Cladocères. Ces derniers représentant l'essentiel de la biomasse en été, diversité et régularité s'effondrent alors, et ne réaugmentent qu'avec le déclin des Daphnies.

une augmentation de diversité et régularité s'observe encore, aux trois stations, en février, époque de l'ouverture du by-pass.

Dans le fossé noir, les variations mensuelles de diversité semblent procéder à la fois des variations de H_{\max} (donc du nombre d'espèces) et de la régularité. Diversité et régularité diminue en février alors que le nombre d'espèces, comme nous l'avons signalé, est au maximum.

Toutes ces variations de la régularité seront examinées plus en détail par la suite, en utilisant les diagrammes rangs-fréquence.

3 - DIAGRAMMES ABONDANCE/FREQUENCE

Il s'agit de caractériser chaque taxon observé, en même temps par son abondance relative moyenne dans les récoltes, et sa fréquence d'apparition. Ces deux descripteurs sont en effet indépendants, et chaque taxon inventorié dans notre travail peut être porté sur un graphique en fonction de ces deux coordonnées.

L'abondance moyenne d'un taxon sera, pour chaque station, égal à la somme de ses abondances relatives par récolte, divisée par le nombre de récoltes où le taxon est présent. La fréquence d'apparition de taxon est le nombre de récoltes où il est présent.

Par convention nous distinguerons
d'une part les taxons -"fréquents", présents dans plus de la moitié des récoltes (8 et plus) ;
-"non fréquents", présents dans au plus 7 récoltes.

d'autre part les taxons -"dominants", présents à raison de plus de 33 % de la récolte (en effectifs d'individus) ;
-"non dominants" : moins de 33 %.

Nous définissons ainsi quatre catégories d'organismes : les "fréquents-dominants", les dominants non fréquents", les fréquents-non dominants" et les occasionnels".

La figure 36 présente les résultats de cette classification obtenus pour les quatre stations.

Correspondance entre numéros et taxons.

- 1 - Amoeba
- 2 - Monodinium sp.
- 3 - Lionctus sp.
- 4 - Chilodonella sp.
- 5 - Paramecium sp.
- 6 - Compidium
- 7 - Oxytrichidae
- 8 - Euplotes sp.
- 9 - Telotrochidium sp.
- 10 - Astylozoon sp.
- 11 - Vorticellidae
- 12 - Acinetidae
- 13 - Nématodes
- 14 - Bdelloidae
- 15 - Brachionus calyciflorus
- 16 - Brachionus rubens
- 17 - Brachionus urceolaris
- 18 - Epiphanes sp.
- 19 - Rhinoglena sp.
- 20 - Asplanchna sp.
- 21 - Polyarthra sp.
- 22 - Filinia longiseta
- 23 - Filinia cornuta
- 24 - Daphnia magna
- 25 - Moina macrocopa
- 26 - Cyclopidae

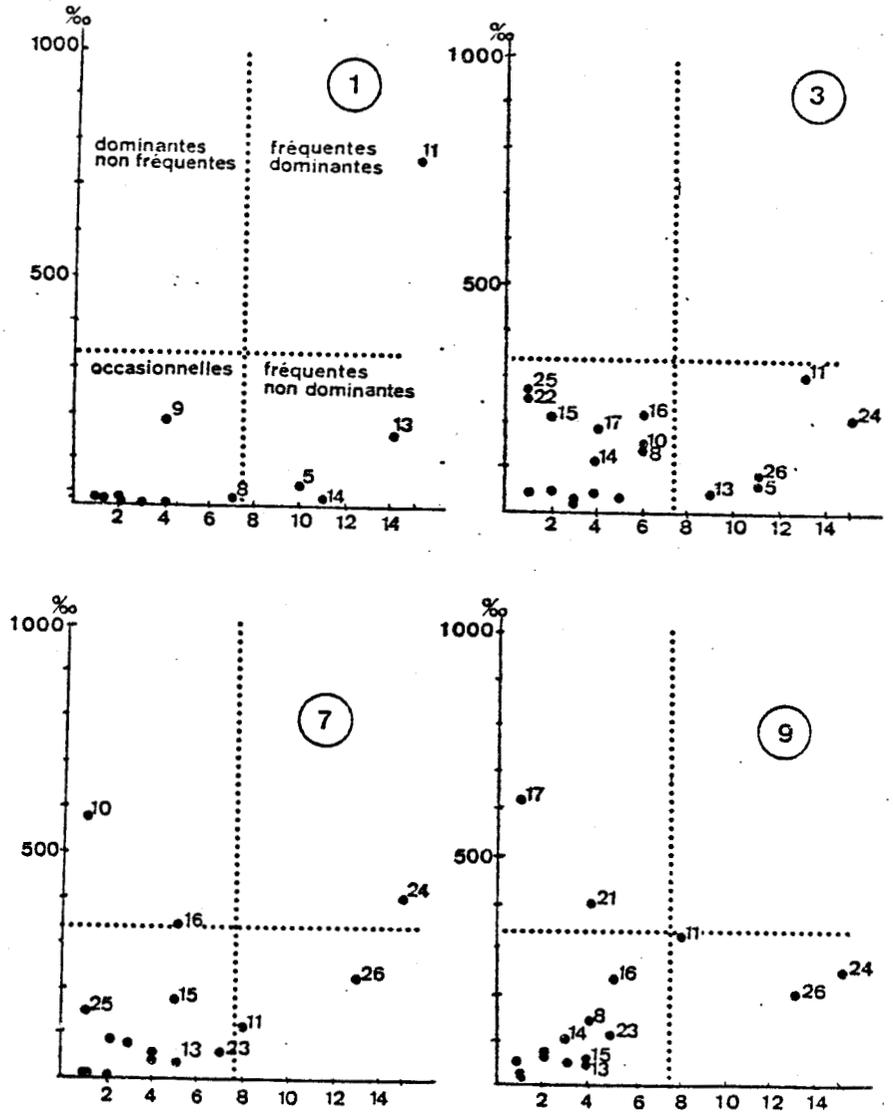


Fig. 36 : DIAGRAMMES ABONDANCE-FREQUENCE

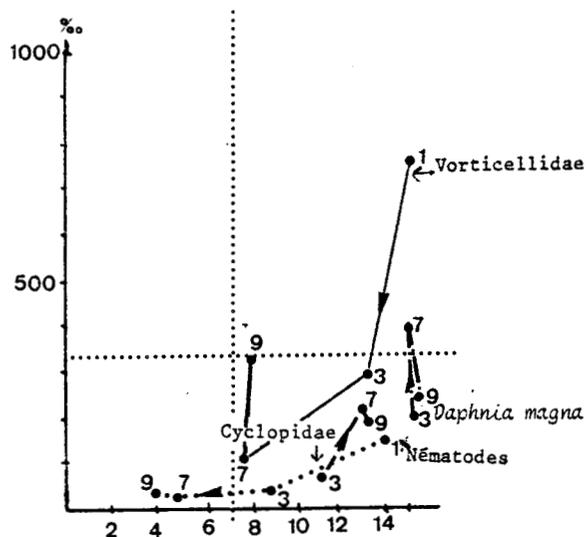


Fig. 37 : EVOLUTION DES 4 PRINCIPAUX TAXONS LE LONG DU GRADIENT AMONT-AVAL.

A la station 1 nous n'observons qu'un taxon fréquent-dominant : les Vorticellidae, et trois fréquents-non dominants : Nématodes, *Paramecium* et Bdelloïdes. *Euploates* est à la limite de fréquence. Tous les autres taxons présents n'apparaissent qu'occasionnellement en abondance extrêmement faible excepté *Telotrochidium*.

A la station 3 il n'y a aucun taxon "dominant". Vorticellidae, *Daphnia magna*, Cyclopidae, *Paramecium* et Nématodes sont "fréquents". Les autres taxons présents sont "occasionnels", mais cependant souvent plus "dominants" qu'à la station 1.

A la station 7 *Daphnia magna* est fréquente-dominante. Les Vorticellidae, bien qu'encore "fréquentes" au terme de la convention choisie, ont régressé et sont remplacées par les Cyclopidae. *Filinia cornuta* est à la limite de fréquence. *Astylozoon* et *Brachionus rubens* sont "dominants-non fréquents". Les autres taxons sont "occasionnels" ou absents.

A la station 9 les Vorticellidae ont repris de l'importance et se trouvent dans le secteur "fréquent-dominant", mais non loin des limites choisies. *Daphnia magna* et les Cyclopidae sont "fréquents-non dominants" et les autres taxons présents sont "occasionnels"

En conclusion, quatre taxons seulement ont une évolution caractéristique d'amont en aval (fig. 37) : les Vorticellidae, les Nématodes, les Cyclopidae et les *Daphnia*. La station 1 est une station à Vorticelles et Nématodes, les stations 7 et 9 sont à *Daphnia* et Cyclopidae, la station 3, intermédiaire, contient les quatre taxons comme "fréquents-non dominants".

4 - DIAGRAMMES RANG-FREQUENCE

4.1. Définition

Ce sont des représentations graphiques synthétiques des récoltes, telles qu'elles ont été décrites.

Un simple indice de diversité numérique est souvent insuffisant pour rendre compte de la structure taxonomique d'un échantillon. Dans le but de visualiser mieux cette structure et son éventuel évolution, nous avons utilisé les "diagrammes rang-fréquence" proposés par FRONTIER (1969, 1985). Cette représentation consiste à ranger les taxons en abon-

dance décroissante, et à porter sur un graphique l'abondance relative en fonction du rang, les deux descripteurs étant en métrique logarithmique.

L'allure de la courbe obtenue est caractéristique du type de communauté puisqu'elle indique, outre le nombre de taxons présents, leurs importances relatives. Plus la courbe est verticale (indiquant de fortes variations d'abondance relative), plus la diversité et la régularité sera basse. Des "paliers" indiquent l'abondance comparable de plusieurs taxons. Chaque point peut en outre être identifié par un sigle indiquant le taxon concerné : on obtient ainsi une vision synthétique complète de l'échantillon, même s'il y a un très petit nombre de taxons.

Enfin, ces diagrammes peuvent être établis aussi bien à partir des biomasses que des effectifs des taxons. Les allures dans l'un et l'autre cas sont en général différentes.

Divers auteurs, en particulier à propos du plancton (FRONTIER, 1969 ; DEVAUX, 1980) ont relié les différentes allures de ces courbes à des stades de l'évolution de l'écosystème, les unités taxonomiques choisies étant les espèces ; des travaux en cours (LEPRETRE, à paraître) retrouvent ces caractères d'évolution à partir d'une description par familles. Nous nous abstenons de suivre cette démarche en raison du caractère hétérogène du choix des taxons, et ne retiendrons de ces diagrammes que leur caractère de description synthétique des échantillons.

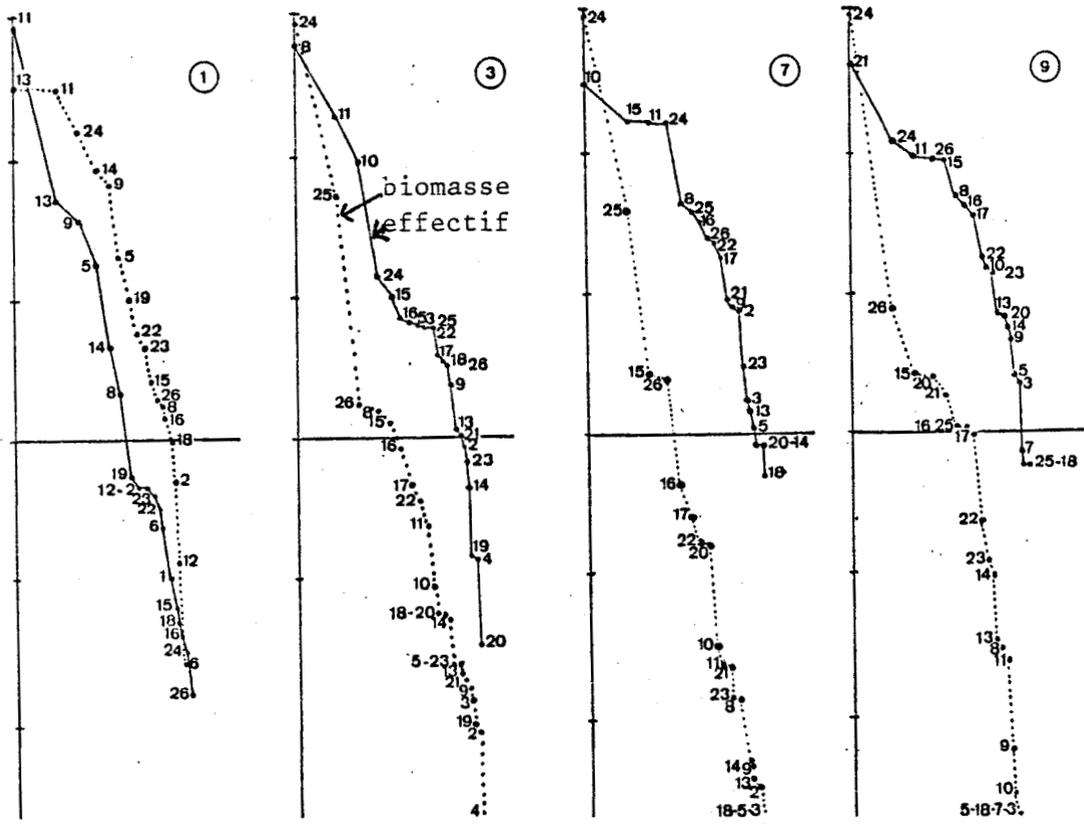
4.2. Diagrammes obtenus par cumul des dates pour chaque station (fig.38)

La méthode consiste à classer les taxons sur la base de leurs fréquences observées sur l'ensemble de l'année.

Pour la clarté des figures, nous avons représenté les diagrammes obtenus deux fois :

- d'une part, nous avons représenté séparément les quatre stations et superposé biomasses et effectifs ;
- d'autre part, nous avons superposé les diagrammes des quatre stations, la première série de courbes correspondant aux effectifs, la deuxième aux biomasses.

Pour chaque station, le diagramme cumulé est d'allure très différente pour les effectifs et les biomasses. L'ordre des taxons est également très différent.



Correspondance entre numéros et taxons.

- 1 - Amoeba
- 2 - Monodinium sp.
- 3 - Lionetus sp.
- 4 - Chilodonella sp.
- 5 - Paramecium sp.
- 6 - Colpidium
- 7 - Oxytrichidae
- 8 - Euplotes sp.
- 9 - Telotrochidium sp.
- 10 - Astylozoon sp.
- 11 - Vorticellidae
- 12 - Acinetidae
- 13 - Nématodes
- 14 - Bdelloidae
- 15 - *Brachionus calyciflorus*
- 16 - *Brachionus rubens*
- 17 - *Brachionus urceolaris*
- 18 - *Epiphanes* sp.
- 19 - *Rhinoglena* sp.
- 20 - *Asplanchna* sp.
- 21 - *Polyarthra* sp.
- 22 - *Filinia longiseta*
- 23 - *Filinia cornuta*
- 24 - *Daphnia magna*
- 25 - *Moina macrocopa*
- 26 - Cyclopidae

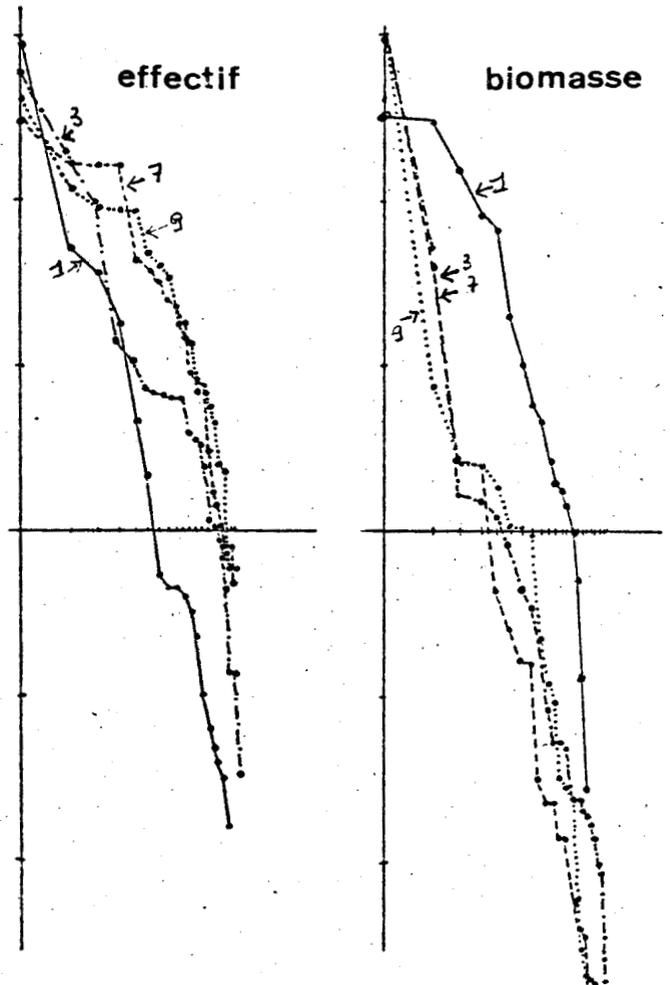


Fig. 38 : DIAGRAMMES RANG-FREQUENCE OBTENUS PAR CUMUL DES DATES POUR CHAQUE STATION.
 graphe supérieur: superposition des courbes établies en effectifs et en biomasse aux 4 stations.
 graphe inférieur: superposition des 4 stations pour les courbes établies en effectifs et en biomasse.

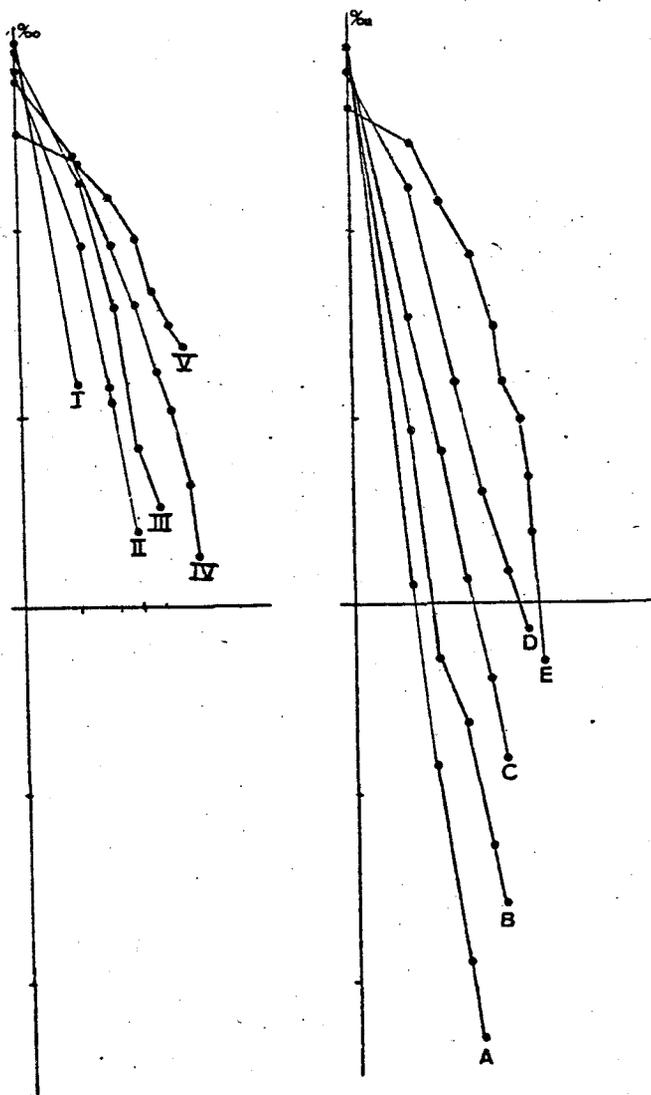


Fig. 39 : EXEMPLES-TYPES DES 5 CATEGORIES RETENUES POUR CLASSER LES DIAGRAMMES RANG-FREQUENCE.

Diagrammes Rang-Fréquence (en effectif). Classification des stations en cinq classes numérotées de 1 à 5.

1976	J	J	A	S	O	N	D	J	F	15 M	31 M	13 A	28 A	M	1977
1	2	2	—	3	—	3	4	4	1	2	3	4	3	3	3
3	4	3	5	4	5	2	5	5	3	2 puis 5	3	5	5	5	4
7	4	3	4	4	4	4	5	5	4	4	3	4	3	1	5
9	3	4	4	5	4	4	4	5	5	5	2	4	3	4	4

Diagrammes Rang-Fréquence (en biomasse). Classification des stations en cinq classes numérotées de A à E.

1976	J	J	A	S	O	N	D	J	F	16 M	31 M	13 A	28 A	M	1977
1	D	D	C	E	E	E	E	E	D	E	E	E	D	D	E
3	C	A	A	A	B	B	B	C	E	C	A	D	A	B	A
7	D	A	A	B	B	A	D	D	E	B	A	B	B	A	B
9	E	A	A	B	B	C	D	C	E	B	A	A	B	B	A

Tableau 7 : RESULTAT DE LA CLASSIFICATION EN 5 CATEGORIES-TYPES DES DIAGRAMMES RANG-FREQUENCE.

La plus grande ressemblance entre effectifs et biomasses s'observe pour la station 1, avec un diagramme des biomasses situé au-dessus de celui des effectifs ; le diagramme des biomasses paraît plus régulier (moins de paliers) que celui des effectifs et apparaît plus convexe dans sa partie supérieure. Pour les trois autres stations de la lagune, le diagramme des effectifs est, au contraire, toujours nettement au-dessus du diagramme des biomasses, et plus convexe. Ce caractère s'accroît d'amont en aval. Cette tendance est en relation avec une régularité plus grande pour les effectifs que pour les biomasses : la grande hétérogénéité des tailles d'organismes se traduit par une diversité et une régularité plus faible pour les biomasses. On peut noter qu'il y a beaucoup plus de très petites abondances relatives en biomasses qu'en effectifs.

Si l'on compare les stations entre elles (figure inférieure), on constate : 1°) pour les effectifs, une déformation régulière du diagramme de la station 1 vers la 9. La station 1 donne un diagramme très vertical ; les stations 7 et 9 une courbe convexe tandis que la station 3 est intermédiaire, très verticale mais avec un palier de quelques espèces l'amenant à coïncider, à partir de la 13^{ème} espèce, avec la fin de la distribution des stations 7 et 9.

2°) pour les biomasses, la situation est sensiblement différente. La station 1 s'isole par son diagramme convexe. Les stations de la lagune sont toutes trois très verticales et presque confondues. L'homogénéité de la lagune est donc plus évidente pour la distribution des biomasses que pour celle des effectifs.

4.3. Diagrammes par récoltes individuelles

L'établissement des diagrammes par récolte donne des résultats beaucoup plus cahotiques et plus variables d'une date à l'autre. Nous avons tenté d'en donner une classification fondée sur les allures. Par superposition des courbes, nous avons été amenés à en distinguer 5 groupes allant des plus verticales aux plus convexes, tant pour les effectifs que pour les biomasses. Ces groupes d'allures sont constitués indépendamment de la provenance de l'échantillon. Des exemples typiques des 5 catégories de chaque diagramme sont représentés figure 39 . L'ensemble des résultats, sous forme de diagrammes superposés groupe par groupe, est donné en figure 40 . Puis nous avons reporté sur un tableau à double entrée (stations et dates) les résultats de cette classification, les groupes étant numérotés de 1 à 5 pour les effectifs et A à E pour les biomasses (tableau 7)

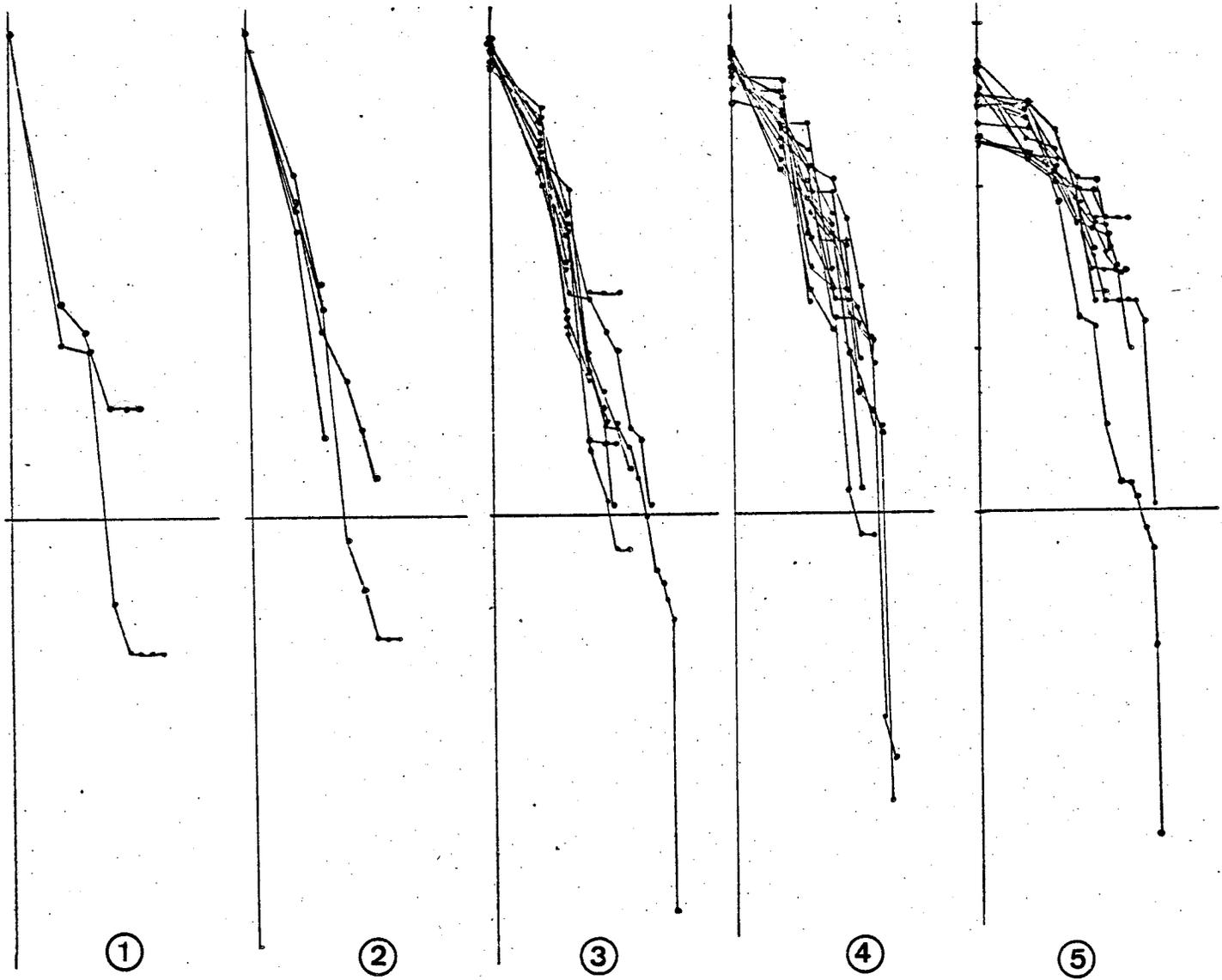


Fig. 40a : DIAGRAMMES RANG-FREQUENCE DES 60 OBSERVATIONS SUPERPOSES GROUPE
PAR GROUPE (basés sur les effectifs) .

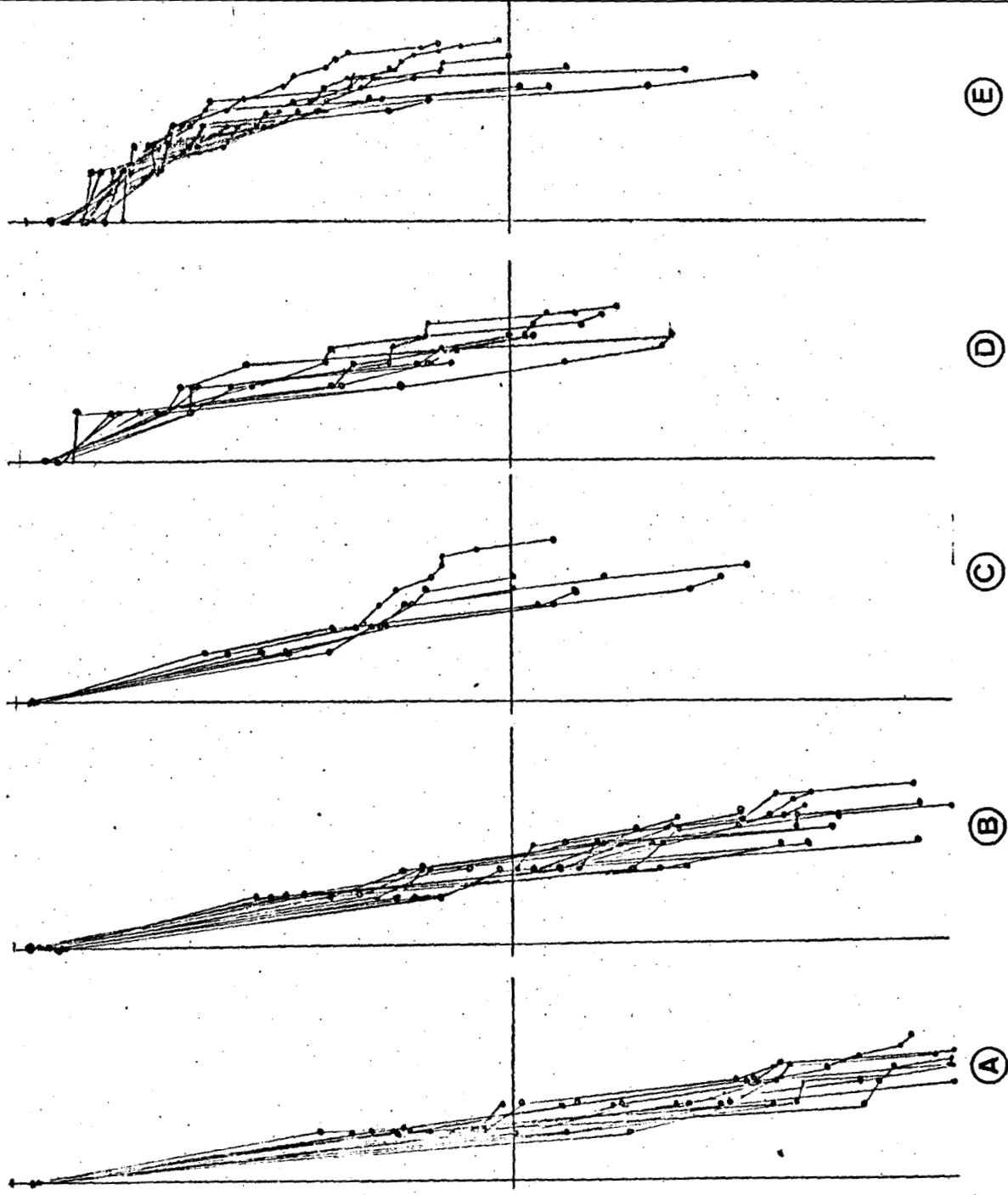


Fig. 40b : DIAGRAMMES RANG-FREQUENCE DES 60 OBSERVATIONS SUPERPOSES GROUPE
PAR GROUPE (basés sur les biomasses) .

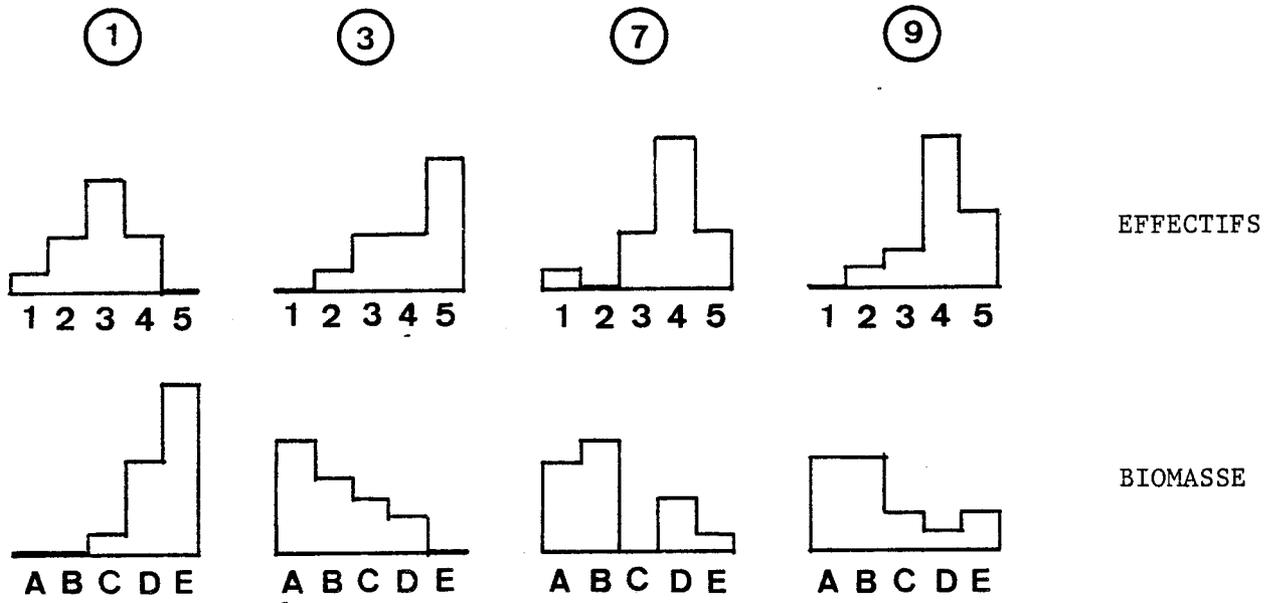


Fig. 41 : HISTOGRAMMES DE DISTRIBUTION DES GROUPES DE D.R.F.
POUR LES QUATRE STATIONS.

A ce stade de l'analyse, les résultats sont encore confus. On trouve presque tous les groupes dans chaque station, mais avec des fréquences différentes. La figure 41 représente les histogrammes de distribution des groupes pour les quatre stations, selon les effectifs et selon les biomasses. Les distributions obtenues sont fort différentes, à la fois entre effectifs et biomasses et entre stations. La station 1 se singularise : relativement symétrique en effectifs (mais sans jamais le groupe 5), très dissymétrique en biomasses, avec prédominance des groupes 4 et 5 et absence des groupes 1 et 2. Cette remarque corrobore les observations précédentes sur la relative régularité des biomasses à la station du fossé noir. La station 3 est également singulière, avec des distributions dissymétriques, de sens inverse pour les effectifs et biomasses. Les stations 7 et 9 se ressemblent, avec prédominance du groupe 4 pour les effectifs et des groupes 1 et 2 pour les biomasses.

Il est à noter que nous n'avons pas les mêmes informations à partir des diagrammes des récoltes individuelles, et des récoltes cumulées par station. Par exemple l'allure de courbe la plus convexe pour les effectifs se rencontre aux stations 7 et 9 pour les récoltes cumulées ; au contraire, c'est la station 3 qui présente le plus de diagramme de type 5.

Un commentaire plus approfondi des diagrammes rangs-fréquences sera donné dans le cadre de l'analyse multivariante (4^{ème} partie).

QUATRIÈME PARTIE

ANALYSES MULTIVARIABLES

QUATRIÈME PARTIE

ANALYSES MULTIVARIABLES

Les tableaux numériques obtenus, dès qu'ils sont un peu volumineux, sont difficiles à synthétiser, et l'information qu'ils contiennent n'est pas assimilable de par son foisonnement même. L'objet de l'analyse est d'extraire l'essentiel de l'information contenue dans le tableau de données, et d'en fournir une représentation imagée se prêtant plus facilement à l'interprétation.

De nombreuses méthodes plus ou moins récentes ont été mises au point et permettent de couvrir un certain nombre de problèmes. Il est essentiel de disposer d'un large éventail de méthodes, non seulement pour choisir la mieux adaptée, mais encore pour combiner ces différentes méthodes.

On reproche souvent aux traitements mathématiques de confirmer des évidences (FRONTIER, 1974b). Mais, d'une part les exigences du modèle mathématique amènent le chercheur à être plus rigoureux aux moments de la formulation du problème, de la planification de l'échantillonnage et de l'exposé des conclusions. D'autre part, les méthodes multivariées permettent d'appréhender globalement un très grand nombre d'observations et d'extraire de l'information de très grands tableaux, dont l'interprétation "à la main" serait soit inextricable, soit interminable (BLANC et LAUREC, 1976). La standardisation de la méthode, et le consensus actuel sur un certain nombre de traitements numériques des données écologiques, facilite la communication objective. En résumé, le traitement mathématique des données permettra la comparaison de nombreuses situations écologiques, de façon d'autant plus réaliste que tous les choix sont explicités *a priori* au lieu d'être, comme classiquement, sur une interprétation subjective et *a posteriori* des résultats d'observations, faisant appel autant au "flair" de l'opérateur qu'à son analyse des faits à mesure...

1 - DESCRIPTION DU TABLEAU INITIAL DES DONNEES

Rappel des données

4 points répartis d'amont en aval ont été analysés à chaque date de prélèvement, soit 15 fois en un an. Pour chacun de ces points, les mêmes descripteurs ont été étudiés. Ces descripteurs peuvent se scinder en deux groupes :

- les descripteurs représentatifs de la qualité de l'eau (paramètres physico-chimiques et bactériologiques),
- des descripteurs représentatifs de l'activité épuratoire, c'est-à-dire les descripteurs du plancton (paramètres biologiques).

Le premier groupe se compose de 19 variables : 16 variables physico-chimiques : température, pH, oxygène dissous, demande biochimique en oxygène, demande chimique en oxygène, ammoniacque, nitrites, nitrates, orthophosphates, rapport nitrates-orthophosphates, chlorophylle a, caroténoïdes, indice de maturité, matières en suspension, chlorures et sulfates, et 3 variables bactériologiques : germes totaux, coliformes totaux et *E. coli*.

La principale caractéristique de ces données est d'être hétérogène. Toutes les valeurs définissant ces variables peuvent se ranger dans un tableau de mesures dont les unités sont incompatibles (degré centigrade, unité de pH, mètre, mg/l, etc...).

Le deuxième groupe, celui des descripteurs biologiques, comprend 26 variables résultant du comptage d'un nombre d'individus par litre. Les valeurs obtenues sont des effectifs ou fréquences absolues, de catégories taxonomiques et caractérisent un tableau de contingence. Les 26 variables représentent les abondances des taxons suivants : *Lionotus*, *Oxytrichidae*, *Astylozoon*, *Telotrochidium*, *Monodinium*, *Vorticella*, *Paramecium*, *Chilodonnella*, *Colpidium*, *Euplotes*, Acétiniens, *Rhinoglena*, *Epiphanes*, *Asplanchna*, *Brachionus urceolaris*, *B. rubens*, *B. calyciflorus*, *Polyarthra*, *Filinia longiseta*, *F. cornuta*, *Bdelloides*, *Daphnia magna*, *Moina macrocopa*, Copépodes, Nématodes, Amœbiens.

En résumé, on peut dire que les données récoltées sont une juxtaposition de deux tableaux : un tableau de mesures et un tableau de contingence, ces deux tableaux à 3 dimensions permettant de décrire les différentes stations aux différentes dates.

Description du tableau de données

	VARIABLES	
	Descripteurs 1° groupe 16 variables physico- chimiques	Descripteurs 2° groupe 3 variables bactériologiques 26 variables biologiques
Individu 1 = Station 1, juin 1976 Station 1	Tableau de mesures	Tableau de contingence
Individu i = Station 3 ou objet i Station x, date y		
Station 7		
Station 9 Individu 60 = Station 9, juin 1977		

Les annexes (1 à 6) présentent ces tableaux complets sous une forme bidimensionnelle : pour chaque descripteur (colonne), les valeurs portées dans les lignes successives correspondent aux 15 dates, successivement pour les quatre stations.

Dans les commentaires qui suivent, nous appellerons souvent "variables" les valeurs des descripteurs (colonnes), et "individu" ou "objet" une station à une date donnée (ligne).

LISTE DES DESCRIPTEURS

N°	DESCRIPTEURS	ABREVIATION INFORMATIQUE
<u>Descripteurs physico-chimiques</u>		
1	Température	T
2	pH	pH
3	Oxygène dissous	O ₂
4	DBO	DBO ou DB
5	DCO	DCO ou DC
6	NH ₄	NH ₄ ou N ₄
7	NO ₃	NO ₃ ou N ₃
8	NO ₂	NO ₂ ou N ₂
9	PO ₄	PO ₄ ou P ₄
10	Rapport NO ₃ /PO ₄	N/P
11	Chlorophylle a	CHL ou C
12	Caroténoïdes	CAR ou CR
13	Indice de maturité	IMAT ou I
14	Matières en suspension	MES ou MS
15	Cl	CL
16	SO ₄	SO ₄ ou S
<u>Descripteurs bactériologiques</u>		
17	Germes totaux	BT ou B
18	Coliformes totaux	COLI ou CT
19	<i>E. coli</i>	EC
<u>Descripteurs planctonologiques</u>		
20	Cyclopidae	CY
21	<i>Rhinoglena</i> sp.	RH
22	<i>Epiphanes</i> sp.	EP
23	<i>Asplanchna</i> sp.	ASP ou AP
24	<i>Brachionus urceolaris</i>	BU
25	<i>Brachionus rubens</i>	BR
26	<i>Brachionus calyciflorus</i>	BC
27	<i>Polyarthra</i> sp.	PO
28	<i>Filinia longiseta</i>	FL
29	<i>Filinia cornuta</i>	FC
30	Bdelloidae	BD
31	<i>Daphnia magna</i>	DA
32	<i>Moina macrocopa</i>	MO
33	<i>Lionotus</i> sp.	LI
34	Oxytrichidae	OX
35	<i>Astylozoon</i> sp.	AS
36	<i>Telotrochidium</i> sp.	TE
37	<i>Monodinium</i> sp.	MN
38	Vorticellidae	VO
39	<i>Paramecium</i> sp.	PA
40	<i>Chilodonella</i> sp.	CH
41	<i>Colpidium</i> sp.	CO
42	<i>Euplotes</i> sp.	EU
43	Acinetidae	AC
44	Nématodes	NE
45	<i>Amoeba</i>	AM
46	Biomasse zooplanctonique	BM



A chacun de ces tableaux correspond une méthode d'analyse appropriée :

. Aux tableaux de mesures hétérogènes, on applique l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Pour être traité par cette méthode, l'une au moins des dimensions du tableau doit être formée d'unités ayant un caractère répétitif (cas de lignes qui correspondent aux observations), l'autre pouvant être plus hétérogène (cas de colonnes représentant les différentes variables). Pour rendre les descripteurs comparables, les données sont centrées et réduites. L'ACP est une analyse du tableau des coefficients de corrélation entre variables (= descripteurs).

. L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) s'applique uniquement aux tableaux de contingence. Nous l'avons donc utilisée pour l'analyse des variables biologiques, l'effectif indiqué pour un taxon étant considéré comme le "nombre de fois qu'il a été observé" dans l'échantillon.

. Enfin, dans une dernière étape, nous avons utilisé l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (ACM). Celle-ci n'est autre que l'application de l'AFC à l'étude des tableaux logiques. Pour cela il suffit de transformer les variables quantitatives en variables qualitatives (en l'occurrence ordinales). Par cette méthode nous avons étudié l'ensemble des données en réunissant les deux tableaux.

Par ailleurs il est démontré que cette analyse équivaut mathématiquement à l'analyse d'inertie d'un tableau de Burt (VOLLE, 1981). Ce dernier croise l'ensemble des modalités de tous les descripteurs, avec lui-même. On a ainsi un tableau carré dont le nombre de lignes et de colonnes est égal au nombre de modalités choisies, tous descripteurs rassemblés. Ce tableau comporte une diagonale de tableaux partiels carrés, correspondant chacun à un des descripteurs, et croisant l'ensemble de ses modalités par lui-même ; la diagonale d'un tableau partiel est formée des nombres d'observations de chaque modalité - les autres éléments du tableau partiel étant égaux à 0 puisque deux modalités différentes ne peuvent être observées en même temps. Les autres tableaux partiels sont constituée des nombres de coïncidences entre une modalité d'un tableau de Burt avec une modalité d'un autre.

Exemple : Descripteur "T", modalités T_1 , T_2 , T_3 ; Descripteur "BD", modalités BD_1 , BD_2 ; 60 objets.

	T_1	T_2	T_3	BD_1	BD_2
T_1	19	0	0	9	10	
T_2	0	22	0	13	9	
T_3	0	0	19	18	1	
BD_1	9	13	18	4	0	
BD_2	10	9	1	0	20	
⋮						

Les deux logiciels existent au Centre de Calcul de l'Université de Lille ; comme ils apportent des aides à l'interprétation différentes, nous les avons utilisés conjointement (en vérifiant qu'ils donnent bien les mêmes résultats). Nous avons, de plus, traité un tableau de Burt obtenu en adjoignant aux descripteurs antérieurs, des descripteurs de positionnement des objets : date, station, et avons comparé ces nouveaux résultats aux précédents.

Nous nous ne étendrons pas plus sur la théorie de chacune de ces méthodes, exposée dans de nombreux ouvrages spécialisés (BENZECRI, 1973 ; CAILLEZ et PAGES, 1976 ; DAGET, 1976 ; LEGENDRE et LEGENDRE, 1979 ; VOLLE, 1981...).

2 - ANALYSE DU TABLEAU DE MESURES

(16 variables physico-chimiques + 3 variables bactériologiques)

2.1. Le tableau de corrélations entre variables

2.1.1. Méthodes

Les données ont été recueillies sous forme de valeurs observées simultanément. Afin de rechercher les facteurs de l'environnement qui varient conjointement, on a établi à partir de ces données un matrice de corrélations (coefficients de corrélation de Bravais-Pearson). Ce coefficient a l'avantage de faire intervenir directement toutes les valeurs observées figurant dans le tableau des

données et par conséquent d'utiliser toute l'information recueillie. Un autre avantage est que les valeurs sont centrées et réduites, donc que l'indice de ressemblance entre deux variables ne sera pas affecté par l'ordre de grandeur (arbitraire) de sa mesure.

Le coefficient de Bravais-Pearson est la meilleure estimation de la corrélation lorsque les variables sont distribuées normalement et que les corrélations sont linéaires. Ces conditions sont approximativement réalisées pour les variables physico-chimiques, mais pour les variables bactériologiques (comptages de cellules bactériennes), nous avons dû faire une transformation logarithmique pour nous en approcher.

Cinq matrices ont été étudiées. Les quatre premières correspondent aux quatre stations considérées séparément : 15 objets et 19 descripteurs pour chacune, cela nous permet de caractériser de façon plus précise les différences entre stations, et d'éliminer le caractère "charge de pollution" qui discrimine essentiellement les quatre stations. La cinquième matrice correspond à l'ensemble des données regroupées (60 objets, 19 descripteurs).

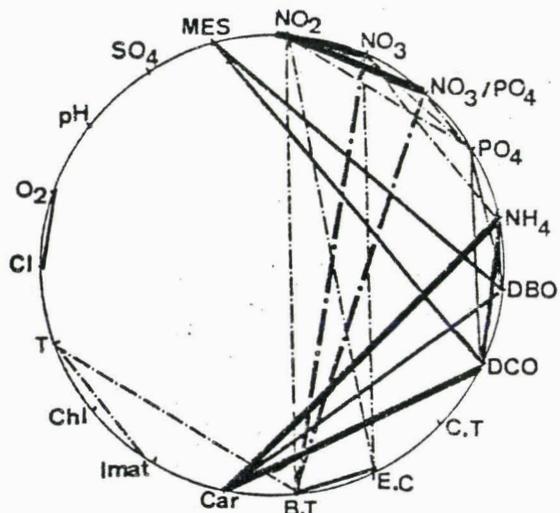
Pour les quatre premières matrices de corrélation, chaque coefficient est calculé avec 13 degrés de liberté, et le seuil de signification à 5 % est 0,51. Pour la cinquième on a 58 degrés de liberté et le seuil est à 0,26.

Seule la matrice globale a fait l'objet d'une ACP. Avant d'exécuter cette analyse, il n'est pas inutile d'examiner les valeurs des coefficients de corrélation des différentes matrices. La méthode des polygones inscrits décrite par BONNET (1964) permet une certaine représentation de l'information contenue dans une telle matrice de similitude. Sur une circonférence, nous avons porté un nombre de points égal au nombre de descripteurs, puis nous avons joint deux à deux les points significativement corrélés, par des traits d'épaisseur variable selon que la corrélation est significative à 5 %, 1 %, 1 ‰. On voit ainsi se former progressivement des triangles et des polygones inscrits, avec leurs diagonales, qui visualisent les ressemblances entre couples de descripteurs.

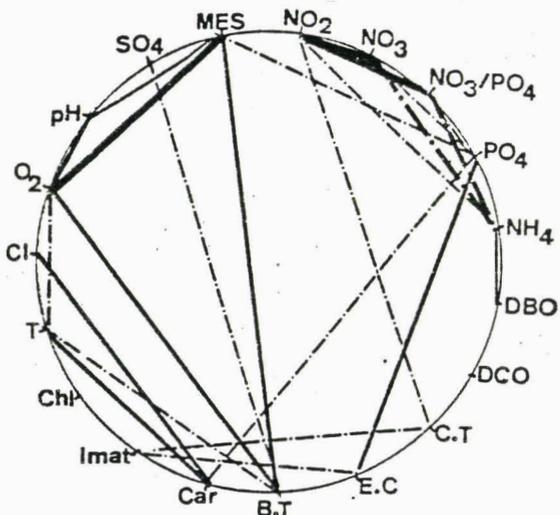
2.1.2. Résultats (fig. 42).

On observe par cette méthode, que la complexité de l'écosystème croît de l'amont vers l'aval

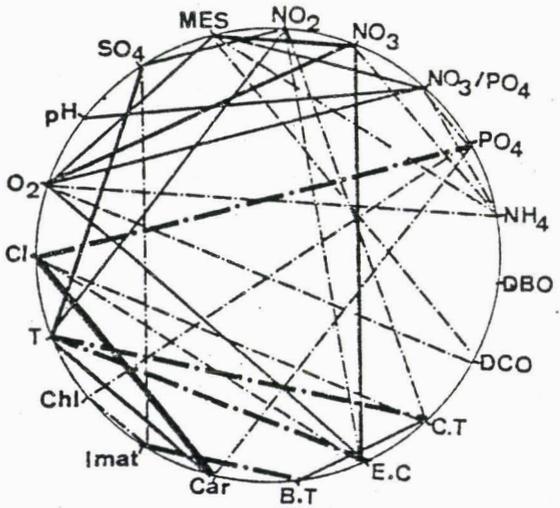
station 1



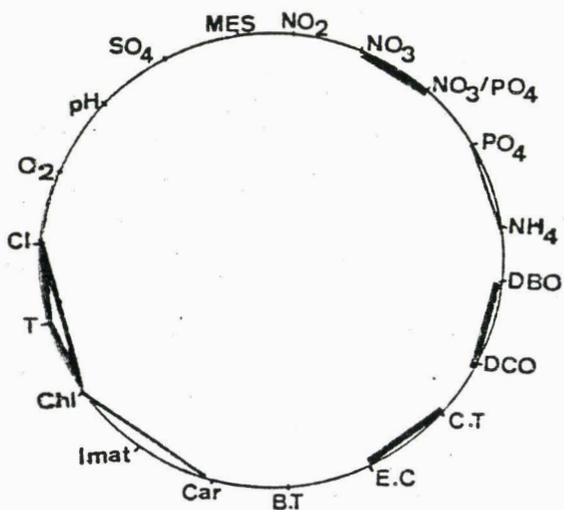
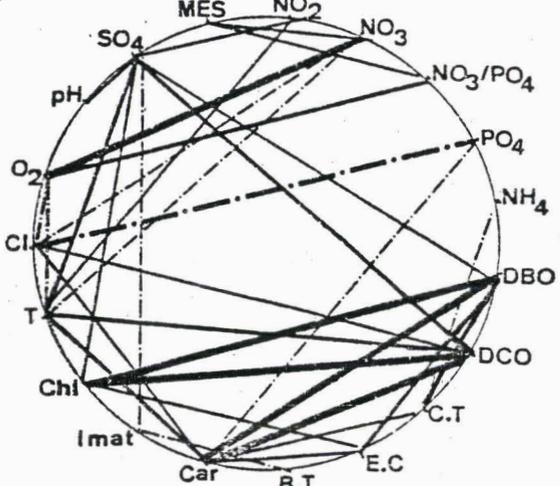
station 3



station 7



station 9



liaisons communes aux quatre stations

Fig. 42 : DIAGRAMMES DE BONNET

Traits pleins : liaisons positives,
 Traits pointillés : liaisons négatives.

- corrélations significatives à 1 %.
- corrélations significatives à 1 %
- corrélations significatives à 5 %

Les valeurs des coefficients de corrélation sont portées dans les annexes 7 à 12.

Dans les matrices de corrélation établies station par station, le nombre de coefficients significatifs augmente de la station 1 à la station 9 : sur 171 corrélations [(19 x 18)/2 couples de descripteurs], 31 sont significatives à 5 % à la station 1, 32 en 3, 41 en 7 et 40 en 9.

Six corrélations significatives sont communes aux quatre stations : coliformes totaux-*E. coli* ; DBO-DCO ; PO₄-NH₄ ; NO₃-rapport NO₃/PO₄ ; chlorophylle a-température ; température-chlorures. On peut y ajouter deux couples : chlorophylle a-chlorures et chlorophylle a-caroténoïdes qui présentent pour trois stations des coefficients de corrélations significatifs et qui sont pour la quatrième station à la limite du seuil de significativité.

Dans le fossé noir, où la charge polluante (bactérienne, organique, minérale) est généralement la plus forte, le réseau des liaisons entre les descripteurs est principalement formé par les paramètres de charge : PO₄, NO₃, NO₂, NH₄, DBO, DCO, germes totaux, coliformes totaux, *E. coli*, MES. Les caroténoïdes s'y adjoignent. Sans grande relation avec ce premier groupe, quelques liaisons apparaissent entre température, O₂, Cl, chlorophylle a et indice de maturité. Vers l'aval, ce réseau tend à se complexifier : les paires de variables incriminées dans les coefficients de corrélations significatives se modifient au fil des stations, le degré de liaison des descripteurs de charge polluante diminue sur le gradient amont-aval au profit de liaisons plus nombreuses avec les autres paramètres (température, oxygène, chlorophylle...). Cependant, nous n'observons pas dans les stations aval la stabilisation de ce réseau de liaisons

Dans le dernier bassin, eu égard aux normes, le degré de pollution résiduelle est le plus souvent assez faible. Néanmoins, les sédiments faiblement minéralisés constituent potentiellement, et pour plusieurs années, une réserve apte à entretenir au gré des relargages, une pollution endogène et ce milieu demeure nettement hypereutrophe.

Le pH présente un caractère un peu particulier, puisqu'il montre très peu de corrélations avec les autres descripteurs, les corrélations notées n'étant pas les mêmes d'une station à l'autre : aucune corrélation significative à la station 1, corrélation avec O₂ et les MES à la station 3, avec le rapport NO₃/PO₄ et avec les sulfates à la 9.

Deux autres types de commentaires concernant les descripteurs toujours corrélés et l'évolution des coefficients de corrélation le long du gradient d'épuration peuvent s'ajouter :

■ Descripteurs toujours corrélés

• DBO-DCO. Ce couple fortement corrélé à l'amont (0,99) l'est un peu moins à l'aval (0,76). Un gradient existe, pouvant s'interpréter par le fait que la nature et la dégradabilité des substances organiques varient au cours de l'épuration : aux glucides, protides, petits métabolites de l'effluent de la station d'épuration, font progressivement place des molécules complexes telles que lignine, chitine, tanins, pouvant avoir une contribution à la DCO, mais n'intervenant pas dans la DBO. Ces sources de fluctuations indépendantes expliquent que les évolutions des deux descripteurs tendent à se disjoindre.

• $\text{NH}_4\text{-PO}_4$. Ces deux nutriments sont apportés par l'effluent ; l'épuration se fait simultanément soit par incorporation aux cellules algales, soit grâce à d'autres facteurs tels que le pH qui entraîne à la fois, quand il s'élève, l'élimination de l'azote sous forme de NH_3 et du phosphore par précipitation.

• NO_3 -rapport NO_3/PO_4 . Cette corrélation est un artefact, puisque les deux descripteurs ne sont pas indépendants : à supposer que PO_4 varie très peu et indépendamment de NO_3 , la corrélation considérée est obligatoirement positive et forte puisque NO_3 se trouve en dénominateur du rapport. La corrélation supplémentaire ne distord qu'à peine l'analyse en composantes principales, nous avons néanmoins conservé ce descripteur, cependant il eût été plus intéressant d'introduire le rapport N total/P- PO_4 .

• Coliformes totaux-*E. coli*. Là aussi les deux descripteurs ne sont pas indépendants, puisqu'*E. coli* fait partie des coliformes totaux. Toutefois, il est légitime de les faire figurer tous deux dans le même tableau, puisqu'ils ont été mesurés indépendamment (la corrélation n'est pas due à un artifice de calcul). La corrélation trouvée est forte et permanente, montrant que les deux catégories de germes ont des réactions semblables. En revanche par exemple, les corrélations germes totaux-coliformes totaux, et germes totaux-*Escherichia coli* sont non significatives, alors que la même remarque peut s'appliquer. Le manque de corrélation entre l'ensemble des germes totaux et une de ses parties montre que cette partie a un comportement si différent du reste, qu'il oblitère la corrélation possible entre l'ensemble et une de ses parties, ce que nous reverrons plus en détail avec l'AFC multiple.

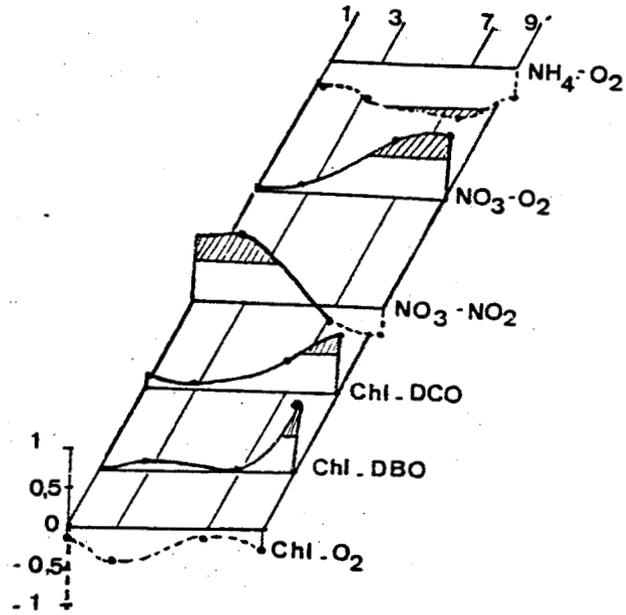


Fig. 43 : EVOLUTION DES COEFFICIENTS DE CORRELATION LE LONG DU GRADIENT D'EPURATION POUR QUELQUES COUPLES DE DESCRIPTEURS.

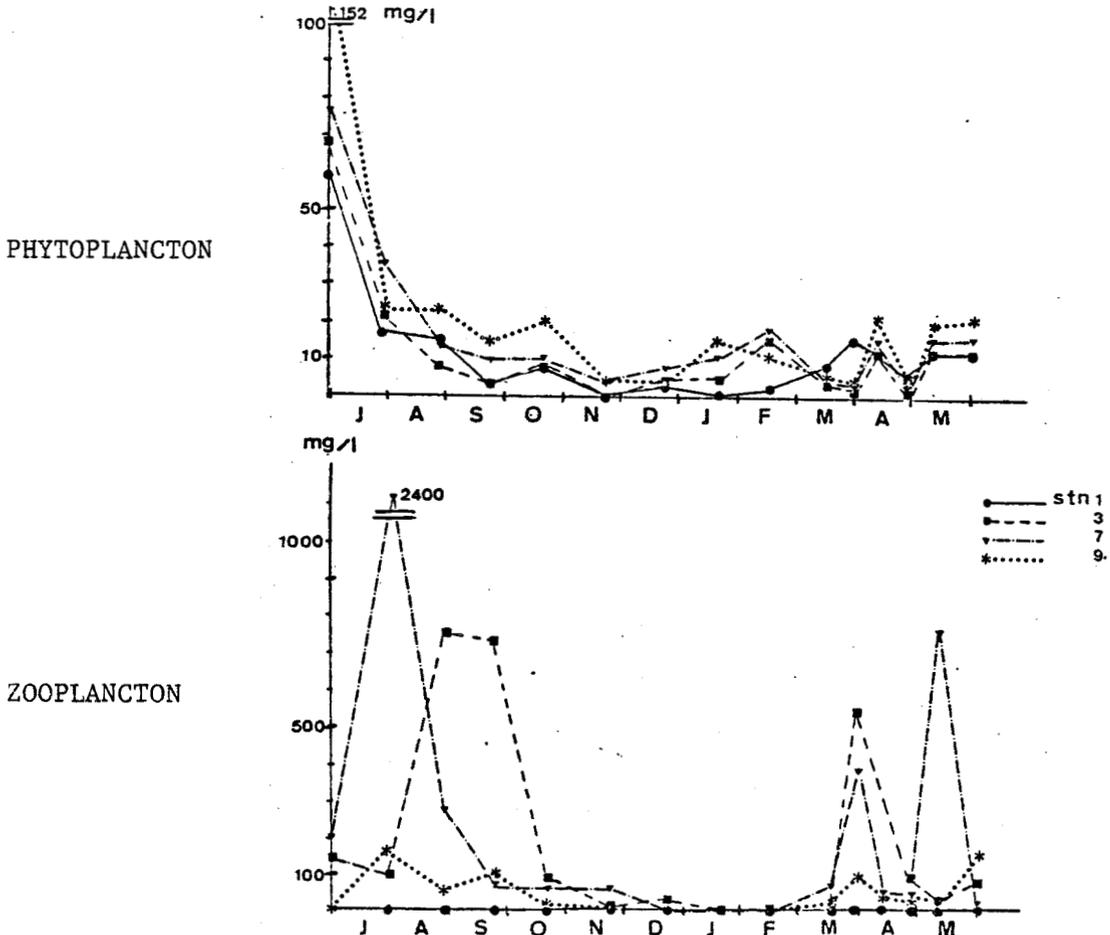


Fig. 44 : BIOMASSES ESTIMEES DU PHYTOPLANCTON ET DU ZOOPLANCTON.

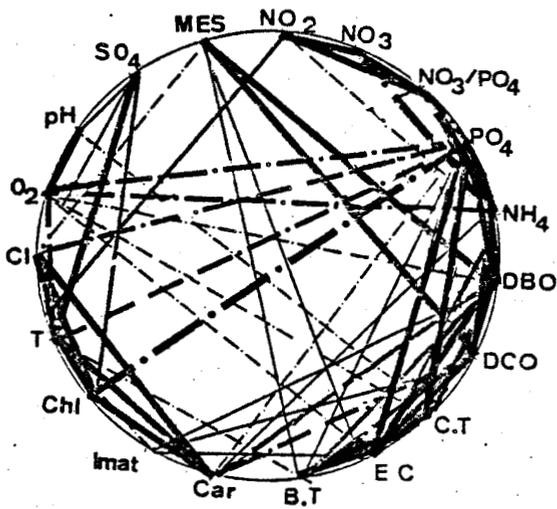
■ Evolution des coefficients de corrélation le
.....
long du gradient d'épuration
.....

Nous avons examiné ces évolutions pour les couples dont au moins un coefficient de corrélation sur les quatre est significatif, et dont la corrélation semblait montrer une évolution interprétable (Fig. 43)

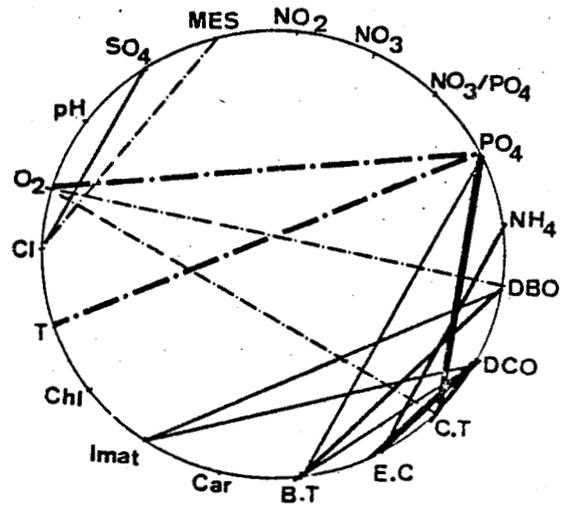
• Chlorophylle a. On note l'absence de liaison entre la chlorophylle a et l'oxygène même en aval. Ce fait n'est pas caractéristique de cette lagune (ANGELI, 1979 ; BARBE, 1983, Rapport Agence de l'eau R.M.C., 1983), mais ce qui est plus singulier c'est l'absence de corrélations entre la chlorophylle a et la DBO ou la DCO jusqu'à la station 9. La comparaison des biomasses estimées du phytoplancton et du zooplancton (Fig. 44) nous amène à supposer que les filteurs court-circuitent le plus souvent dans ces milieux, l'étage trophique des producteurs primaires masquant par suite le rôle du phytoplancton et surtout les interactions phytoplancton-milieu. Ce n'est qu'en aval, où le rapport des biomasses phyto-zooplancton est plus élevé, que réapparaissent les corrélations significatives entre chlorophylle et paramètres de charge. Il semble que la voie hétérotrophe puisse prédominer les voies auto ou mixotrophes contrairement aux schémas classiques sur lesquelles repose, en principe, l'épuration dans les lagunes à "microphytes".

• Formes d'azote. On observe une très forte corrélation $\text{NO}_3\text{-NO}_2$ en amont (stations 1 et 3), là où ces descripteurs accusent de très fortes variations temporelles. Dans cette lagune, la nitrification semble peu active et les fluctuations des nitrites et des nitrates sont étroitement tributaires des apports allochtones de ces formes d'azote. Les fortes liaisons entre NO_3 et O_2 d'une part et NH_4 et O_2 d'autre part, n'apparaissent qu'à partir de la station 7 où se trouvent amorties les fluctuations des paramètres de charge.

■ La matrice des corrélations établie sur l'ensemble des données (60 objets) fait apparaître des corrélations significatives supplémentaires. Cela apparaît normal, puisque le gradient de conditions de la station 1 à la station 9 ajoute une cause de variation supplémentaire. Les descripteurs concernés sont principalement ceux qui décrivent le niveau de pollution résiduelle : DBO, DCO, PO_4 , NH_4 . Les nouvelles corrélations affectent les couples suivants : coliformes totaux- O_2 , DBO-germes totaux ; DBO- O_2 ; DCO-coliformes totaux ; DCO-*E. coli* ;



Ensemble des corrélations significatives



Corrélations non significatives pour les stations individuelles mais significatives sur l'ensemble des données

Fig. 45 : DIAGRAMMES DE BONNET.

MATRICE DE CORRELATION ETABIE SUR L'ENSEMBLE DES DONNEES

Traits pleins : liaisons positives,

Traits pointillés : liaisons négatives.

— corrélations significatives à 1 %.

— corrélations significatives à 1 %

— corrélations significatives à 5 %

DCO-germes totaux ; NH_4 -*E. coli* ; PO_4 -coliformes totaux ; PO_4 -germes totaux ; PO_4 -température ; PO_4 - O_2 ; DBO-indice de maturité ; DCO-indice de maturité ; MES-Cl ; Cl- SO_4 (fig. 45),

2.1.3. Conclusions

L'examen des descripteurs par paires nous fait remarquer qu'un certain nombre de corrélations généralement admises en bassin de lagunage ne sont pas toujours réalisées en amont mais semblent se rétablir progressivement au fil de l'épuration. L'effluent, au sortir de la station d'épuration, semble profondément déséquilibré par le changement des conditions qu'il rencontre dès sa pénétration dans le "fossé noir". Un nouvel écosystème tend à s'y développer, lui-même remis en question quand il pénètre dans la lagune, en aval de la pompe (station 3). L'évolution de l'écosystème, dans un sens qui correspond précisément à l'épuration désirée, est progressive de la station 3 à la station 9 et les signes de perturbation se maintiennent souvent jusqu'à la station 7, intermédiaire.

L'ACP va nous permettre d'avoir une analyse et une vision plus globale de l'écosystème.

2.2. Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales est la plus ancienne des méthodes de l'analyse des données. Sa mise au point par HOTELLING date de 1933.

En dépit de l'intérêt grandissant pour l'AFC, et plus particulièrement pour l'ACM, l'ACP conserve son intérêt pour l'étude globale de la matrice de corrélations. En effet, l'application de l'AFC exige l'homogénéité des tableaux traités : la somme d'une ligne et la somme d'une colonne doivent avoir un sens, et le même (ce sont des fréquences ou des effectifs totaux) ; l'AFC ne s'applique donc pas aux tableaux comportant des mesures hétérogènes entre elles, pour lesquelles on peut en revanche calculer des coefficients de corrélation. Enfin, l'ACM exige un codage disjonctif de toutes les variables, qui empêche d'utiliser la totalité de l'information quantitative.

Dans notre étude, nous avons utilisé la variante la plus utilisée : celle qui suppose que le nuage des points représentant les individus est centré et réduit ; c'est-à-dire que l'on a opéré sur chaque variable la transformation ramenant sa moyenne à zéro et sa variance à l'unité.

Rappelons que les dénombrements bactériens ont été préalablement transformés en log. On observe que les coefficients de corrélation ainsi obtenus sont plus élevés, ce qui indique des meilleures liaisons avec les autres descripteurs, les distributions étant normalisées.

2.2.1. Analyse du tableau général

(19 variables, 60 individus)

Afin de connaître le nombre de vecteurs propres pouvant recevoir une interprétation écologique, nous avons appliqué le test de significativité proposé par FRONTIER (1974a) : la décroissance des pourcentages de variance associés aux axes est comparée à la décroissance obtenue par un partage au hasard d'une variance totale de 100 % d'après le modèle dit du "baton brisé". Cette décroissance, au hasard, ne correspond naturellement pas à une équirépartition des pourcentages, mais aux valeurs obtenues en fractionnant la variance totale en S segments (S étant le nombre de variables introduites, donc le nombre de vecteurs propres extraits) par (S-1) points pris au hasard.

Dans notre analyse, les 4 premiers vecteurs propres peuvent ainsi être retenus :

Vecteurs propres	Valeurs propres	% Variance	% cumulés	% bâton brisé	% bâton brisé cumulé
V ₁	5,05	26,6	26,6	18,7	18,7
V ₂	3,41	17,9	44,5	13,4	32,1
V ₃	2,78	14,6	59,2	10,8	42,9
V ₄	1,78	9,4	68,5	9,0	51,9
V ₅	1,34	7,1	75,6	7,7	59,6

Les tableaux en annexe (13 et 14) donnent les résultats numériques de l'analyse. Le tableau 13 indique les "contributions" des différents descripteurs relativement aux quatre premiers axes. La première colonne, pour chaque axe ("facteur") indique les coordonnées des points représentatifs des descripteurs Les "contributions absolues" (CTA) sont les contributions (en %) des descripteurs à la constitution de chacun des axes. La somme des éléments

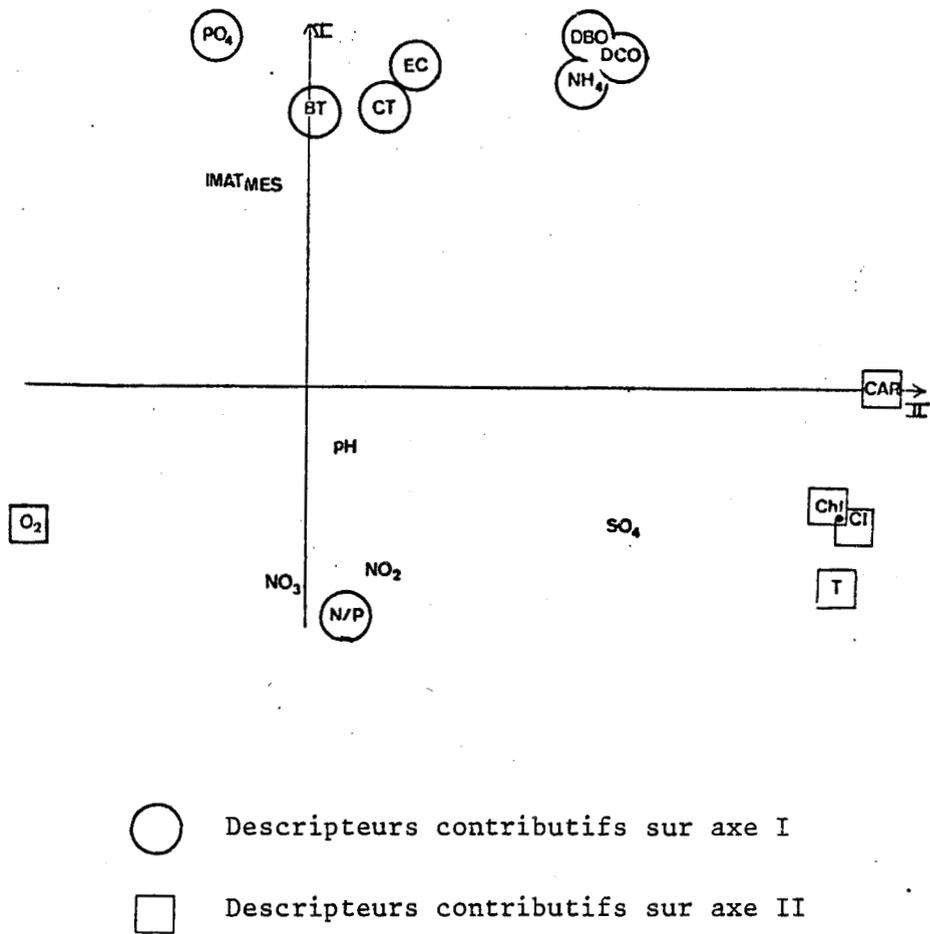


Fig. 46 : PROJECTIONS DES POINTS DESCRIPTEURS SUR LE PLAN I,II

d'une colonne est égale à 1000. Les "contributions relatives" (CTR) sont les proportions (en ‰) selon lesquelles la variance d'un même descripteur se partage entre les différents axes. La somme des éléments d'une ligne, si elle était étendue aux 19 colonnes, serait égale à 1000. La colonne QLT ("qualité" cumule les CTR d'une colonne à la suivante.

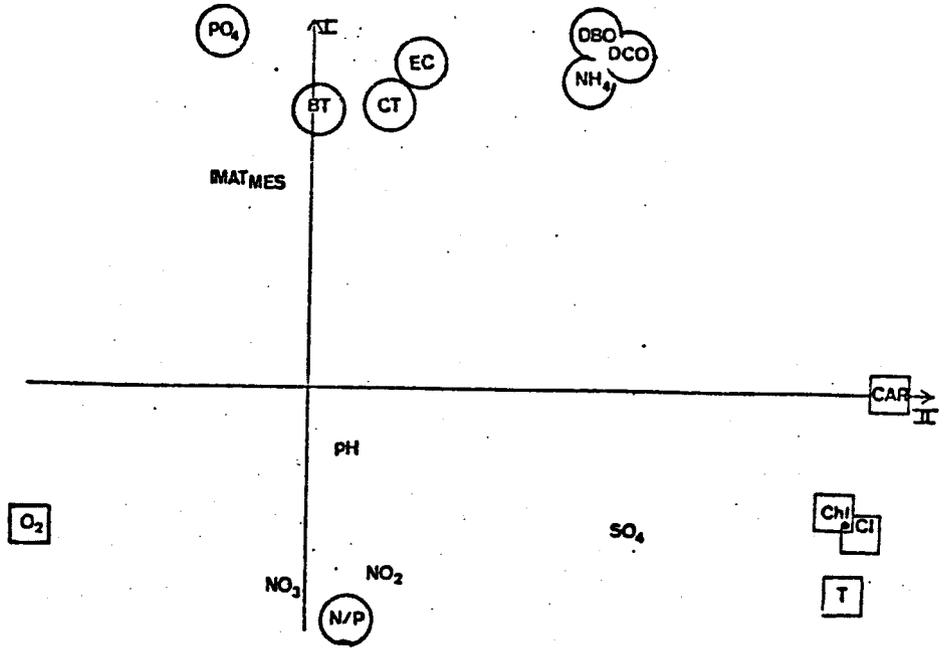
a - Analyse des descripteurs ou variables :

 Recherche de la signification des axes

Axe I : Les principales contributions sont données par le tableau suivant

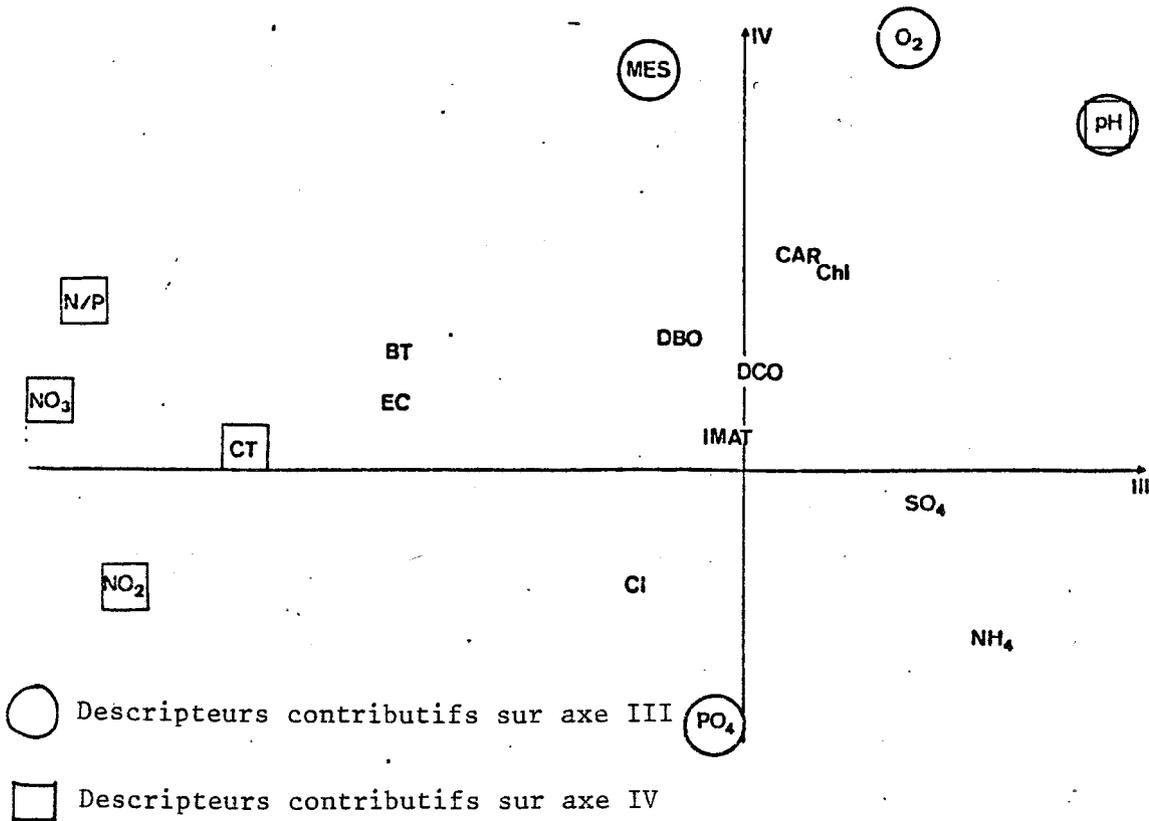
Variables	Coordonnées	CTA (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé (%)
DBO	+ 0,782	12,1	61,1	18,67
PO ₄	+ 0,761	11,5	57,9	13,41
DCO	+ 0,745	11,0	55,6	10,78
EC	+ 0,698	9,6	48,7	9,02
NH ₄	+ 0,664	8,7	44,0	7,71
COLI	+ 0,627	7,8	39,3	6,65
BT	+ 0,610	7,4	37,2	5,78
N/P	- 0,516	5,3	26,6	5,03
		Σ=73,4		Σ=77,05

Les descripteurs qui contribuent le plus fortement à cet axe ont tous le même signe. On peut observer tout d'abord un premier groupe de trois descripteurs ayant fortement contribué : DBO, DCO, PO₄. A ce groupe on peut adjoindre quelques autres descripteurs participant également à la formation de cet axe : EC, NH₄, COLI et BT. A tous ces descripteurs s'opposent N/P. L'axe semble donc représenter l'évolution de la charge polluante le long de son parcours dans les bassins. Les fortes concentrations en DBO, DCO, en germes et en NH₄ disparaissent pendant qu'apparaissent de plus fortes concentrations en nitrates.



- Descripteurs contributifs sur axe I.
- Descripteurs contributifs sur axe II.

Fig. 47 : PROJECTIONS DES POINTS-DESCRIPTEURS DANS LE PLAN I,II.



- Descripteurs contributifs sur axe III
- Descripteurs contributifs sur axe IV

Fig. 48 : PROJECTIONS DES POINTS-DESCRIPTEURS DANS LE PLAN III,IV.

Axe II - Les principales contributions sont données dans le tableau suivant

Variabes	Coordonnées	CTA (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé (%)
CAR	0,824	19,9	67,9	18,77
CHL	0,768	17,3	59,0	13,41
T	0,767	17,3	58,8	10,88
Cl	0,759	16,9	57,5	9,02
O ₂	- 0,480	6,8	23,0	7,71
		Σ=78,2		Σ=59,6

Le deuxième axe oppose tout un ensemble de descripteurs à l'oxygène seul. Ce groupe se compose des caroténoïdes, de la chlorophylle a, de la température, des chlorures et des sulfates. L'axe paraît décrire l'évolution saisonnière : les mois chauds ont coïncidé avec les plus fortes valeurs de CHL et les plus bas taux de O₂. Inversement, les mois où le milieu était le plus oxygéné étaient les mois les plus froids.

Axe III - Les principales contributions sont données dans le tableau suivant

Variabes	Coordonnées	CTA (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé (%)
NO ₃	- 0,824	24,4	67,9	18,7
N/P	- 0,739	19,6	54,6	13,4
NO ₂	- 0,711	18,2	50,6	10,8
COLI	- 0,560	11,3	31,4	9,0
pH	0,452	7,4	20,5	7,7
		Σ=80,9		Σ=59,6

Les descripteurs ayant le plus contribué sont les nitrates, les nitrites et le rapport nitrates sur orthophosphates (N/P). Ces paramètres s'opposent au pH ainsi que, avec une contribution nettement plus faible, à l'ammoniaque et à l'oxygène.

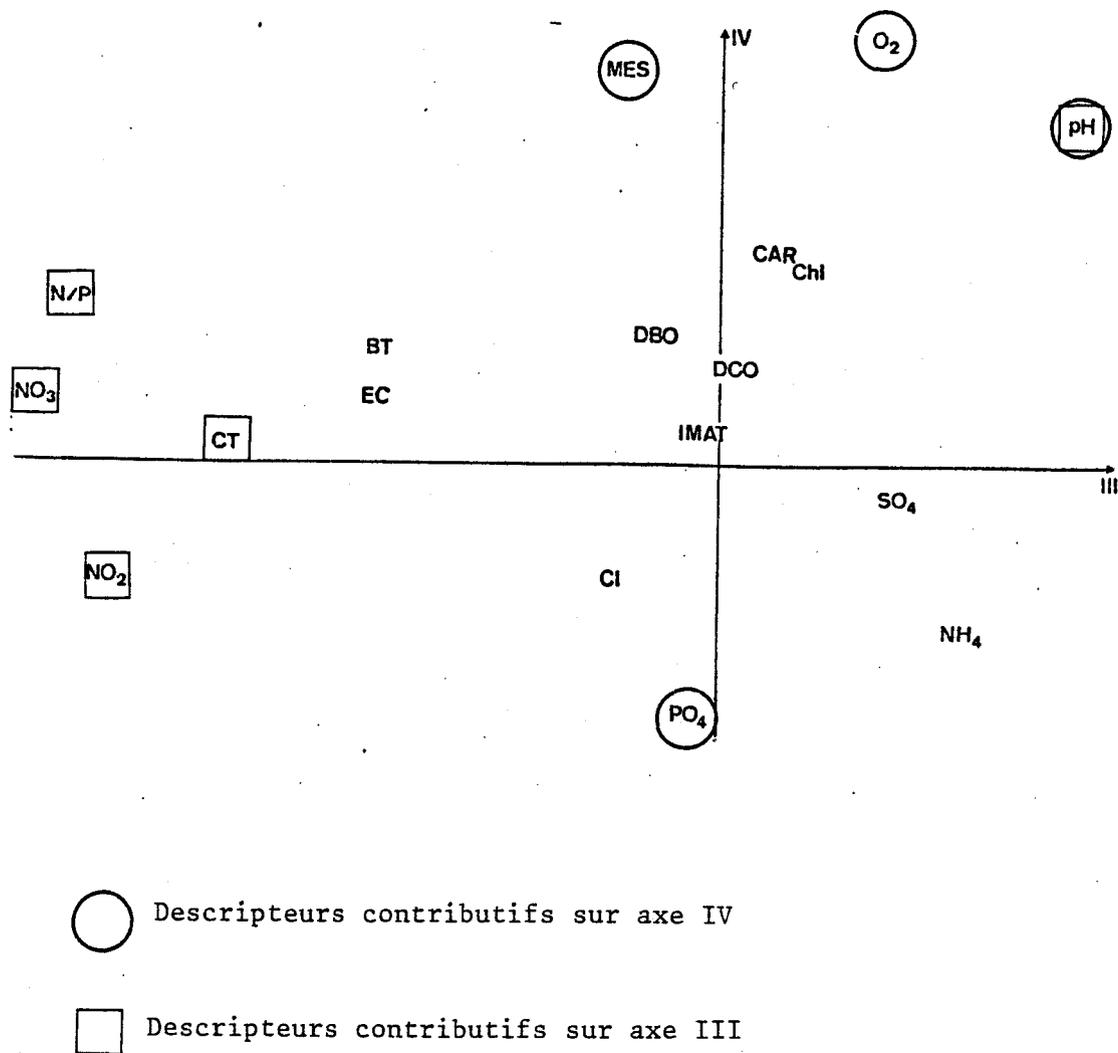


Fig. 49 : PROJECTIONS DES POINTS DESCRIPTEURS DANS LE PLAN III,IV.

Alors que le premier axe correspondait à la disparition de la charge polluante, notamment avec une augmentation des nitrates, le troisième caractérise, cette fois-ci, l'élimination des nitrates et des nitrites. Cette élimination, associée à une augmentation de pH, pourrait être due à deux types de mécanismes (non exclusives : tous au plus ne sont-ils pas simultanés) :

- soit une croissance algale active, hypothèse étayée par une contribution positive (bien que faible) de l'oxygène. La teneur en chlorophylle ne joue pas un rôle déterminant sur cet axe, mais, en fait, alors que l'augmentation de pH est un indicateur de production primaire, la chlorophylle n'est qu'un indicateur de biomasse présente, les deux maxima pouvant être décalés dans le temps.

- soit une disparition des nitrites et des nitrates liée à une dénitrification aboutissant à la production d'ammoniac, hypothèse étayée cette fois par la contribution positive (tout aussi faible que l'oxygène) du NH_4 . Il est parfois observé que cette situation coïncide avec un zooplancton abondant (malheureusement non introduit dans cette analyse : la dénitrification serait donc liée à la consommation du phytoplancton et au métabolisme animal).

Axe IV - Les principales contributions sont données dans le tableau suivant.

Variables	Coordonnées	CTA (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé (%)
O ₂	0,663	24,7	43,9	18,7
MES	0,594	19,8	35,2	13,4
pH	0,532	15,9	28,2	10,8
PO ₄	- 0,380	8,1	14,4	9,0
		$\Sigma=68,5$		$\Sigma=51,9$

Le quatrième axe est caractérisé principalement par O₂, MES et pH opposée au PO₄. Il semble que cet axe décrive, cette fois, la production corrélée avec la présence de biomasse végétale. Cette dernière est attestée par la proximité des MES, et la production primaire est marquée par la présence simultanée d'oxygène et d'un pH élevé, et la corrélation négative avec PO₄ (ainsi qu'à un moindre degré avec NH_4 (cf Annexe 13)). Chlorophylle et caroténoïdes sont également représentés, du côté de l'axe correspondant à l'augmentation des MES al-

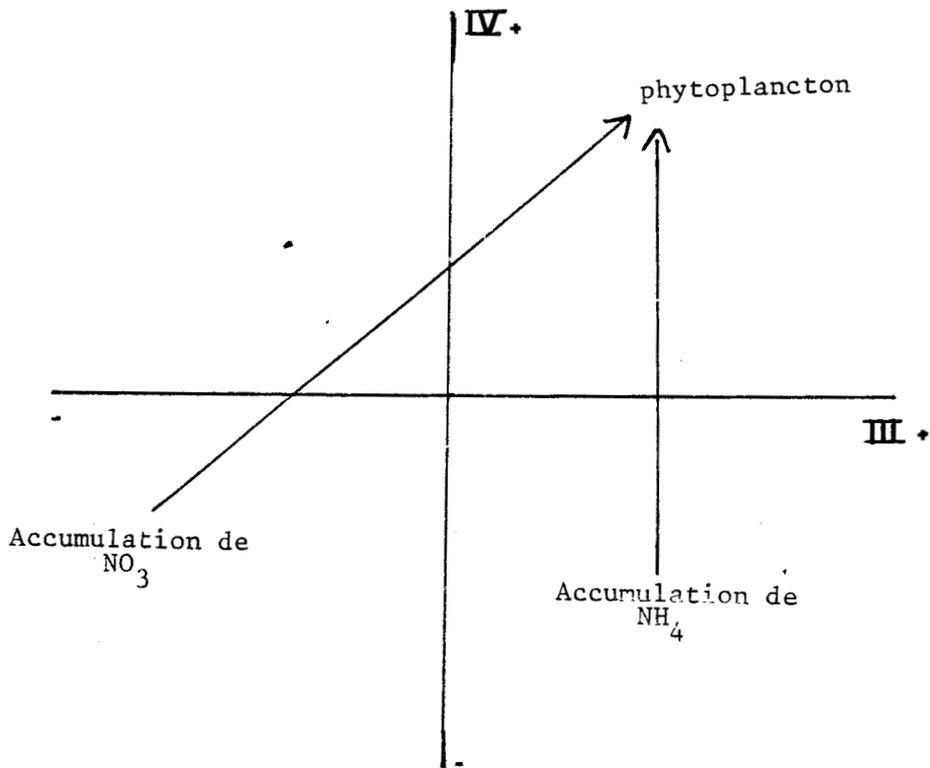
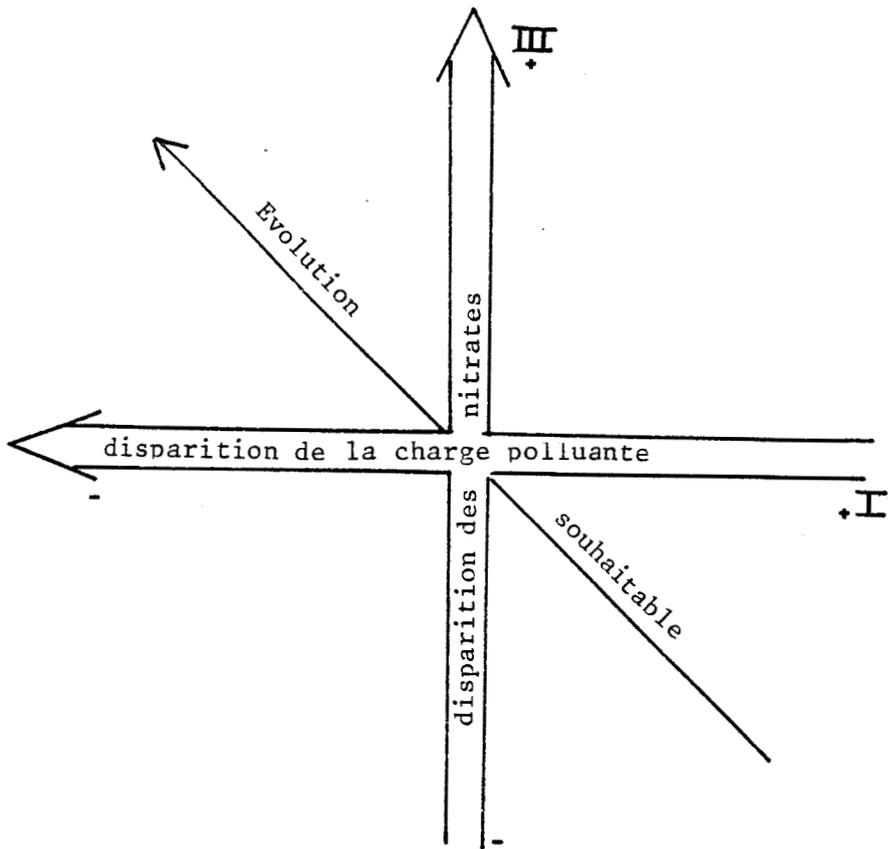


Fig. 50 : EVOLUTION SOUHAITABLE DE LA MASSE D'EAU.
SELON LES PLANS I, III et III, IV.

gales et de production, bien qu'avec des contributions relativement faibles

Si l'on récapitule la description des quatre premiers axes par les descripteurs y contribuant le plus, on a les pourcentages de variance suivant :

	Valeur propre (en proportion de la variance totale)	Proportion de variance expliquée	produit
Axe I	0,266	0,734	0,195
Axe II	0,179	0,782	0,140
Axe III	0,146	0,809	0,118
Axe IV	0,094	0,685	0,064
			Total = 0,517

Un peu plus de 50 % de l'information est donc restituée lorsqu'on s'en tient à la description des quatre premiers axes par les descripteurs principaux respectifs. L'autre moitié de la variance ne peut pas être expliquée. Nous avons la situation d'un couple de variables aléatoires dont le coefficient de corrélation serait égal à $\sqrt{0,517} = 0,72$.

Pour schématiser la hiérarchie des "facteurs" indépendants mis en évidence par cette analyse factorielle, on peut dire que l'évolution souhaitable de la masse d'eau est correctement représentée dans le plan des axes I, III, auquel on peut adjoindre l'axe IV - ces trois axes totalisant 50,6 % de la variance globale. L'axe II décrit la variation saisonnière, "sur laquelle nous n'avons pas de prise". Nous verrons à l'issue du chapitre suivant sur l'analyse des "objets" comment se concrétise cette dualité : une évolution du second au quatrième quadrant du plan (I, III) décrira l'évolution "souhaitée", comprenant à la fois la diminution de la charge polluante (axe I : + vers -) et la disparition des nitrates (axe III : - vers +).

Dans le plan (III, IV) deux types d'évolutions peuvent se manifester. L'une aboutit au premier quadrant du plan, caractérisée par une consommation algale, en présence d'un pH élevé ; l'autre à une accumulation de NH_4 associé à un pH plus faible. La première évolution seule est souhaitée (cf Fig. 50)

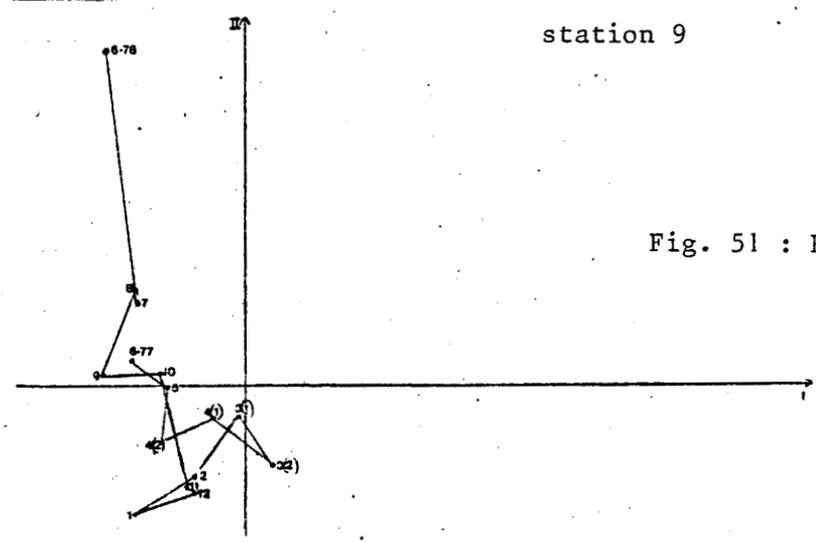
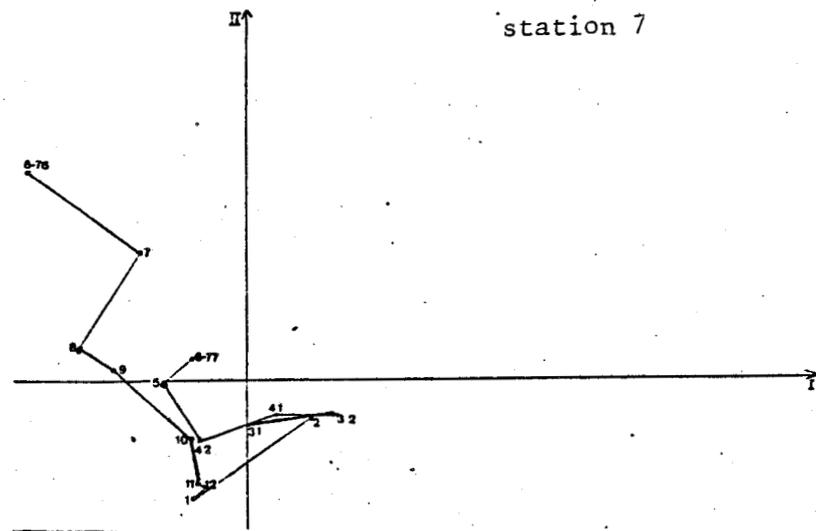
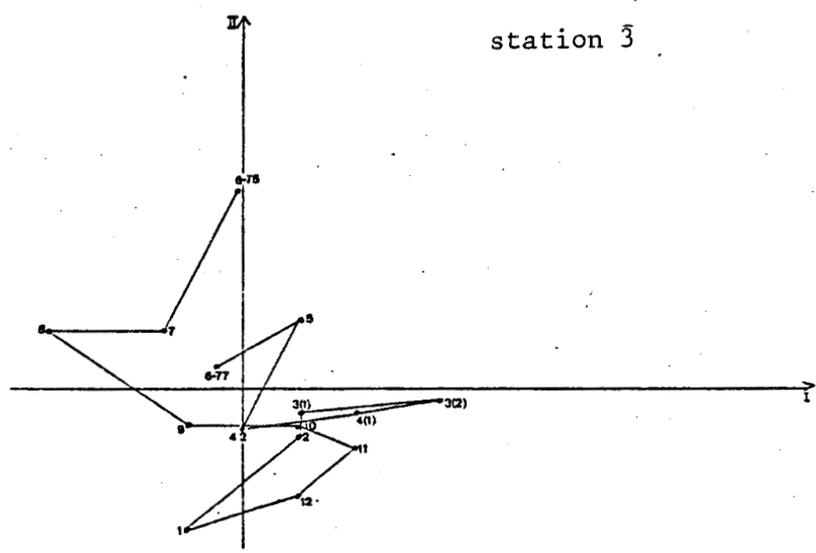
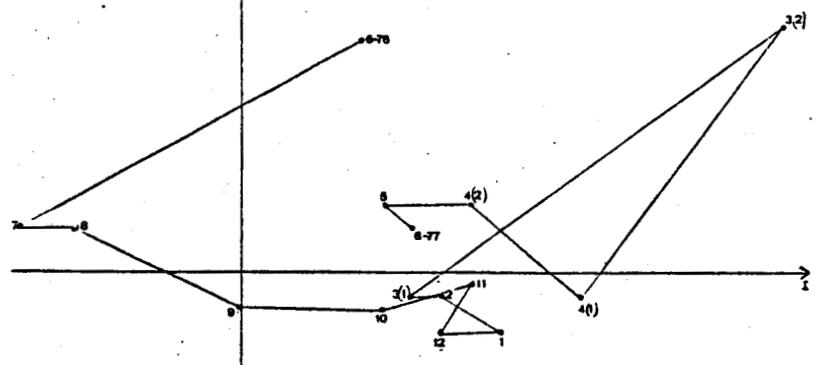


Fig. 51 : PROJECTIONS DES POINTS-STATIONS
DANS LE PLAN I,II.

b - Analyse des objets ou individus

.....
(Nous rappelons qu'un objet ou individu,

ligne du tableau de données, correspond à une station et une date).

La position des projections des points-objets sur les axes ou les plans principaux va nous permettre de situer les observations dans un schéma d'évolution temporelle et de gradient spatial caractérisant ces étangs.

■ Evolution dans la saison, station par station

Axe I (axe caractéristique des variations de la charge polluante). L'amplitude des variations saisonnières selon cet axe diminue très fortement de l'amont vers l'aval.

C'est à la station 1, représentative de ce qui entrera dans la lagune, qu'on trouve la plus grande amplitude de long de l'axe I. Nous remarquons que les points représentatifs se trouvent du même côté de cet axe, à l'exception des mois de juillet et août qui sont du côté opposé (vacances de juillet-août ?) et du mois de septembre qui se projette à l'origine. Les deux dates les plus éloignées selon cet axe sont fin mars et juillet. Les autres stations montrent un certain nombre de points du côté négatif de l'axe I, ce nombre augmentant de l'amont vers l'aval. Arrivé à la station 9, nous avons une situation très tamponnée le long de l'année, avec tous les points du côté négatif de l'axe (charge polluante relativement plus faible), sur un intervalle d'amplitude faible. Aux mois de juillet et août, la charge polluante (la plus faible de la station 1) augmente vers l'aval : il s'agit donc d'une autopollution, due à l'eutrophisation et à la destruction de la matière organique d'origine planctonique (cf remarque § 2.1.4., page 20). Partout, le mois de mars a été le plus pollué.

Axe II (caractéristique des variations saisonnières). A l'encontre de l'axe I, l'axe II ne varie pas beaucoup en amplitude de l'amont vers l'aval. Les mois les plus froids sont décembre et janvier ; le mois le plus chaud est juin. L'amplitude légèrement plus faible de cet axe à la station 1 provient d'une amplitude thermique plus faible qu'aux autres stations : en saison froide les eaux du fossé noir, provenant directement de la station d'épuration, sont plus chaudes que les eaux du bassin et l'inverse se produit en été.

En fait, les coordonnées de tous les points-objets sur l'axe II sont groupées à l'exception de juin 1976, qui fut un

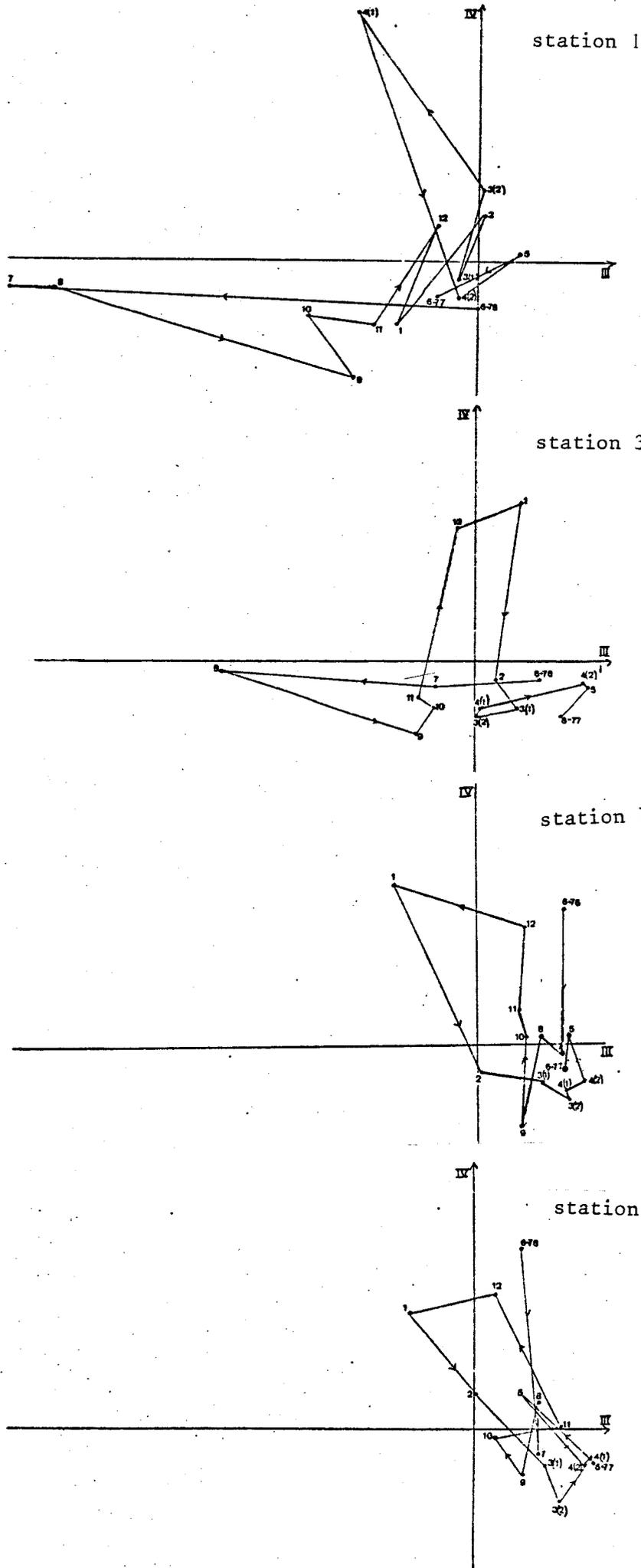


Fig. 52 : PROJECTIONS DES
POINTS-STATIONS DANS
LE PLAN III, IV.

mois anormalement chaud, et du deuxième prélèvement de mars à la station 1. La position de ce dernier point est paradoxale car la température y est basse ; peut-être faut-il en accuser le taux de chlorophylle, anormalement élevé dans ce prélèvement.

Le lien étroit entre les coordonnées sur le deuxième axe principal et la température peut être mis en évidence par la corrélation entre les moyennes des températures et les moyennes des coordonnées sur l'axe II pour chaque mois

Axe III. Cet axe, nous l'avons vu, reflète des processus indépendants de la charge totale en pollution, et indépendants du cycle saisonnier. Il correspond à l'élimination des nitrates et des nitrites, soit par augmentation de la biomasse algale, soit par dénitrification et augmentation de l'ammoniaque (en fait, ces deux modalités seront séparées par l'axe IV).

L'amplitude des projections des objets sur l'axe III diminue de l'amont vers l'aval, en même temps que le point moyen se déplace (vers la droite sur le graphique donné en Fig. 52, c'est-à-dire vers les teneurs plus faibles en nitrates et nitrites). Les points de juillet et août à la station 1 et de juillet à la station 3 se projettent très loin sur la gauche de l'axe (teneurs en nitrates élevées). Par ailleurs les observations de janvier se singularisent aux stations 7 et 9, indiquant une élimination des nitrates et des nitrites moins intense qu'aux autres dates de l'année ; en fait on observe en janvier une diminution des nitrites d'amont en aval, mais une augmentation des nitrates.

Axe IV. Il isole en général les prélèvements ayant de forts taux de MES, d'O₂, de faibles taux de PO₄ et NH₄ et des pH élevés. L'amplitude varie peu selon les stations.

A la station 1, le prélèvement de début avril comporte le maximum observé de MES, et le prélèvement de septembre le minimum, exception faite du prélèvement de juillet, encore plus pauvre en MES mais qui est "tiré" vers l'origine de l'axe par un taux plus important d'oxygène.

Pour les autres stations, les points se projettent non loin de l'origine à l'exception des mois de décembre et janvier aux stations 3, 7 et 9 et du mois de juin 76 aux stations 7 et 9. Les valeurs de décembre et janvier correspondent à des maxima de MES et O₂. En juin, O₂ et MES ne sont pas maximaux, en revanche le pH atteint sa valeur maximale (8,3) et les phosphates montrent un minimum très accentué (3,4 mg/l) ; le taux d'ammoniaque est faible.

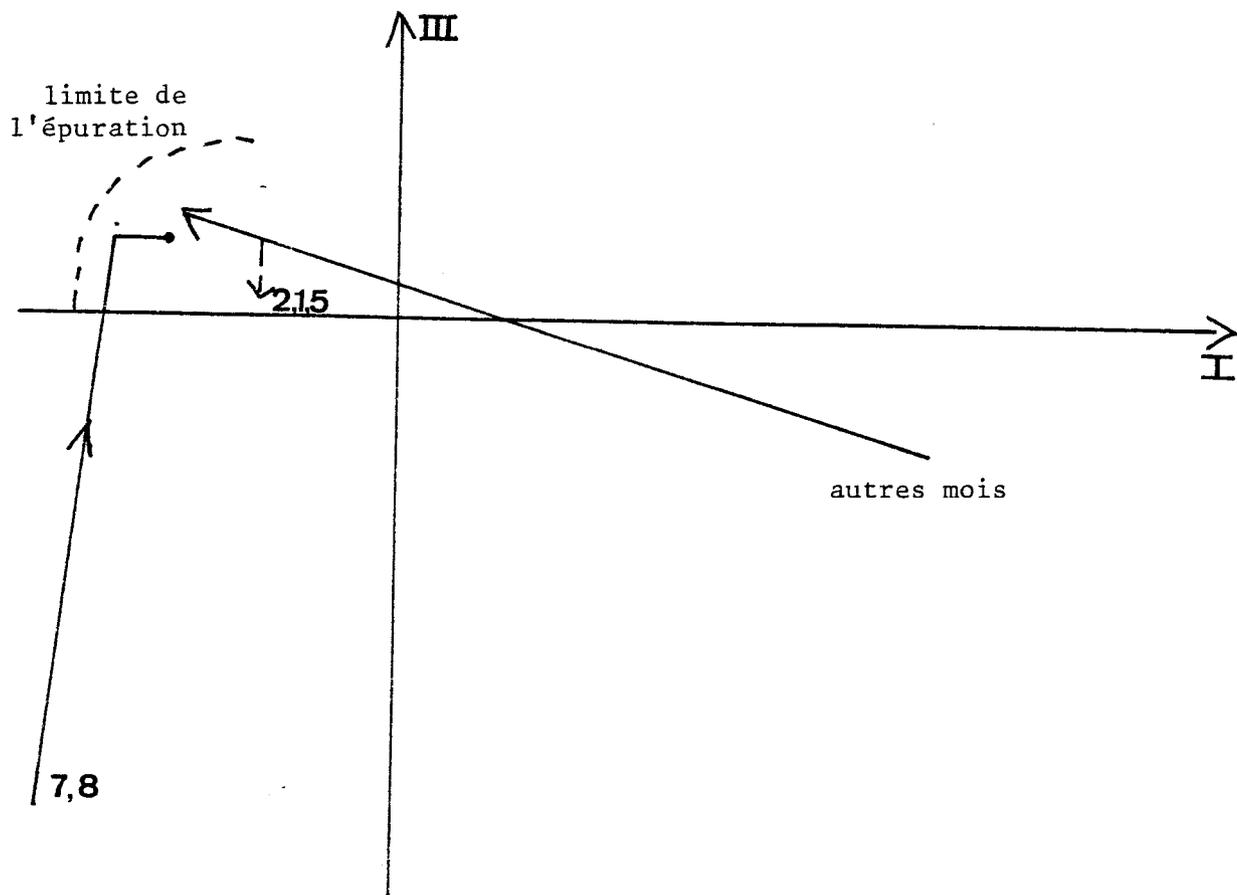
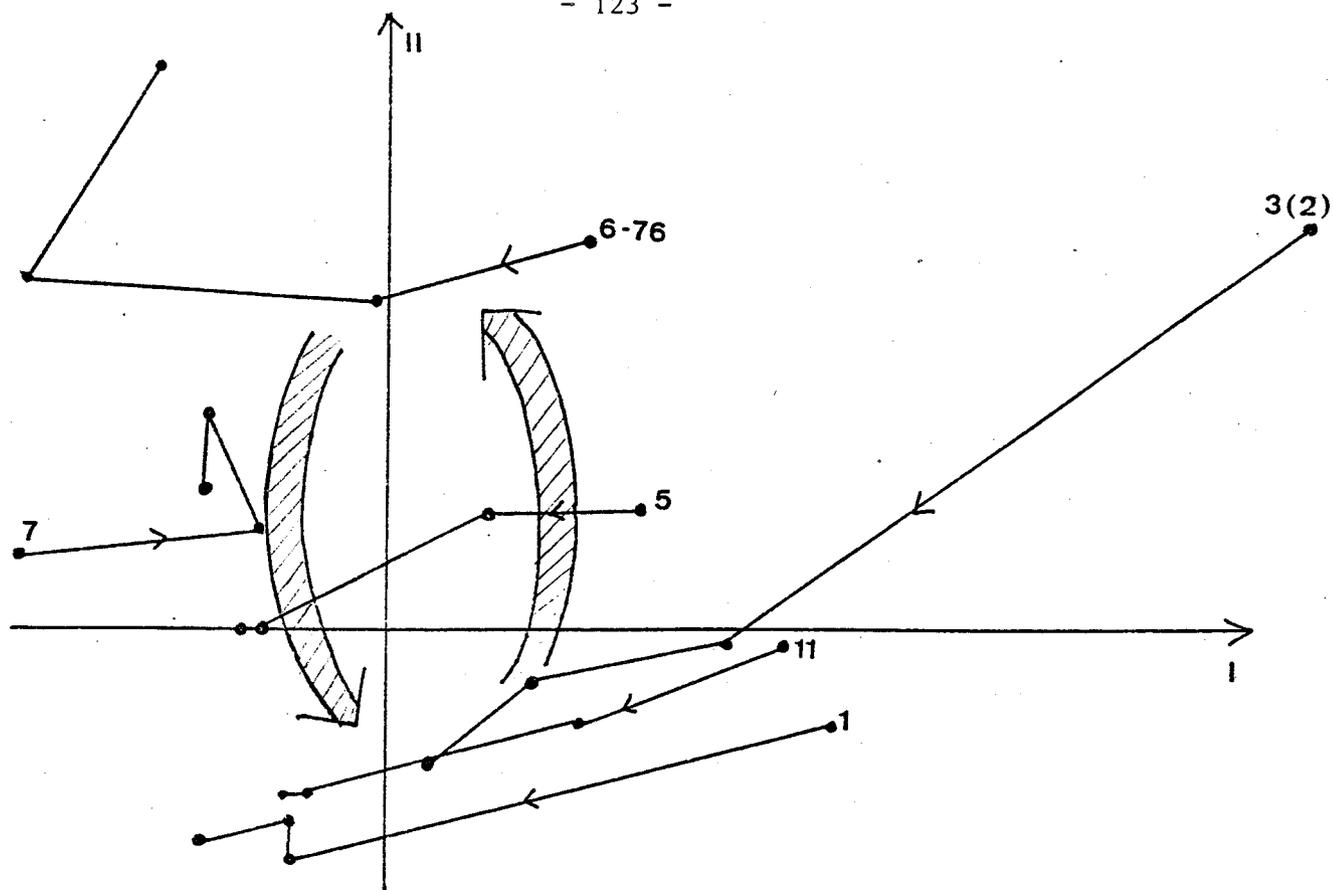


Fig. 53 : GRADIENT SPATIAL DANS LE PLAN I,II ET I,III.

■ Evolution amont-aval, mois par mois

Nous avons ici relié d'un trait, mois par mois, les quatre stations, faisant apparaître des allures du gradient amont-aval variables suivant les mois. Le graphique complet, comprenant 15 lignes brisées, étant confus, nous avons considéré les mois par types d'évolution amont-aval (fig. 53).

Dans le plan (I, II), les gradients sont représentés par des lignes pour la plupart parallèles, de même sens, et par surcroît presque parallèles à l'axe I, décalées de mois en mois. Font exception les mois de juillet et août, moins rectilignes et dont l'évolution le long de l'axe I va en sens inverse des précédents. Le déplacement le long de l'axe II est visiblement lié au cycle saisonnier et particulièrement au cycle annuel de la température, comme nous l'avons déjà montré. Nous examinerons donc avec plus d'intérêt les plans (I, III) et (III, IV).

Dans le plan (I, III), deux types principaux de gradients apparaissent. La plupart des mois, l'évolution amont-aval est décrite par une ligne à peu près droite rejoignant le deuxième au quatrième quadrant, illustrant à la fois une diminution de la charge polluante totale, et une élimination des nitrites ou nitrates. Par ailleurs, les mois de juillet et août montrent une évolution amont-aval parallèle à l'axe III, illustrant uniquement une disparition des nitrates (très abondants à la station 1), dans un état de pollution générale assez faible. Enfin quelques mois apparaissent intermédiaires (septembre, octobre et novembre) ou un peu particuliers comme janvier, pour lequel la disparition de la charge polluante est déjà très avancée à la station 3, mais où le taux de nitrates augmente de la station 1 à la station 9, induisant en fin de parcours une évolution vers l'extrémité opposée de l'axe III. En fait, pour beaucoup de mois on observe un début de courbure de l'extrémité des lignes vers l'extrémité négative de l'axe III ; le mois de janvier ne fait qu'accentuer cette tendance.

La figure 53 schématise ces principales évolutions.

On peut remarquer sur cette figure que, quel que soit la qualité de l'eau en amont, c'est-à-dire le point de départ dans un des quadrants 1, 2 ou 3, le point d'arrivée, illustrant la qualité de l'eau obtenue en fin de processus, est toujours

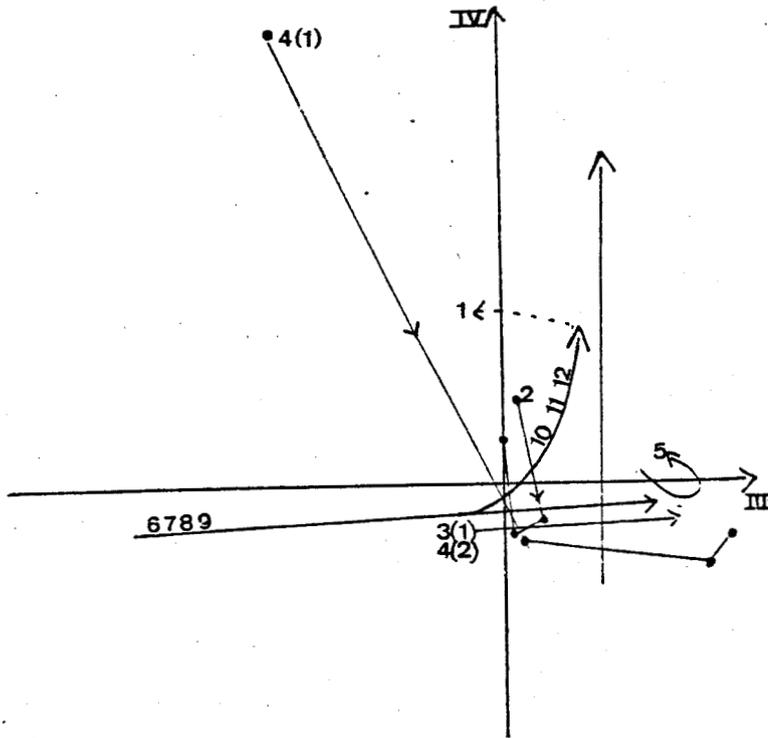


Fig. 54 : GRADIENT SPATIAL DANS LE PLAN III,IV.

très groupé dans un domaine assez étroit du quadrant 4 (à l'exception de fin mars, où on n'atteint pas en fin de trajet le même niveau d'épuration qu'aux autres dates). Au mois de septembre, où la charge polluante part d'un niveau relativement faible en amont, on n'arrive pas, en aval, à une meilleure qualité d'eau que les autres mois ; il en est de même pour les mois de juillet et août, où la charge polluante est faible partout. Il semble donc que la qualité de l'eau représentée par les points du quatrième quadrant du plan (I, III) représente, dans cette lagune, une limite ne pouvant être améliorée, quelles que soient la pollution de départ et les conditions saisonnières.

L'évolution des gradients relativement à l'axe IV est un peu plus difficile à saisir. Sur la projection (III, IV) on constate deux types principaux d'évolution amont-aval. Les mois de juillet et août ne sont pratiquement pas représentés sur l'axe IV : ils montrent seulement un très fort gradient selon l'axe III. Les mois de septembre à novembre, partant d'une situation en amont bien moins éloignée sur l'axe III, évoluent de la même façon. Décembre et janvier évoluent d'amont en aval essentiellement selon l'axe IV - exception faite d'un recul le long de l'axe III aux stations 7 et 9 en janvier. Les mois suivants ne manifestent aucun gradient net le long des axes III et IV, à l'exception de début avril qui montre un gradient très particulier. L'analyse des correspondances multiples nous fournira des éléments complémentaires d'interprétation.

3 - ANALYSE DU TABLEAU DE CONTINGENCE : ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES

L'analyse factorielle des correspondances a un domaine d'application différent de l'analyse en composantes principales. Alors que l'analyse en composantes principales est réservée aux tableaux de mesures, éventuellement hétérogènes, l'analyse des correspondances s'applique par excellence aux tableaux de contingence. Le critère fondamental d'applicabilité de l'AFC est le suivant : les sommes de lignes, ainsi que les sommes de colonnes, doivent signifier quelque chose, et être homogènes. Ici, les sommes de lignes sont les effectifs des prélèvements, toutes espèces comprises ; les sommes de colonnes sont les effectifs des espèces, tous prélèvements cumulés.

Nous avons donc utilisé cette technique pour l'analyse de nos "variables biologiques", qui sont toutes des dénombrements de taxons dans des prélèvements. Nous n'avons effectué cette analyse que sur le tableau complet des données, toutes stations mêlées. Les individus sont les mêmes (stations ou dates) que pour l'ACP. Les descripteurs sont les effectifs des taxons du zooplancton dans les 60 prélèvements.

Se référant au modèle du bâton brisé comme pour l'analyse en composantes principales, nous retenons 5 premiers axes, dont la variance se distribue comme suit :

Vecteurs propres	Valeurs propres	% variance	% cumulés	% bâton brisé	% bâton brisé cumulé
V ₁	0,95	20,4	20,4	14,8	14,8
V ₂	0,80	17,1	37,5	11,0	25,8
V ₃	0,73	15,7	53,2	9,1	34,9
V ₄	0,60	12,9	66,0	7,8	42,7
V ₅	0,38	8,1	74,2	6,8	49,5
V ₆	0,22	4,8	79,0	6,0	55,5

Les tableaux en Annexe 15 à 17 donnent les résultats numériques de l'analyse.

Le tableau 16 indique les "contributions" des individus (stations et dates) aux cinq premiers axes. Pour chaque axe la première colonne donne la coordonnée de la projection de chaque point-individu. Les contributions en ‰ de chaque point à l'inertie de l'axe sont notées CTR ; leur somme pour un axe est égale à 1 000. Les COR (parfois appelées contributions relatives) sont les carrés des coefficients de corrélation (cosinus de la distance angulaire entre les axes et les vecteurs-individus, multipliés par 1 000). Leur somme sur une ligne doit être égale à 1 000.

Le tableau 17 indique les mêmes données concernant les points-descripteurs.

Nous nous attacherons principalement aux taxons à CTR fort, que nous appellerons "espèces structurantes". De plus, nous constaterons l'existence d'espèces à faible CTR, mais montrant un COR élevé. Ce sont des variables contribuant peu à l'inertie de l'axe, mais néanmoins bien représentées par lui.

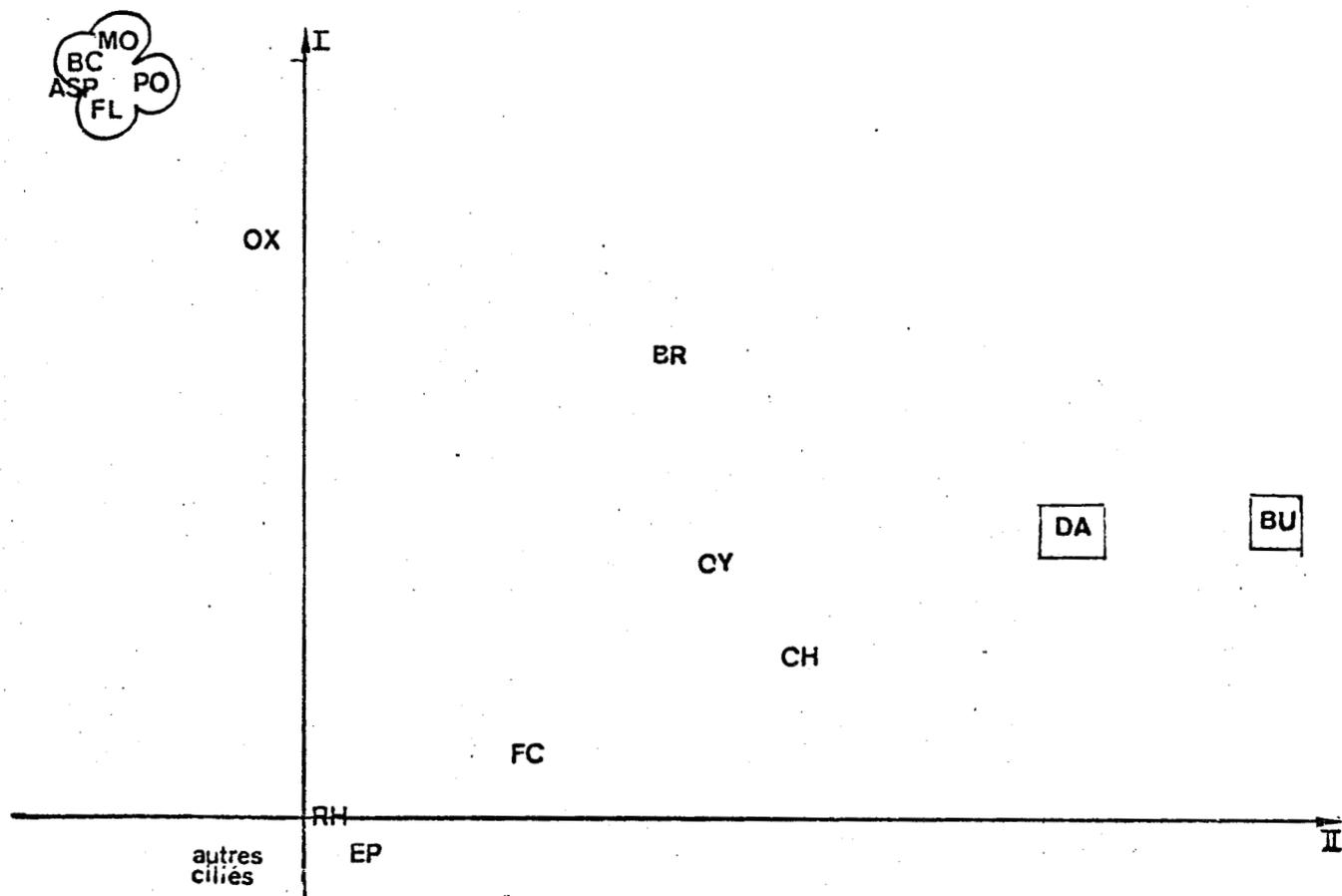


Fig. 55 : PROJECTIONS DES POINTS-DESCRIPTEURS DANS LE PLAN I ET II.

- espèce structurante sur axe I
- espèce structurante sur axe II

3.1. Analyse des descripteurs ou variables

Axe I - Quatre organismes contribuent fortement à l'axe I, un cinquième est accompagnateur :

Variable	Coordonnée	COR (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé
structurantes :	BC	0,496	72,2	14,8
	PO	0,476	28,7	11,0
	MO	0,509	58,0	9,1
	FL	0,470	53,7	7,8
			$\Sigma=80,8$	
accompagnatrice :	ASP	0,497	45,7	0,5

Brachionus calyciflorus (BC) et *Polyarthra* (PO) sont apparues respectivement 12 et 11 fois sur 60 observations. La première de façon un peu dispersée et la seconde aux stations 3, 7, 9 pendant les mois les plus chauds : juin à septembre. *Filinia longiseta* (FL) est apparue 8 fois de façon sporadique. *Moina macrocopa* (MO) et *Asplanchna* (ASP) trois fois : aux trois stations de lagune en juin 1976, le mois le plus chaud de notre étude. Rappelons que les *Moina* remplacent les *Daphnies* pendant les mois les plus chauds.

Axe II - Deux organismes contribuent pour 78,7 % à l'inertie de cet axe ; nous n'observons pas de variable accompagnatrice.

Variable	Coordonnée	COR (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé
DA	0,541	78,3	60,5	14,8
BU	0,703	33,2	18,2	11,0
			$\Sigma=78,7$	

L'axe est donc essentiellement constitué par *Daphnia magna* (DA). A l'opposé de l'axe I qui était représenté par des espèces sporadiques, l'axe II est expliqué en majorité par une espèce présente la quasi-totalité de l'année aux trois stations de la lagune (44 observations sur 45) ; en revanche elle n'est observée à la station 1 que deux fois et en

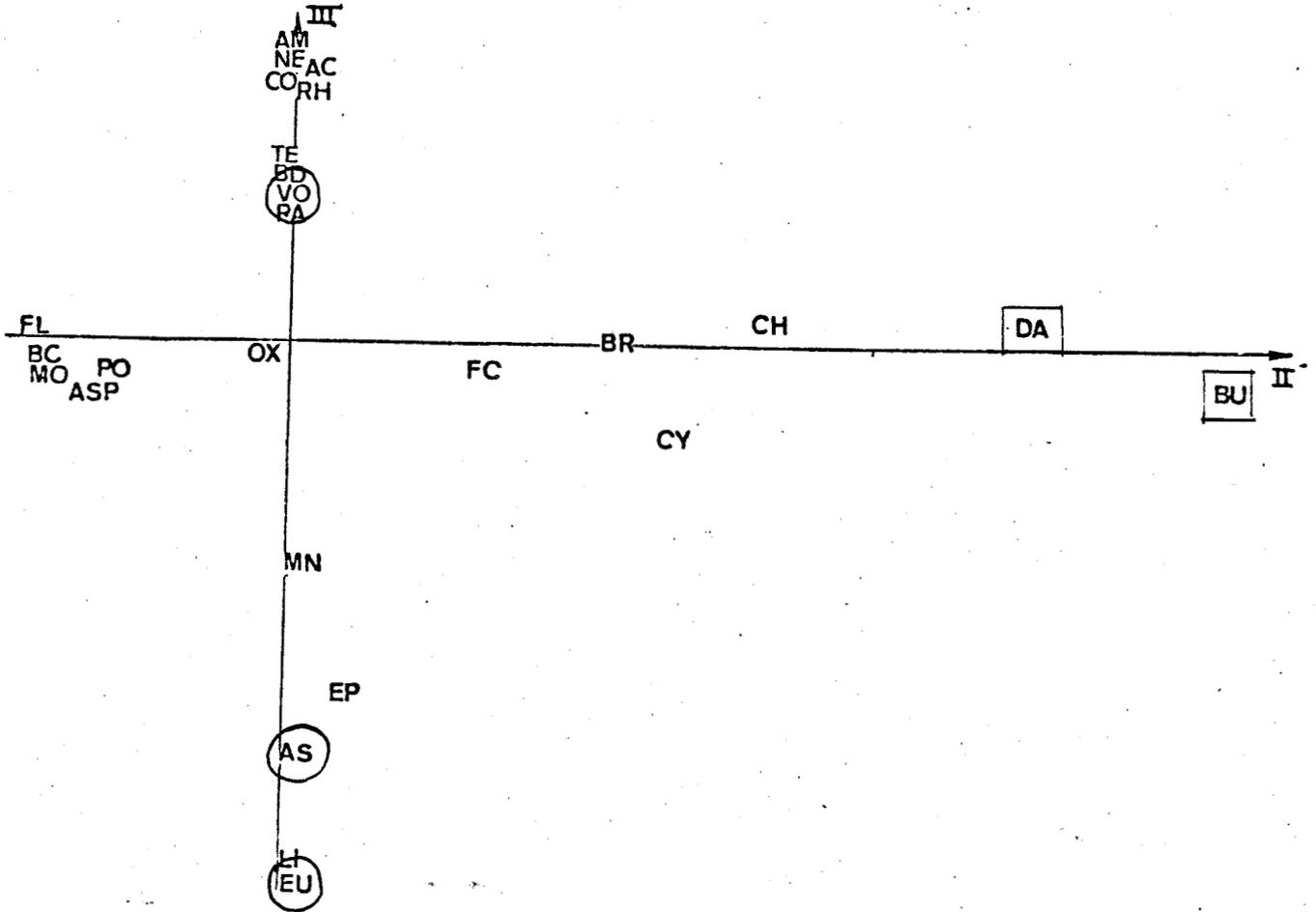


Fig. 56 : PROJECTIONS DES POINTS-DESCRIPTEURS DANS LE PLAN II,III.



espèce structurante sur axe II



espèce structurante sur axe III

très faible quantité. *Brachionus urceolaris* (BU) n'est présent que 8 fois sur les 60 observations, et jamais à la station 1.

Axe III - Trois organismes contribuent pour 94,9 % de l'inertie de l'axe et une espèce est accompagnatrice :

Variable	Coordonnée	COR (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé
Structurantes :	EU	- 0,156	91,3	14,8
	VO	0,508	75,6	11,0
	AS	- 0,122	30,5	9,1
			$\Sigma=94,9$	
Accompagnatrice :	LI	- 0,154	92,0	0,7

Une de ces variables s'oppose donc aux autres sur l'axe III : les Vorticellidae (VO), rencontrées dans toutes les stations mais constamment, et en très grande abondance, à la station 1 ; aux stations de la lagune, on note une diminution d'ensemble d'amont vers l'aval, le maximum (diminuant d'amont en aval) ayant lieu au mois de février, qui correspond à la fois au maximum d'abondance pour la station 1, et à l'ouverture du by-pass. On peut en conclure que ce groupe est caractéristique, par sa présence et son abondance, des eaux au sortir de la station d'épuration, et qu'elle est en survie dans la lagune.

Les trois autres espèces : *Euplotes* (EU) *Astylozoon* (AS) et *Lionotus* ont un comportement qui, à première vue, rend paradoxale l'opposition signalée entre les deux groupes de taxons. En effet, dans les stations de la lagune, ces trois espèces montrent un maximum en février, époque des maxima des Vorticelles, avec une abondance décroissante d'amont en aval ; *Lionotus* est même uniquement présente en février, avec la même décroissance d'amont en aval. Dans la lagune, les quatre taxons ont donc des profils voisins, ce qui laisserait attendre une corrélation positive avec les Vorticelles. En fait la répartition de l'inertie est telle que la forte abondance des Vorticelles à la station 1, comparée à la faible abondance ou absence des trois autres espèces à cette station, domine et oblitère le phénomène précédent. Une AFC réalisée sur les seules stations de la lagune aurait sans doute fait apparaître des coordonnées de même signe de ces quatre taxons selon l'axe III.

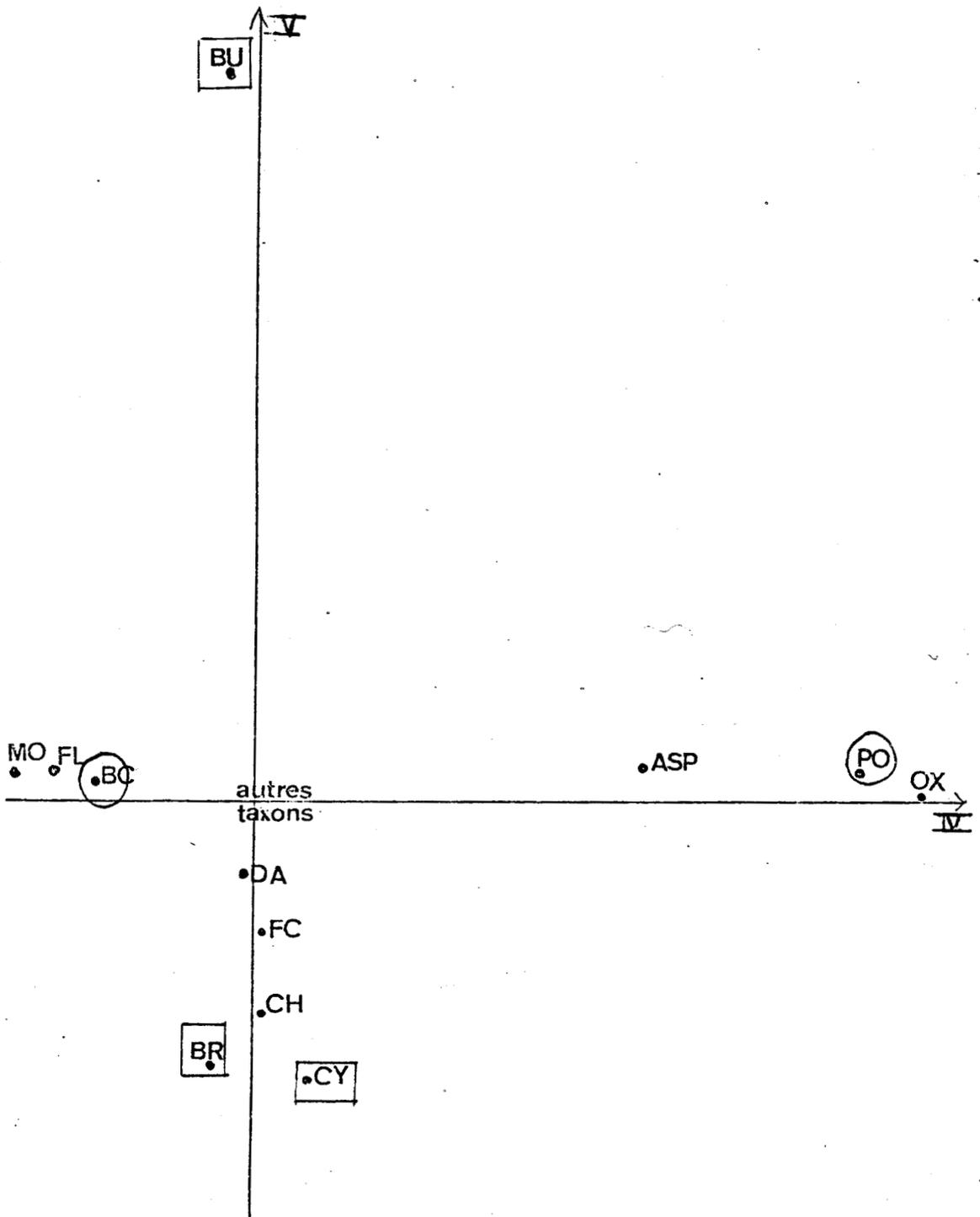


Fig. 57 : PROJECTIONS DES POINTS-DESCRIPTEURS DANS LE PLAN IV,V.

-  espèce structurante sur axe IV
-  espèce structurante sur axe V

Axe IV - Deux espèces sont structurantes et nous en avons retenu une comme accompagnatrice, et deux autres pour comparaison avec l'axe I, comme nous allons l'exposer.

Variable	Coordonnée	COR (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé
PO	0,734	68,3	74,6	14,8
BC	- 0,211	13,1	11,5	11,0
			$\Sigma=86,1$	
ASP	0,474	41,1	0,7	
MO	- 0,338	25,7	8,3	
FL	- 0,252	15,5	4,1	

Toutes les autres variables ont des COR et des CTR extrêmement faibles ou nuls. On remarque immédiatement que les espèces retenues sont les mêmes que pour l'axe I. Cependant, alors que dans ce dernier toutes les variables se projetaient vers la même extrémité des l'axe, pour l'axe IV au contraire nous avons deux groupes de variables :

- . coordonnées positives : *Polyarthra* (PO), *Asplanchna* (ASP)
- . coordonnées négatives : *Brachionus calyciflorus* (BC),
Moina macrocopa (MO), *Filinia longiseta* (FL).

En particulier, l'axe IV oppose les deux espèces structurantes PO et BC, alors que l'axe I les rassemble. Nous avons ici un excellent exemple de l'utilité de l'Analyse factorielle qui permet de décrire à la fois, sous la forme de deux "facteurs" indépendants, les concomitances et les oppositions d'un même groupe d'espèces. Dans le cas étudié, toutes les espèces montrent un maximum d'abondance en juin 76 (ou même sont seulement présentes à cette date), ce qui est représenté par l'axe I. Les espèces ayant une coordonnée positive sur l'axe IV montrent une augmentation d'abondance d'amont en aval ; celles à coordonnée négative montrent une abondance plus forte à la station 3 qu'à la station 9 (le maximum se trouvant parfois à la station I. Cette opposition arrive en quatrième place dans la hiérarchie des "facteurs" importants. Le rôle de l'analyse factorielle dans la mise en évidence d'une hiérarchie des facteurs a été analysé par BLANC et LAUREC (1976), suite à un pamphlet de FRONTIER (1974 b).

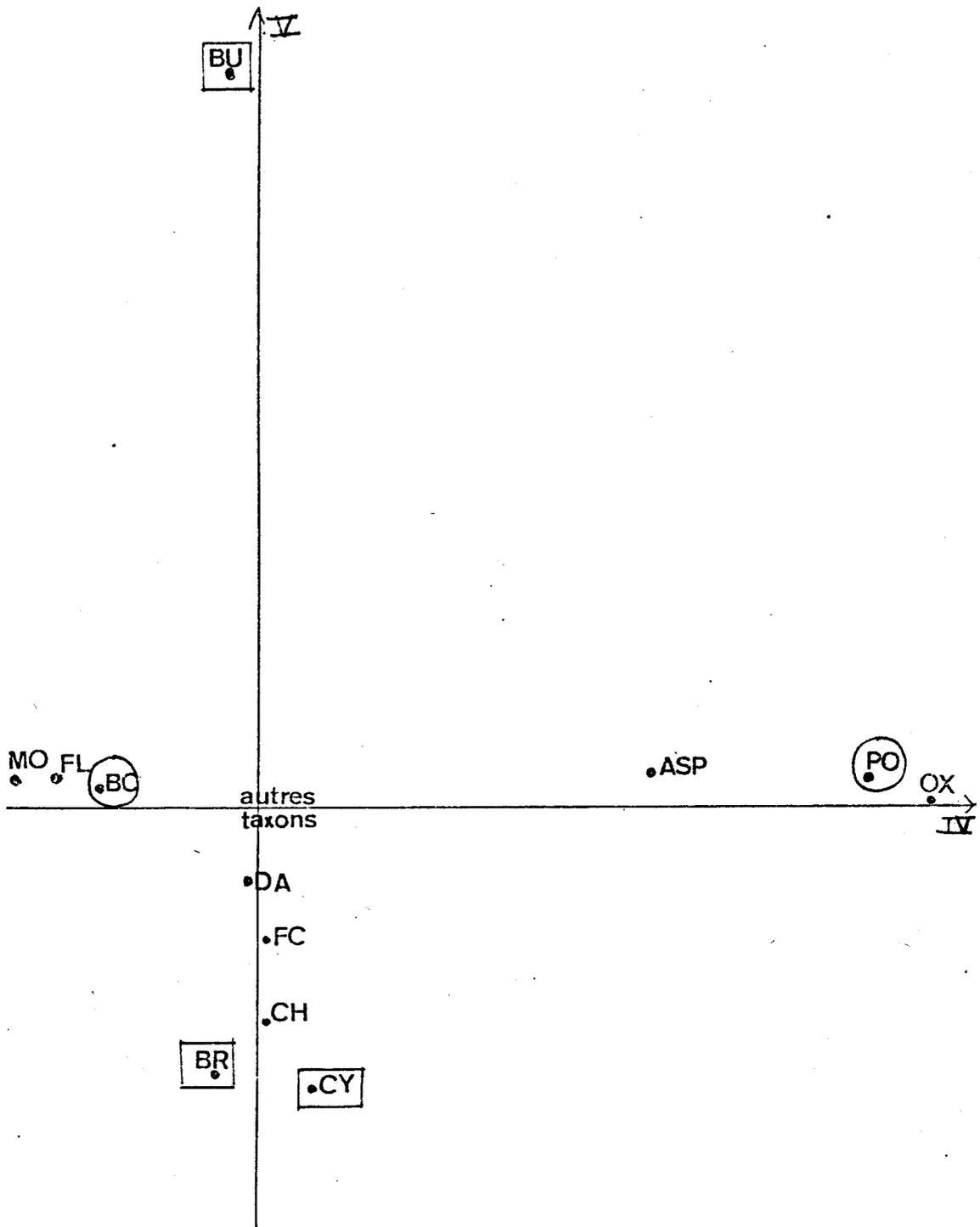


Fig. 58 : PROJECTIONS DES POINTS-DESCRIPTEURS DANS LE PLAN IV,V.

○ espèce structurante sur axe IV
□ espèce structurante sur axe V

Axe V - Trois variables structurantes, dont deux apparaissent pour la première fois dans l'analyse : aucune variable accompagnatrice.

Variable	Coordonnée	COR (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé
BU	0,915	56,2	64,7	14,8
BR	- 0,333	19,0	14,7	11,0
CY	- 0,363	23,1	14,6	9,1
			$\Sigma=94,0$	

L'axe oppose *Brachionus urceolaris* (BU) déjà structurant sur l'axe II, à *Brachionus rubens* (BR) et aux Cyclopidae (CY). *B. urceolaris* et *rubens* semblent en compétition très nette dans la lagune (ils sont tous deux absents à la station 1) : les pics d'abondance de l'un correspondent généralement à des minima ou des absences de l'autre. La liaison avec les Cyclopidae n'apparaît pas.

3.2. Analyse des objets

Dans l'analyse en composantes principales, l'analyse des objets est purement géométrique et se concrétise par l'examen des projections des points-objets sur les axes et plans principaux. Au contraire dans l'analyse factorielle des correspondances, l'étude des objets et des variables est rigoureusement symétrique (les valeurs et vecteurs propres sont les mêmes) et doit se fonder essentiellement sur l'analyse des contributions (CTR ou COR). Les projections sur les axes et plans principaux n'interviennent qu'en second, et essentiellement en raison d'une propriété de l'AFC : la possibilité d'interpréter les proximités (sous réserve de certaines précautions) entre projections des objets et des variables - ce qui n'est pas possible en ACP -, réalisant la "correspondance" entre ordination des lignes et ordination des colonnes du tableau de départ.

Dans les représentations graphiques des projections sur les plans principaux (Figs 55 à 60), la transformation des coordonnées pour que l'un des ensembles soit formé des barycentres de l'autre n'a pas été faite : on devra donc s'abstenir d'interpréter directement les proximités géométriques, et on passera par les contributions aux axes pour l'interprétation.

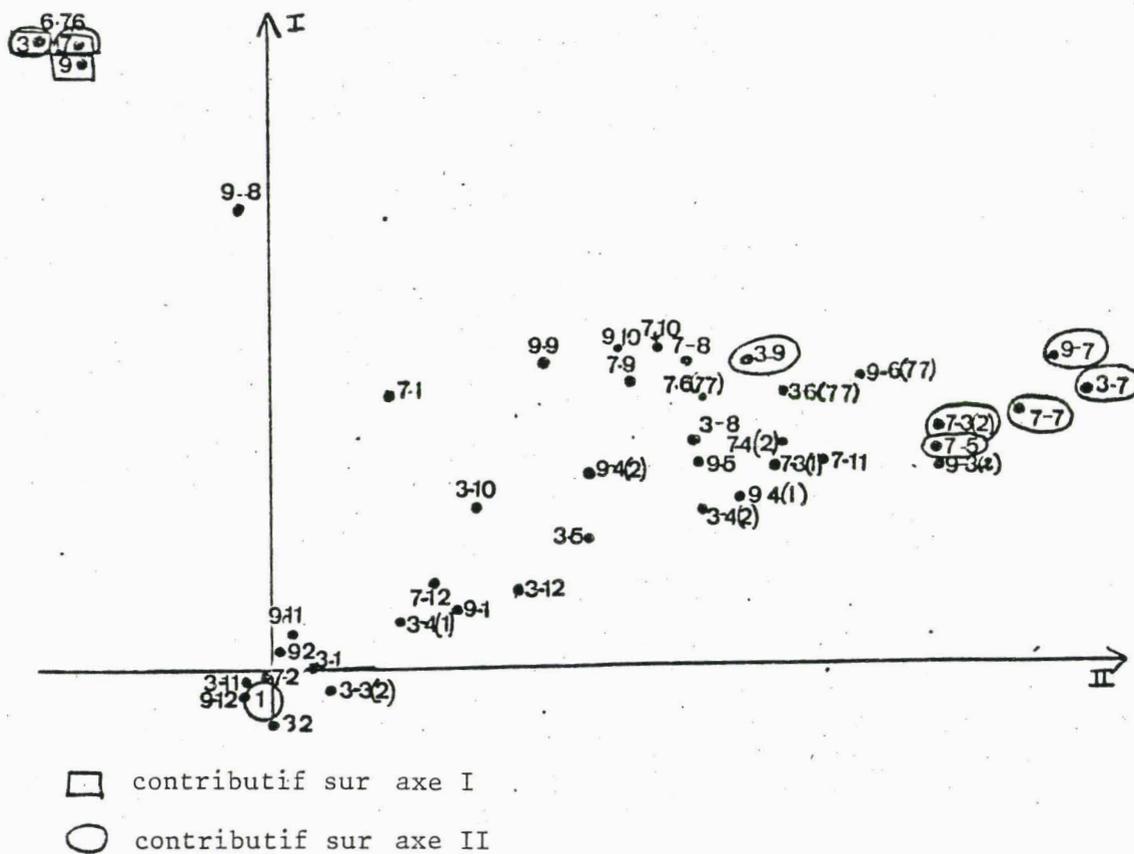


Fig. 59 : PROJECTIONS DES PRINCIPAUX POINTS-OBJETS DANS LE PLAN I,II

Le premier chiffre correspond à la station,

Le deuxième chiffre représente le mois.

Tous les prélèvements de la station 1 sont représentés par ①

Axe I - Trois objets sont structurants : les récoltes de juin 76 aux 3 stations de la lagune ; aucun accompagnant.

Objet	Coordonnée	COR (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé
Structurant				
St. 7, juin 76	0,498	70,1	41,1	7,8
St. 9, juin 76	0,480	32,2	21,7	6,1
St. 3, juin 76	0,505	56,6	19,4	5,3
			$\Sigma=82,2$	

Les coordonnées des trois objets retenus ont le même signe. Le signe des coordonnées permet également de discriminer les objets selon cet axe (voir fig. 55) : en effet, tous les prélèvements de la station 1 ont une coordonnée négative ; presque tous les prélèvements en lagune (stations 3, 5, 7) ont une coordonnée positive.

Correspondance avec les variables. L'axe I avait isolé *Brachionus calyciflorus*, *Polyarthra*, *Moina*, *Filinia longiseta* et *Asplanchna* : toutes ces espèces sont présentes uniquement dans la lagune, soit uniquement en juin 76, soit présentant à cette date un maximum très prononcé. L'axe I décrit donc bien le changement de faune qui s'est produit en juin 76, date d'un maximum thermique inhabituel pour la région.

Axe II - 8 objets structurants et 7 accompagnants.

Objet	Coordonnée	COR (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé
Structurants				
St. 7, juillet	0,626	79,2	27,5	7,8
St. 3, juillet	0,701	30,6	9,1	6,13
St. 7, mai	0,581	62,6	8,9	5,3
St. 7, fin mars	0,557	64,7	8,0	4,7
St. 7, juin 76	- 0,170	8,4	5,9	4,3
St. 9, juillet	0,659	31,5	5,5	4,0
St. 3, septembre	0,390	26,5	5,2	3,7
St. 3, juin 76	- 0,215	10,2	4,2	3,5
			$\Sigma=74,3$	
Accompagnants				
St. 9, fin mars	0,567	65,1	2,9	
St. 9, début avril	0,407	60,8	0,9	
St. 9, juin 77	0,494	57,7	2,0	
St. 3, juin 77	0,446	54,2	1,1	
St. 7, novembre	0,458	51,6	0,5	
St. 3, août	0,357	51,4	3,2	
St. 7, début mars	0,448	51,0	2,1	

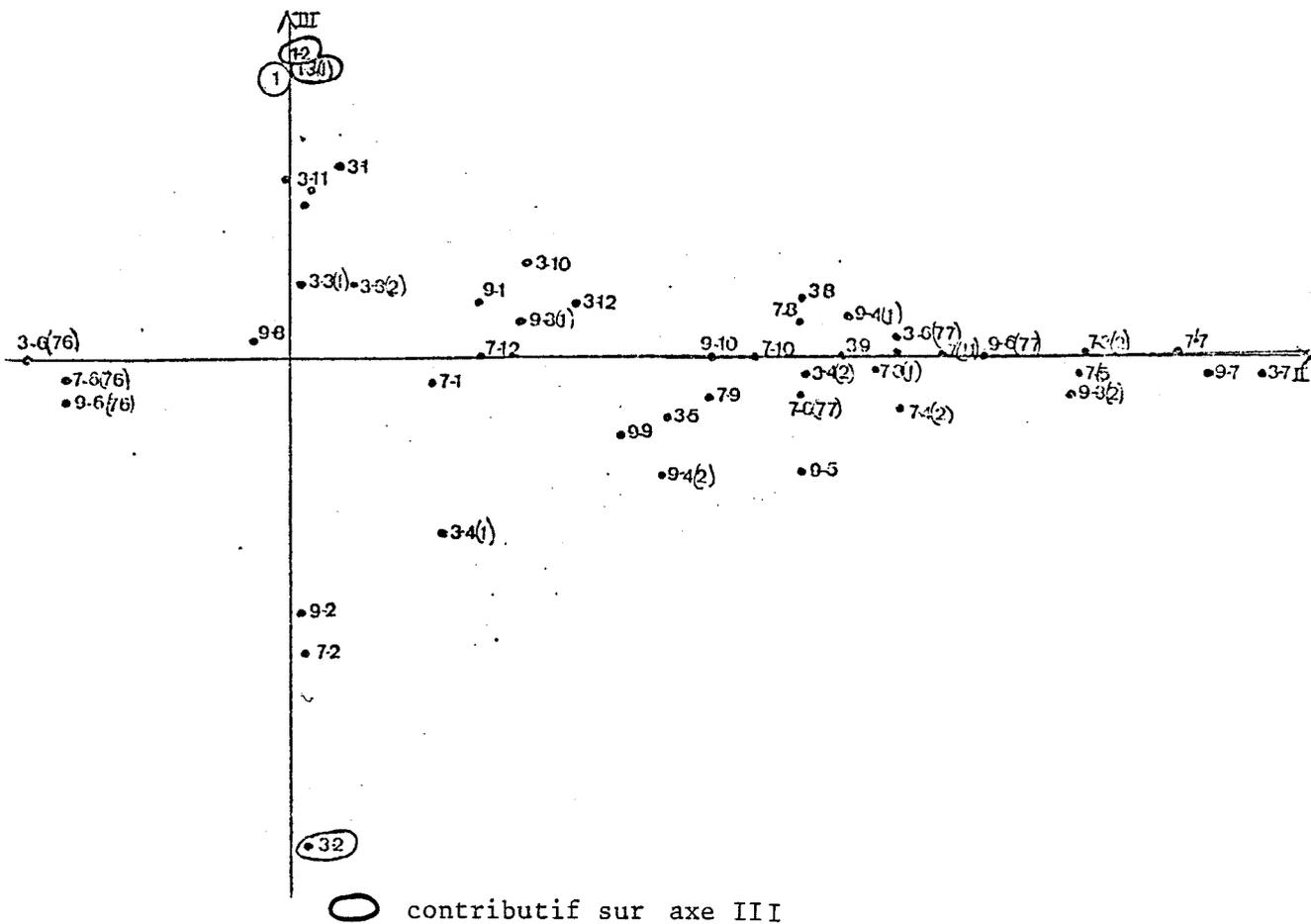


Fig. 60 : PROJECTIONS DES PRINCIPAUX POINTS-STATIONS DANS LE PLAN II, III.

Le premier chiffre correspond à la station,

Le deuxième chiffre correspond au mois,

L'ensemble des prélèvements de la station 1 est représenté par ①.

Correspondance avec les variables. L'axe II avait isolé uniquement *Daphnia magna* et *Brachionus urceolaris*. Les prélèvements à coordonnées positives marquent les maxima d'abondance simultanés de ces deux espèces, le plus souvent aux stations 3 et 7.

Axe III - Trois prélèvements structurants, deux accompagnants.

Objet	Coordonnée	COR (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé
Structurants				
St. 3, février	- 0,136	94,1	65,6	7,8
St. 1, février	0,598	65,3	13,2	6,1
St. 1, début mars	0,606	61,0	5,7	5,3
			$\Sigma=84,5$	
Accompagnants				
St. 1, juin 76	0,609	70,6	1,3	
St. 1, juin 77	0,617	51,6	2,2	

Du point de vue de ces seuls prélèvements ainsi retenus, l'axe III oppose celui fait à la station 3 en février (époque de l'ouverture du by-pass), à quatre prélèvements de la station 1. En fait, le tableau complet des données concernant l'axe III (voir Annexe 16) précise cette opposition : mis à part le prélèvement de février à la station 3 (le mieux représenté sur cet axe) et deux autres faiblement représentés : février aux stations 7 et 9, tous les objets ont des CTR nulles ou pratiquement nulles et des COR nulles ou très faibles. Par contre, 12 des 15 prélèvements effectués à la station 1 montrent des COR supérieures à 10 % (ou 100 ‰ sur l'Annexe), et des CTR non nulles.

En conclusion, l'axe III exprime de façon privilégiée la faune du fossé noir : d'une part les récoltes en station 1 ; d'autre part les récoltes aux trois stations de la lagune en février, pendant que le by-pass introduisait la faune de la station d'épuration au milieu de la lagune. L'axe sépare les récoltes dans le fossé noir, de celles en lagune où se produisait un mélange entre faune de la station d'épuration et faune lagunaire. Il décrit l'effet de ce mélange de masses d'eau.

Correspondance avec les variables. L'ordination des variables (cf ci-dessus) semble confirmer et expliquer l'opposition décrite dans les prélèvements. En effet les Vorticelles sont toujours très abondantes à la station 1, et montrent aux autres stations un maximum accusé en février, montrant qu'elles ont été entraînées en lagune par l'ouverture du by-pass. Dans le groupe de variables opposé, *Astylozoon* et *Lionotus* montrent un maximum en février dans la lagune, mais n'apparaissent jamais à la station 1 : ces deux espèces semblent favorisées par le mélange entre les deux masses d'eau. La troisième espèce de ce deuxième groupe, *Euplates*, montre aussi un maximum important en février dans la lagune tout en étant présente, en nombre moyen, dans la moitié des récoltes de la station 1 : son statut est donc intermédiaire, mais il est indéniable qu'elle est favorisée par le mélange des eaux.

Axe IV - Trois objets structurants : juin 76 aux stations 3, 7 et 9 et un objet accompagnant : août 76 à la station 9. Tous les autres prélèvements montrent des CTR et des COR nulles ou presque nulles (voir Annexe 16).

Objet	Coordonnées	COR (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé
Structurants				
St. 9, juin 76	0,678	64,1	68,2	7,8
St. 7, juin 76	- 0,245	17,6	16,3	6,1
St. 3, juin 76	- 0,289	18,6	10,1	5,3
			$\Sigma=94,6$	
Accompagnants				
St. 9, août	- 0,668	50,3	4,6	

Comme pour les variables, on retrouve la même composition en éléments structurants que pour l'axe I, mais avec une opposition dans les signes : les trois objets structurants sont relatifs à juin 76, mais la station 9 (la mieux représentée sur l'axe) est opposée aux stations 3 et 7. On remarque aussi (Annexe 16) que toutes les coordonnées des prélèvements de la station 1 ont une coordonnée pratiquement nulle.

Correspondance avec les variables. Les variables à coordonnée positive (*Polyarthra* et *Asplanchna*) ont un maximum à la station 9 alors que celles à coordonnée négative (*Brachionus calyciflorus*, *Moina macrocopa* et *Filinia longiseta*) ont un minimum à la station 9. Au mois d'août, *Polyarthra* présente le même gradient amont-aval qu'en juin, ce qui explique que le prélèvement d'août à la station 9 soit lui aussi bien représenté (accompagnant). La coïncidence entre ordination des variables et ordination des objets, pour les axes I et IV, est donc bien établie.

Axe V - A l'opposé de l'axe III, l'axe V montre (Annexe 16) des COR et CTR nulles ou pratiquement nulles pour tous les prélèvements de la station 1, et non nulles pour les stations de la lagune. Trois objets structurants, pas d'accompagnant.

Objet	Coordonnée	COR (%)	CTR (%)	Modèle du bâton brisé
St. 3, juillet	0,973	56,0	35,1	7,8
St. 9, juillet	0,885	56,8	20,8	6,1
St. 3, septembre	- 0,292	14,9	6,2	5,3
			$\Sigma=62,1$	

Correspondance avec les variables. L'axe correspond à la présence de *Brachionus*. Si l'on examine la répartition des coordonnées positives et négatives, on constate que les positives sont concomitantes d'un maximum de *B. urceolaris* (stations 3 et 9 en juillet) et les négatives, d'un maximum de *B. rubens* (station 3, septembre). Cependant la station 7 en juillet paraît très proche de la 9 vis-à-vis de ces variables et on comprend mal qu'elle ne soit pas représentée sur l'axe. La relation avec les Cyclopidae est également inattendue. Il se peut qu'on arrive, pour ce cinquième cas, aux limites des possibilités d'interprétation (bien qu'il soit significatif selon le test du bâton brisé).

3.3. Projections des variables et des objets sur les plans principaux

Les figures 61 et 62 représentent ces projections dans les plans des axes (I, II), (I, III), qui visualisent bien la contribution et la localisation des différents éléments du tableau initial, vis-à-vis des axes extraits par l'analyse.

MO
BC
ASP
PO
FL

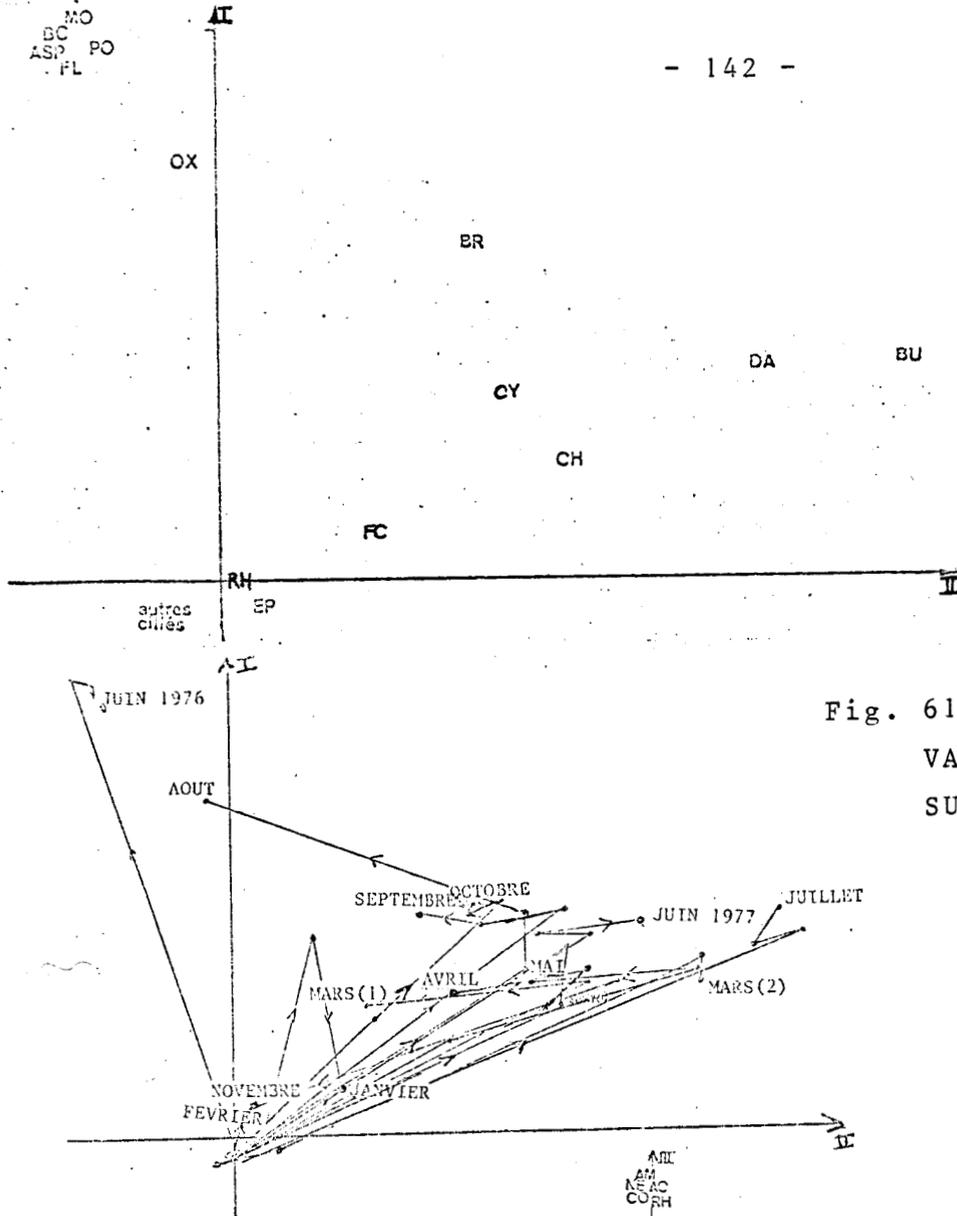
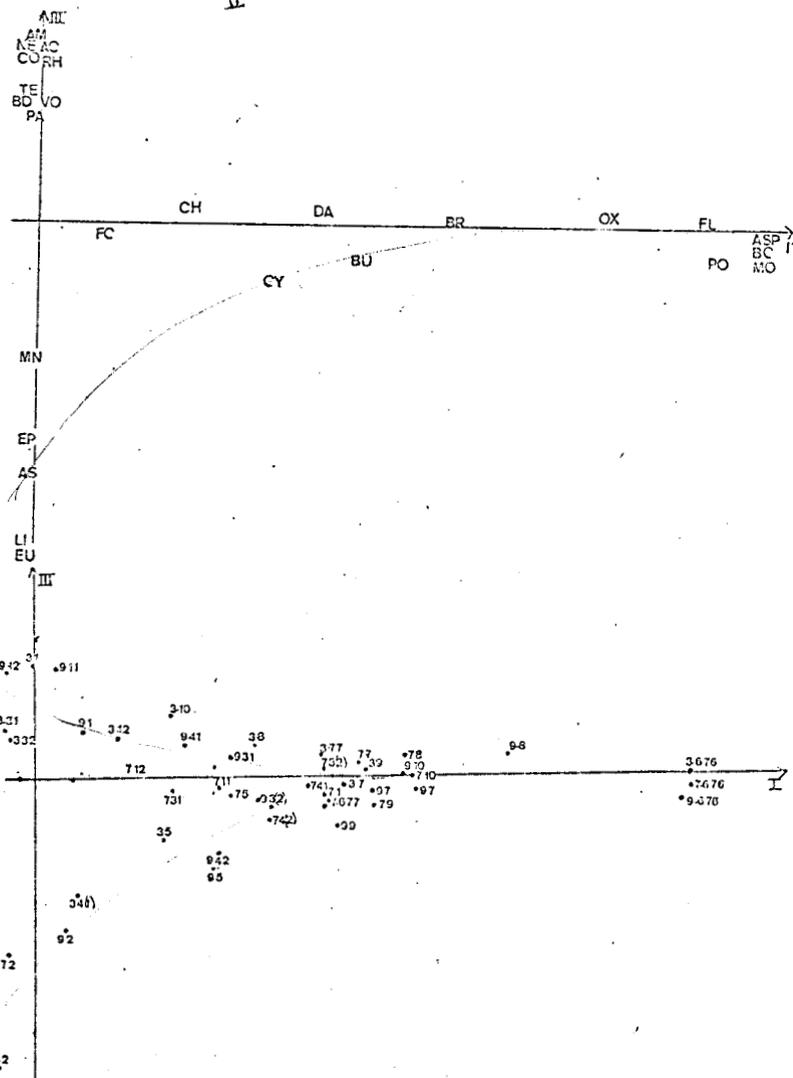


Fig. 61 : PROJECTIONS DES
VARIABLES ET DES OBJETS
SUR LE PLAN I,II

Fig.62 : PROJECTIONS DES
VARIABLES ET DES OBJETS
SUR LE PLAN I,III



Plan (I, II)

Variables : les espèces bien représentées décrivent un effet Gutmann : nuage de points d'allure parabolique joignant l'extrémité de l'axe I (caractérisant les taxons de juin 76), à un paquet d'espèces, principalement des Ciliés de la station 1, au voisinage de l'origine ; deux espèces échappent au nuage, caractéristiques de l'axe II : *D. magna* et *B. urceolaris*.

Objets : si l'on joint les points de chacune des dates, dans le sens amont-aval, on obtient une figure assez remarquable : la plupart des dates ont donné un segment de droite, parfois suivi par un rebroussement vers l'origine, dans un angle assez étroit de directions du plan (I, II) : les axes I et II ne sont donc pas indépendants. Font exception à cette disposition les points représentatifs de juin 76 dans la lagune, août à la station 9 et janvier à la station 7. Tous les points de la station 1 se trouvent au voisinage de l'origine (la station n'est pas représentée dans le plan (I, II)). Pour les autres stations, le gradient suggéré par la direction générale dans le plan (I, II) semble être un gradient de température lié à la saison : mois froids au voisinage de l'origine, mois chauds éloignés.

Plan (I, III)

Variables : le fait saillant est la correspondance assez stricte entre les axes et des groupes de variables. Cela pourrait s'expliquer par le grand nombre d'espèces apparues peu souvent, et dans des circonstances probablement bien particulières, dont les axes seraient la représentation.

Objets. Un groupe serré de points se localise à mi-longueur de l'axe I. A partir de ce groupe, certaines récoltes divergent soit vers une extrémité de l'axe III, donnant à l'ensemble du nuage une forme en Y.

3.4. Conclusions de l'ordination

L'AFC réalise une ordination simultanée des lignes et des colonnes du tableau de départ, les interprétations devant se recouper pour aboutir à une signification des principaux axes en tant que "facteurs" explicatifs.

Comme en ACP, le niveau global d'explication fourni par les axes retenus peut être mesuré par le pourcentage d'inertie (= "variance" en ACP) expliquée, que donne le tableau suivant :

	Valeur propre (en proportion de l'inertie totale)	Proportion de l'inertie expliquée par les éléments structurants	Produit
<u>Variables</u>	Axe I 0,204	0,808	0,165
	Axe II 0,171	0,787	0,134
	Axe III 0,129	0,949	0,149
	Axe IV 0,129	0,861	0,111
	Axe V 0,081	0,940	0,076
			Total :
<u>Objets</u>	Axe I 0,204	0,822	0,168
	Axe II 0,171	0,743	0,127
	Axe III 0,157	0,845	0,133
	Axe IV 0,129	0,946	0,122
	Axe V 0,081	0,621	0,050
			Total :

Les phénomènes les plus évidents, liés aux quatre premiers axes de l'analyse effectuée (le cinquième est difficilement interprétable, comme nous l'avons vu) peuvent se résumer ainsi :

Axe I. Le phénomène le plus marquant du point de vue de l'information ("inertie") totale est la singularité du mois de juin 76, époque de canicule (pour la région du Nord...) ayant entraîné l'installation d'une faune particulière caractérisée essentiellement par *Moina* et *Asplanchna*.

Axe II. Il est plus difficile à caractériser du point de vue des objets, mais correspond aux pics d'abondance simultanée de *Daphnia magna* et *Brachionus urceolaris*.

Axe III. Il décrit les phénomènes liés à l'ouverture du by-pass, avec opposition entre faune entraînée passivement dans la lagune, et faune favorisée par le mélange entre les masses d'eau.

Axe IV. Il décrit également le mois de juin 76, mais en distinguant les espèces ayant des gradients amont-aval inverses.

Au total, on a caractérisé assez peu de phénomènes : essentiellement l'élévation de température inhabituelle de juin 76, l'ouverture du by-pass, et les pics simultanés de *Daphnia* et *B. urceolaris*.

13 sur les 26 variables, et 38 objets sur les 60 ne sont pas bien représentés, ni comme structurants, ni comme accompagnants, sur aucun des cinq axes retenus ici, Il aurait pu être intéressant de refaire l'analyse à partir de ces seuls objets et descripteurs délaissés, afin de voir s'il apparaît alors une nouvelle structure, les phénomènes les plus "évidents" ayant été exclus. Nous n'avons pas eu le loisir d'effectuer cette prospection supplémentaire.

L'Analyse des Correspondances Multiples va nous permettre de traiter en même temps dans le tableau des données physico-chimiques et celui des comptages d'organismes, ce qui nous permettra de mettre en relation des phénomènes perçus au niveau des associations d'espèces, avec des variations de la qualité de l'eau.

3.5. Comparaison de l'ordination avec la classification des DRF

Nous avons, à la fin de la troisième partie, établi une classification des DRF observés, tant pour les effectifs que pour les biomasses. Cinq classes (rangées de la plus verticale à la plus convexe) avaient été arbitrairement délimitées et notées, 1 à 5 pour les DRF en effectifs, A à E pour les DRF en biomasses (les deux rangements correspondant à une augmentation de l'indice de diversité).

Un DRF représente très exactement un profil au sens de l'AFC, la seule différence étant que les espèces sont alors classées par ordre de quantités décroissantes, alors qu'en AFC les profils correspondent à un ordre établi une fois pour toutes des taxons.

A défaut de refaire une AFC sur les DRF, nous avons tenté de comparer l'ordination obtenue par AFC avec les différents types de diagrammes rang-fréquence en portant sur les plans principaux l'indication du type de diagramme observé pour chaque point-objet. Le résultat est représenté à la figure 61 pour les DRF en effectifs (types 1 à 5) et pour les DRF en biomasses (A à E). Dans les deux cas on constate, sur le plan (I, II), une certaine ségrégation des nuages de points représentant les différents types de DRF.

Pour les DRF en effectifs (Fig. 61a) les profils de type 4 sont localisés à l'extrémité droite du nuage de points-objets (nuage représenté par ailleurs figure 59).

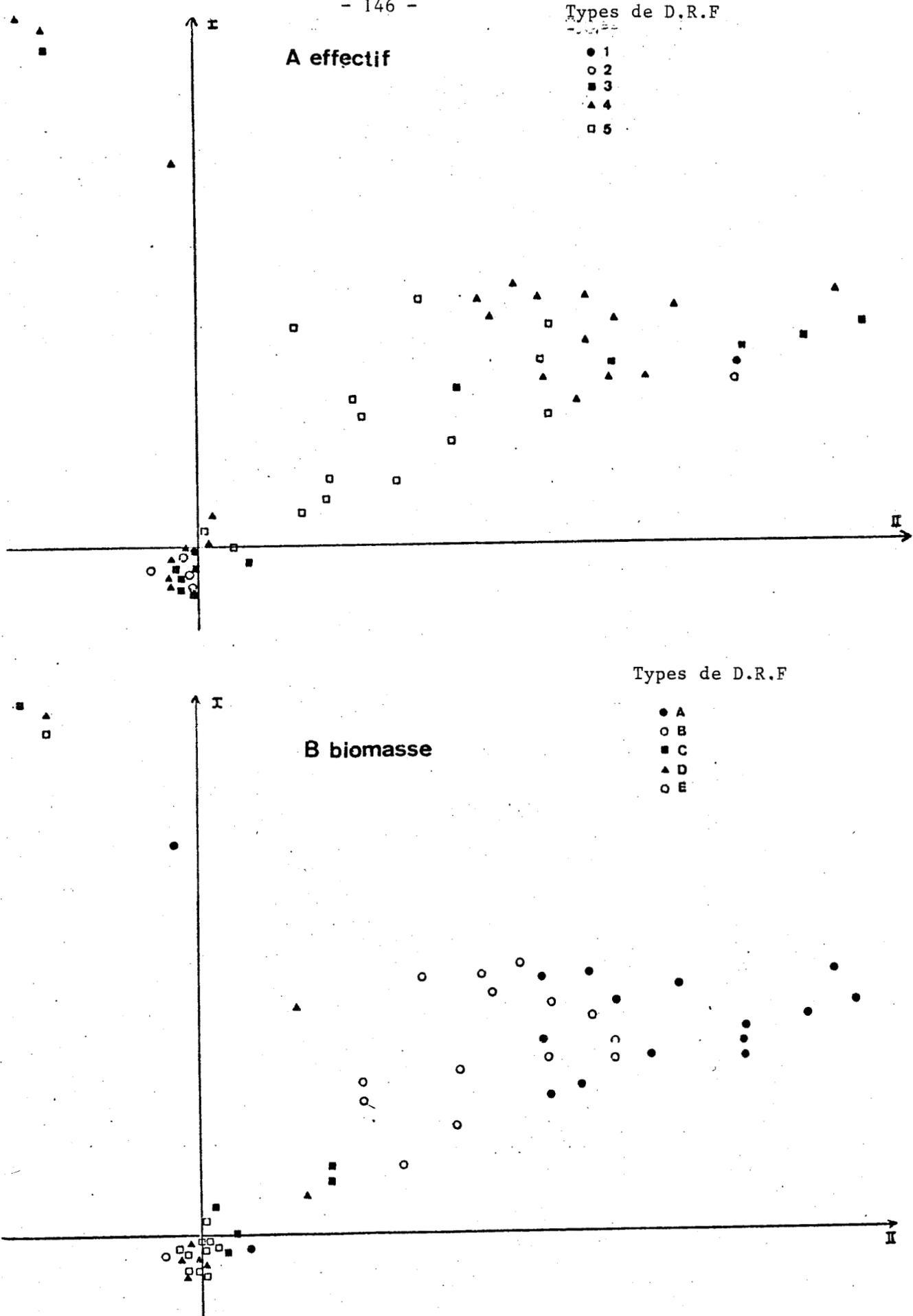


Fig. 61 : SUPERPOSITION DES PROFILS DES D.R.F SUR LES PROJECTIONS DES POINTS-STATIONS SUR LES PLANS I,II.

les profils de type 5 (qui sont les plus convexes) plus près de l'origine des axes ; la plupart des profils de types 1 et 2 se projettent très près de l'origine ; enfin, certains profils 3 sont près de l'origine et les autres alignés dans l'axe du nuage.

Pour les DRF en biomasses (Fig. 61b), une ségrégation ressemblant beaucoup à la précédente apparaît, mais pour d'autres types de profils : les DRF de type A (les plus rectilignes et verticaux) apparaissent davantage en extrémité de nuage, ceux de type B sont plus proximaux, et la plupart des autres (C compris) sont groupés très près de l'origine.

Rappelons que nous avons eu de la difficulté à identifier le gradient auquel correspondait le nuage de points rectiligne des objet dans le plan (I, II) : la ségrégation entre mois chauds et mois froids est très approximative et par ailleurs, mise à part la station 1 qui se projette toujours au voisinage de l'origine des axes I et II, les stations sont très mélangées le long du nuage. Il est donc intéressant de constater que l'allongement du nuage correspond assez bien à une certaine ségrégation des types de DRF, de façon indépendante pour les effectifs et pour les biomasses puisqu'il n'y a pas de corrélation entre les allures des deux sortes de diagrammes.

Il est évidemment difficile d'avancer une interprétation écologique de cette ségrégation. Il est remarquable que des ordinations de deux types indépendants de profils se rejoignent.

Les axes au delà du deuxième n'apportent aucune ségrégation des DRF.

4 - ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES SUR L'ENSEMBLE DES DONNEES (mesures physico-chimiques et comptages planctoniques)

4.1. Généralités

Il s'agit d'une Analyse des Correspondances effectuée sur un tableau logique, c'est-à-dire un tableau formé des 1 et des 0 obtenus de la façon suivante :

Chaque variable, qu'elle soit continue ou discrète (ou même qualitative) est partagée en modalités exhaustives et exclusives (Tableau 8, p. 150). Si la variable est quantitative, ces modalités sont des intervalles de valeurs, ou classes, recouvrant toute l'am-

plitude de variation de la variable. Ces classes sont numérotées, pour chaque variable, 1, 2, 3, etc... Il n'est pas nécessaire qu'il y ait le même nombre de classes pour les différentes variables ; cela est cependant souhaitable à l'étape de l'interprétation finale. On constitue ainsi, tout d'abord, un tableau de codage (Tableau 9, p. 153).

On en déduit le tableau logique, où les lignes correspondent aux mêmes objets que les tableaux traités précédemment (c'est-à-dire les stations et les dates), et où il y a autant de colonnes que de modalités de toutes les variables. A l'intersection d'une ligne et d'une colonne, on mettra 1 si la variable correspondante se trouve dans la modalité correspondant à la colonne, pour la ligne donnée, 0 si non.

	variable j_k modalités :					variable j_l modalités :			etc.
	1	2	3	4	5	1	2	3	
Objet i	0	1	0	0	0	1	0	0	

Dans ces conditions, la somme d'une ligne est toujours égale au nombre de variables. Les sommes de colonnes sont variables, mais la somme des sommes de colonnes pour une même variable est toujours égale au nombre d'objets.

On fait une AFC sur ce tableau logique.

La perte d'information que représente le groupement des valeurs en un petit nombre de classes est largement compensée par les avantages de la méthode. En effet :

(1) On a la possibilité de traiter en même temps des variables de natures différentes, ce que ne permettaient pas les techniques précédentes. Dans notre cas, nous pourrions traiter en même temps le tableau de mesures physico-chimiques et le tableau de comptages (tableau de contingence).

(2) Si les points objets sont projetés sur les axes et plans principaux de la même façon qu'en ACP et en ACF, en revanche la représentation des variables est plus riche : elle comprend, pour une variable, autant de points de projection que de modalités. Ainsi, si en ACF un couple de variables est caractérisé par un coefficient de corré-

lation unique et global, en AFC multiple nous verrons les "correspondances" entre variables pouvoir changer en fonction de l'ordre de grandeur des valeurs atteintes - les corrélations pouvant ne pas être les mêmes pour les grandes, moyennes et petites valeurs.

4.2. Codage des données

Pour tous les descripteurs physico-chimiques ou bactériologiques, 3 classes ou modalités ont été définies de telle façon qu'ils contiennent tous sensiblement le même nombre d'observations ce qui permet de donner des poids comparables à chaque modalité. Les descripteurs biologiques, quant à eux, ont été caractérisés par 2 ou 3 modalités selon leur cas : ceux qui ont eu une grande fréquence d'occurrence et une grande variabilité ont été subdivisés en 3 modalités (les plus équipondérées possible), les autres espèces présentant une fréquence de valeurs nulles très importante ont été subdivisées en 2 modalités seulement représentant l'absence ou la présence. On a ainsi obtenu pour cette étude, à partir des 45 descripteurs initiaux, un tableau comportant 116 variables, dont chacune est une modalité d'un descripteur (cf tableau récapitulatif).

D'autre part, comme cela est recommandé dans ce genre d'analyse, nous n'avons pas pris en compte les variables dont la fréquence d'apparition est trop faible : en l'occurrence $< 10\%$. Ces variables ont été intégrées au tableau en tant que variables "supplémentaires" de poids nul. Il ne reste donc pour les calculs, dans cette analyse, que 35 descripteurs "contributifs" ou "actifs", divisés en 96 modalités. Les 10 descripteurs "supplémentaires" ont été analysés sous les modalités "absence ou présence", et constituent les 20 modalités restantes.

4.3. Résultats

Valeurs propres. Nous avons ici un tableau de 60 objets et 96 variables : il ne peut y avoir que 59 valeurs propres nulles. En effet, si le nombre d'objets est N , le nombre de valeurs propres non nulles est au plus égal à $N-1$.

Si l'on compare la décroissance des valeurs propres obtenues dans notre présente analyse, on constate que 12 valeurs propres sont au-dessus du modèle "bâton brisé" ; elles totalisent 64,6 % de l'inertie totale. Nous n'en avons retenu cependant que 4 pour l'interprétation. Ces 4 valeurs propres totalisent 36,4 % de l'inertie totale, ce qui paraît assez peu -

Tableau 8 - Description du tableau logique : Variables actives

DESCRIPTEURS BIOLOGIQUES	Intervalle Nb d'observations	MODALITES		
		1	2	3
Copépodes	(CY)	Absence 20	0-50 30	50-185 10
<i>Epiphanes</i>	(EP)	Absence 53	Présence 7	
<i>B. urceolaris</i>	(BU)	Absence 52	Présence 8	
<i>B. rubens</i>	(BR)	Absence 43	Présence 17	
<i>B. calyciflorus</i>	(BC)	Absence 48	Présence 12	
<i>Polyarthra</i>	(PO)	Absence 49	Présence 11	
<i>F. longiseta</i>	(FT) (ou FL)	Absence 52	Présence 8	
<i>F. Cornuta</i>	(FC)	Absence 39	Présence 21	
Bdelloide	(BD)	Absence 40	Présence 20	
<i>D. magna</i>	(DA)	Absence 14	0-100 32	100-1760 14
<i>Astylozoon</i>	(AS)	Absence 51	0-104 6	105-10720 3
<i>Telotrochidium</i>	(TE)	Absence 49	Présence 11	
Vorticellidae	(VO)	Absence 16	0-1000 27	1001-104000 17
<i>Paramecium</i>	(PA)	Absence 35	0-100 16	101-2186 9
<i>Euplotes</i>	(EU)	Absence 40	0-1000 18	1001-73200 2
Nématodes	(NE)	Absence 28	0-1000 26	1001-1800 6
Biomasse totale	(BM)	0-5 24	5-50 14	50-2400 22

Descripteurs

DESCRIPTEURS EDAPHIQUES ET BACTERIOLOGIQUES	Intervalle Nb d'observations	MODALITES		
		1	2	3
Germes totaux	(B)	0-1E2 14	1E2-1E4 14	1E4-1E7 32
<i>E. coli</i>	(EC)	0-1E2 21	1E2-1E4 14	1E4-1E7 25
Coliformes fécaux	(CF)	0-1E2 23	1E2-1E4 25	1E4-1E7 12
Température	(T)	0-8 19	8-15 22	15-28 19
Oxygène	(O2)	0-2 21	2-4 21	4-11 18
D.B.O.5	(DB)	3-5 20	5-10 19	10-18 21
D.C.O.	(DC)	29-60 21	60-90 20	90-445 19
NH ₄	(N4)	3,8-30 20	31-50 21	51-162 19
NO ₃	(N3)	0-0,5 17	0,5-5 23	5-57,7 20
NO ₂	(N2)	0,05-0,2 20	0,2-0,6 20	0,6-7,8 20
PO ₄	(P)	3,4-16 20	16-26 22	26-45 18
Chlorophylle a	(C)	0-5 19	5-15 22	15-152 19
Indice de maturité	(I)	0-5,5 19	5,5-12 22	12-67,2 19
Matières en suspension	(MS)	0-12,5 21	12,5-30 17	30-474 22
Chlorures	(Cl)	82-140 18	140-160 21	160-256 21
Sulfates	(S)	110-170 19	170-225 20	125-346 21

Variables supplémentaires

DESCRIPTEURS	MODALITES	
	1	2
<i>Rhinoglena</i> (RH)	Absence 57	Présence 3
<i>Asplanchna</i> (AP)	Absence 57	Présence 3
<i>Moina macrocopa</i> (MO)	Absence 57	Présence 3
<i>Lionotus</i> (LI)	Absence 57	Présence 3
Oxytrichidae (OX)	Absence 59	Présence 1
<i>Monodinium</i> (MN)	Absence 55	Présence 5
<i>Chilodonella</i> (CH)	Absence 58	Présence 2
<i>Colpodium</i> (CO)	Absence 58	Présence 2
Acinetien (AC)	Absence 58	Présence 2
Amoebien (AM)	Absence 58	Présence 2

mais nous verrons que la qualité des résultats obtenus justifie cette restriction. D'une façon générale, le pourcentage d'inertie est d'autant plus faible que les premiers axes que le nombre d'axes est élevé, ce qui donne "une mesure pessimiste de l'information apportée par ces axes" (VOLLE, 1981).

Vecteurs propres	Valeurs propres	% d'inertie	% cumulés d'inertie	% bâton brisé pour 59 modalités	bâton brisé cumulé
V ₁	0,24	13,8	13,8	7,90	7,90
V ₂	0,15	8,8	22,6	6,21	14,11
V ₃	0,13	7,4	30,0	5,36	19,47
V ₄	0,11	6,3	36,4	4,80	24,27
V ₅	0,09	5,1	41,5	4,37	28,64
V ₆	0,09	4,9	46,3	4,03	32,67

4.3.1. Analyse des variables

Cette analyse diffère de celle pratiquée dans les techniques précédentes, en ce que nous devons ici considérer les contributions de chaque modalité (de chaque variable). Nous retiendrons pour chaque axe les contributions les plus fortes. Nous les présentons dans ce qui suit, en classant les descripteurs par ordre décroissant de leur contribution totale (c'est-à-dire, pour chacun, somme des contributions de toutes ses modalités). Pour chaque variable, on considèrera les modalités montrant les plus fortes contributions aux axes (en les classant en + et - selon le signe de la coordonnée) et en négligeant les modalités à faible contribution ; il s'ensuit que la somme des contributions retenues pour une variable est souvent inférieure à la contribution totale de la variable. Les modalités présentant une faible contribution mais une forte corrélation ont également été signalées, en tant que modalités "accompagnantes" mais non "structurantes".

Dans la représentation graphique des variables sur les plans principaux, nous avons relié entre eux les points représentant les différentes modalités d'une même variable, dans l'ordre de classement de ces modalités. Une ligne brisée donne ainsi une ordination des différents ordres de grandeur d'une variable. D'autre part nous ne représentons (Fig. 62) que les variables retenues au tableau précédent, point de projection gros ou petit selon que la modalité représentée a été ou non retenue dans le tableau.

Enfin, nous avons représenté sur un graphique séparé celles, parmi les dernières variables retenues, pour lesquelles n'ont été définies que deux modalités (présence/absence) : en effet, la comparaison d'un simple segment de droite à un ensemble de lignes brisées comprenant au moins trois points s'est avérée difficile (raison pratique pour laquelle on pourrait recommander de prendre, dans la mesure où cela à un sens, toujours le même nombre de modalités par variable).

Cette représentation graphique par des lignes permet de visualiser les corrélations entre descripteurs : corrélation positive si deux lignes brisées sont à peu près orientées dans le même sens, négative si elles sont orientées en sens opposé. Quand deux descripteurs sont indépendants, les deux lignes brisées les représentant sont pratiquement orthogonales.

Axe I - Les principales contributions sont notées dans le tableau suivant :

Variables	CTR par variable	Σ des CTR retenues	-			+		
			Modalités	CTR	COR	Modalités	CTR	COR
Vorticellidae	8,6	8,2	VO3	5,7	COR	VO1	2,5	COR
Biomasse totale	6,7	7,5	BM1	3,8	COR	BM3	2,7	COR
Bdelloide (2 mod)	6,4	6,4	BD2	4,3	COR	BD1	2,1	COR
<i>E. coli</i>	6,4	6,2	EC3	3,6	COR	EC1	2,6	COR
Germes totaux	6,0	6,0	B3	3,9	COR	B1	2,1	COR
Coliformes totaux	5,7	5,1	CT3	2,5	COR	CT1	2,6	COR
Nématodes	5,5	5,2	NE3	3,3	COR	NE1	1,9	COR
DBO ₅	5,2	3,3	Db3	3,3	COR			
<i>D. magna</i>	4,8	4,7	DA1	3,2	COR	DA3	1,5	COR
DCO	4,0	2,7	DC3	2,7	COR			
PO ₄	4,0	4,0	P3	2,0	COR	P1	2,0	COR
<i>Paramecium</i>	3,9	3,3	PA3	1,9		PA1	1,4	COR
Température	3,7	2,4				T3	2,4	
NO ₃	3,3	2,1	N31	2,1				
<i>B. rubens</i> (2 mod)	3,0	2,2				BR2	2,2	
NO ₂	2,6	2,6	N23	1,3		N21	1,3	
<i>Polyarthra</i> (2 mod)	2,4	2,0				PO2	2,0	
<i>Telotrochidium</i> (2)	2,0	1,6	TE2	1,6				

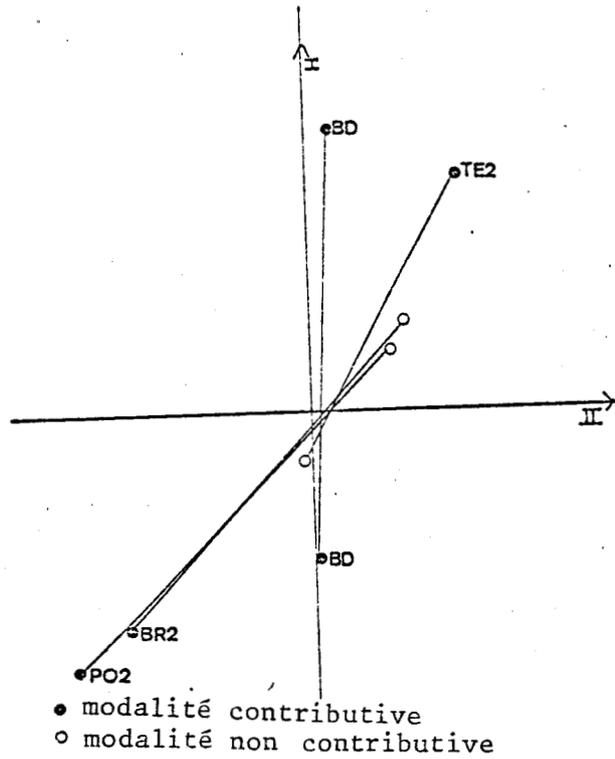
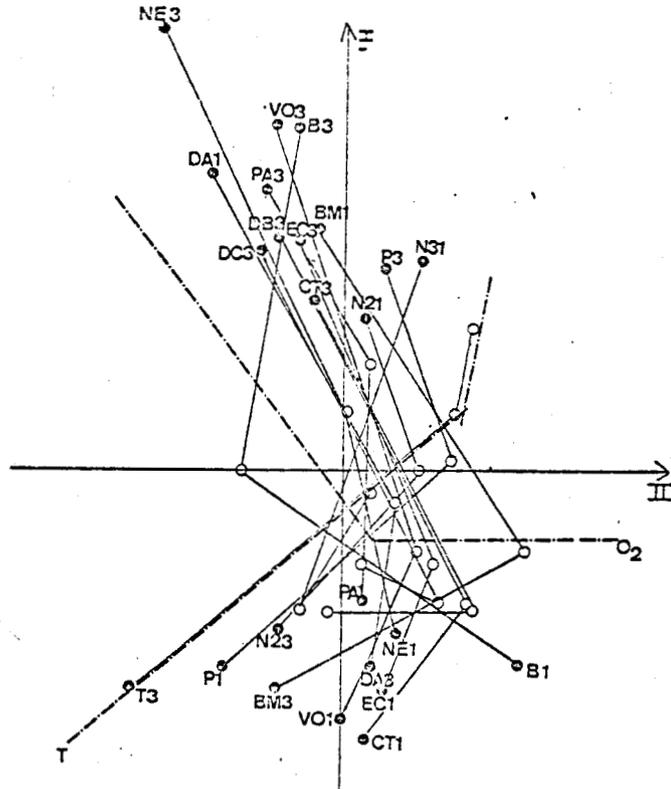


Fig. 62 : PROJECTION SUR LE PLAN I,II DES DESCRIPTEURS AYANT AU MOINS UNE MODALITE CONTRIBUTIVE SUR L'AXE I.

A : Descripteurs à trois modalités :

B : Descripteurs à deux modalités .

L'axe I oppose, par leurs sens de variation, un certain nombre de descripteurs qui apportent des contributions fortes à la fois par leur modalité de faibles et leur modalité de fortes valeurs - ces deux modalités se projetant sur les deux extrémités opposées de l'axe.

A une extrémité on observe les modalités élevées de *E. coli*, germes totaux, Coliformes totaux, DBO₅, DCO, PO₄, nitrites. S'y associe la modalité faible des nitrates.

A l'autre extrémité de l'axe, on observe la modalité extrême contraire de chacun des descripteurs, sauf de la DBO₅, de la DCO, des nitrates.

Si on considère maintenant les descripteurs planctoniques on note, du même côté que le premier groupe de variables, les modalités fortes des Vorticellidae, Nématodes, *Paramecium* et *Telotrochidium*, et les présences de Bdelloïdes, associées aux modalités faibles des *Daphnia magna* et de la biomasse zooplanctonique totale.

A l'autre extrémité de l'axe, on retrouve les modalités extrêmes contraires de toutes ces variables sauf *Telotrochidium* ; on y retrouve de plus les présences de *Brachionus rubens* et de *Polyarthra*, qui n'ont que deux modalités.

L'axe I s'identifie au gradient de charge générale en pollution. Les contributions plus fortes des descripteurs bactériologiques par rapport aux descripteurs chimiques ordonnent l'importance de ces différents paramètres. Par sa signification, cet axe s'identifie à l'axe I de l'ACP. L'intérêt est ici qu'à cet axe clairement identifié, sont associés des descripteurs planctoniques, qui semblent bien décrire des associations de taxons caractéristiques :

- soit de la charge de pollution : Vorticellidae, Paramecidae, Nématodes, Bdelloïdes, *Telotrochidium*, ainsi que, parmi les espèces mises dès le début en supplémentaires, *Monodinium* et *Colpidium* ;

- soit de son épuration : *Daphnia*, Cyclopidae, *Brachionus urceolaris*, *B. rubens*, *Polyarthra*, et parmi les espèces mises en supplémentaires les Oxytrichidae.

Axe II - Les principales contributions sont :

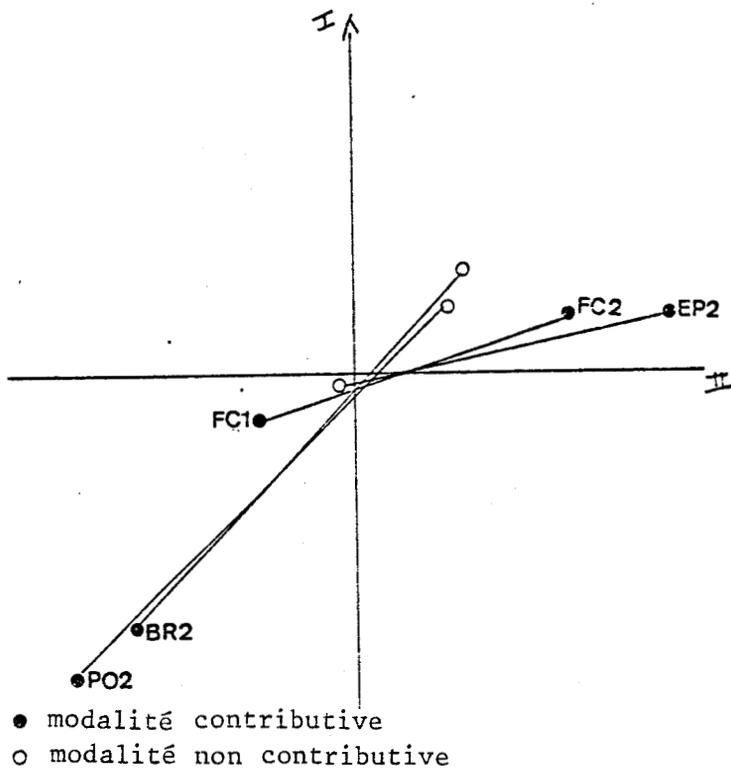
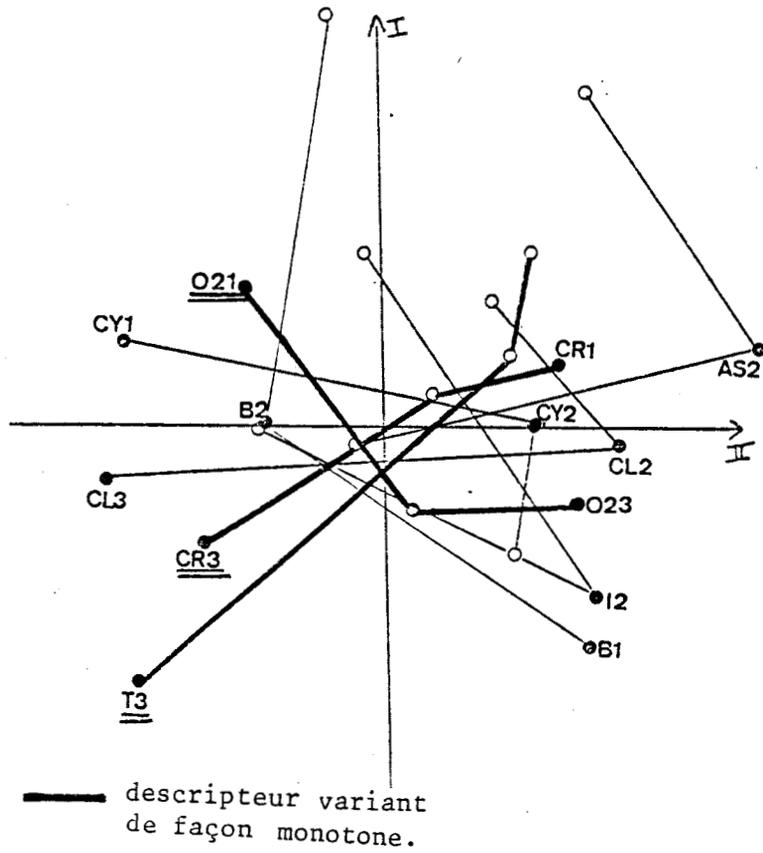


Fig. 63 : PROJECTION SUR LE PLAN I,II DES DESCRIPTEURS AYANT AU MOINS UNE MODALITE CONTRIBUTIVE SUR L'AXE II.

Descripteur	Ctr par variable	CTR retenu	-		+	
Chlorures	11,8	11,1	CL2	3,8	CL3	7,3
Copépodes	9,2	8,8	CY2	2,7	CY1	6,1
Température	7,6	5,2			T3	5,2
Caroténoïdes	5,5	5,4	CR1	2,1	CR3	3,3
<i>F. cornuta</i> (2 mod)	5,1	5,1	FC2	3,3	FC1	1,8
<i>B. rubens</i> (2 mod)	5,0	3,6			BR2	3,6
Germes totaux	5,0	4,7	B1	3,0	B2	1,7
<i>Polyarthra</i> (2 mod)	4,8	3,9			PO2	3,9
Oxygène	4,5	4,5	O23	2,3	O21	2,2
<i>Astylozoon</i>	4,1	3,0	AS2	3,0		
Indice de maturité	4,0	2,6	I2	2,6		
PO4	3,3	2,0			P1	2,0
Biomasse totale	3,2	2,3	BM2	2,3		
<i>Epiphyanes</i> (2 mod)	2,7	2,4	EP2	2,4		
		64,6				

Parmi les descripteurs contribuant à l'axe II, trois seulement montrent une variation monotone vis-à-vis de cet axe : ce sont la température, les caroténoïdes et l'oxygène (Fig. 62). La signification la plus nette nous a été fournie par ces liaisons : les co-variations opposées entre température et oxygène semblent déterminer principalement cet axe. Notons que cette opposition avait déjà été trouvée dans les ACP et AFC précédentes, mais entachées d'un doute puisque la corrélation pouvait très bien être exagérément amplifiée par le cas isolé de juin 1976 ; mais ici, la modalité T₃ ("température élevée") correspond ici à 19 observations sur 60. L'axe discrimine, dans cette analyse, les températures supérieures à 15°C (modalité T₃) de toutes les autres températures, et non pas le seul mois anormalement chaud. Les coordonnées le long de l'axe II indiquent donc une corrélation négative entre température et oxygène (et inversement), liaison typique d'un phénomène purement physique, à l'encontre de l'axe I qui rendait compte, au contraire, d'une corrélation positive entre oxygène et température. Ces deux liaisons coexistent dans les phénomènes complexes que nous analysons et la projection des variables sur le plan des axes I et II est particulièrement intéressante puisqu'elle fait

apparaître, pour bon nombre de descripteurs ayant de fortes contributions aux axes I et/ou II, un certain degré de liaison entre les deux axes (effet Gutmann : l'axe I oppose les modalités extrêmes entre elles, alors que l'axe II oppose ces modalités extrêmes à la modalité moyenne).

On remarque que les deux branches de cet arc s'alignent presque parallèlement aux profils de la température et l'oxygène, envisagée ci-dessus. Il semble donc que malgré les nombreuses interactions et les diverses possibilités d'adaptation, ces deux descripteurs soient les plus importants dans le plan I, II, lui-même comportant la plus grande fraction de l'inertie (22,6 %). L'un et/ou l'autre de ces facteurs, selon leur ordre de grandeur, semblent jouer dans l'évolution de la qualité des eaux de la lagune le rôle de "facteur limitant". Pour les descripteurs "subissant l'effet Gutmann", une partie de la variation (d'une des modalités extrêmes vers la modalité moyenne) semble être régie par une variation de température, l'autre (de la modalité moyenne vers l'autre modalité extrême), par une variation de l'oxygène.

Ce comportement complexe peut correspondre à plusieurs types de mécanismes. D'une part, d'un point de vue simplement physico-chimique, une augmentation de température diminue la teneur en oxygène de l'eau, en même temps qu'elle accélère les processus d'oxydation, comme tous les processus chimiques (et réciproquement). D'autre part, l'augmentation de température va favoriser la production d'oxygène par le phytoplancton, pouvant contre-balancer la diminution de solubilité du gaz. Mais l'action de l'oxygène et de la température est aussi indirect. En atteignant certains seuils, l'oxygène ou la température accroissent ou limitent la multiplication ou le métabolisme des prédateurs qui, par "feed-back", modifient les associations planctoniques présentes et par conséquent l'efficacité d'épuration.

Les phosphates, la DBO, les Coliformes totaux, les *E. coli*, les Vorticellidae diminuent d'abondance, allant jusqu'aux valeurs moyennes, quand l'oxygène augmente, puis atteignent les valeurs faibles, l'oxygénation étant suffisamment importante, quand la température augmente. Les Paramécies et les Nématodes semblent appartenir à ce groupe, mais seule l'action de l'oxygène est nette, celle de la température n'étant prouvée que par une rupture de la monotonie vis-à-vis de l'axe II.

Les nitrites, la biomasse zooplanctonique et des daphnies évoluent tout à fait à l'opposé puisqu'ils augmentent d'abord en fonction de l'oxygénation, puis de la température.

Les bactéries totales ont un comportement différent. Elles passent des fortes densités aux moyennes densités parallèlement à l'axe I, axe de diminution de la charge polluante, puis atteignent leurs densités les plus faibles en suivant le gradient d'oxygène. On remarque aussi que ces plus faibles densités bactériennes sont plus proches, dans le plan (I, II) des valeurs moyennes de la biomasse que des valeurs élevées et ne coïncident donc pas avec les taux maximaux des daphnies.

La DCO passe des valeurs fortes à moyennes quand la teneur en oxygène augmente, puis atteint ses valeurs faibles en évoluant le long de l'axe II : la diminution ultime de la DCO se produirait à la faveur de l'augmentation de la température et aux dépens de l'oxygène du milieu.

Certains descripteurs dont une des modalités au moins contribue à l'axe II montrent des profils particuliers (Fig. 63). Ce sont d'une part les chlorures et les Cyclopidae, pour lesquels l'axe oppose une modalité extrême aux deux autres modalités ; d'autre part, l'indice de maturité et *Astylozoon*, qui montrent des effets Gutmann différents de ceux déjà décrits.

Enfin, les cas à deux modalités comprennent trois catégories de descripteurs :

- . ceux à variation le long de l'axe I (*Bdelloides*),
- . ceux à variation le long de l'axe II : *Filinia cornuta* et *Epiphanes*,
- . ceux à variation diagonale : *Polyarthra*, *Brachionus rubens* et *Telotrochidium*.

Ces trois derniers taxons suivent particulièrement bien le profil de la température, les deux premiers étant présents aux températures élevées et le troisième aux températures basses.

Axe III - Les principales contributions sont :

Descripteur	CTR par variable	CTR retenu	+		-	
NH ₄	12,5	12,1	N43	4,4	N41	7,7
DCO	10,4	8,8	DC3	2,0	DC1	6,8
NO ₃	9,8	9,6	N31	3,9	N33	5,7
Vorticellidae	6,3	5,6	VO1	2,2	VO2	3,4
Nématodes	5,5	3,0			NE2	3,0
Oxygène	4,9	3,4			O23	3,4
PO ₄	4,9	4,8	P3	2,8	P1	2,0
Chl a	4,9	4,9	C3	2,8	C2	2,1
DBO 5	3,9	2,5	DB3	2,5		
<i>D. magna</i>	3,6	1,9	DA2	1,9		
		44,5				

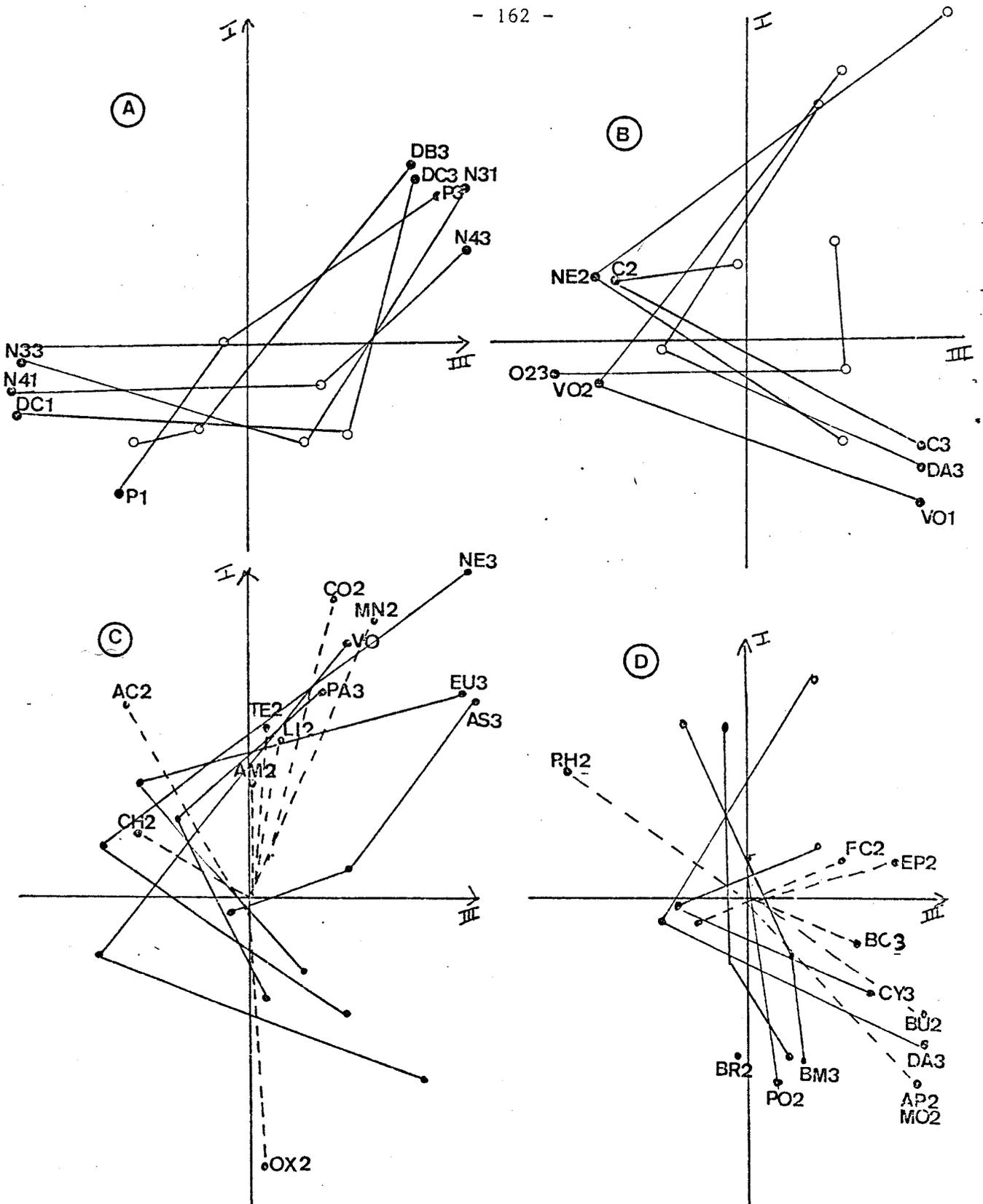


Fig. 64 : PROJECTION DES POINTS-DESCRIPTEURS SUR LE PLAN I,III.

- A : Projection des descripteurs variant de façon monotone et dont au moins une modalité est contributive sur l'axe III.
- B : Projection des autres descripteurs ayant au moins une modalité contributive sur l'axe III.
- C : Projection des Ciliés et Nématodes.
- D : Projection des Cladocères, Copépodes et Rotifères.

On décrit sur cet axe, comme pour l'axe I, un certain nombre de descripteurs contribuant à l'axe à la fois par leurs modalités de fortes et de faibles valeurs. Ces descripteurs figurant sur la figure sont la DCO, les PO₄, le NH₄ et le NO₃. A ceux-ci s'ajoute la DBO qui varie aussi de façon monotone mais dont seule la modalité élevée contribue. Ces paramètres sont essentiellement des paramètres physico-chimiques. Les variables biologiques (ainsi que l'oxygène) suscitent une liaison du second degré entre les axes II et III, c'est-à-dire que l'axe III oppose pour ces descripteurs les modalités extrêmes à la modalité moyenne. Parmi ces dernières variables, on observe l'importance des modalités fortes de la chlorophylle a, des daphnies associées à la modalité faible des Vorticelles. De l'autre côté de l'axe, on note l'importance des modalités moyennes des Nématodes, de la chlorophylle et des Vorticelles associés aux valeurs fortes de l'oxygène.

Cet axe reprend beaucoup de descripteurs déjà rencontrés dans l'analyse de l'axe I ; les descripteurs bactériologiques sont éliminés, mais d'autres descripteurs contributifs apparaissent : la chlorophylle et NH₄. Alors que l'axe I représente surtout le gradient d'épuration bactérienne et une partie de l'épuration chimique, l'axe III rend compte d'une autre partie de l'épuration chimique. Le passage des fortes aux moyennes valeurs de DBO, DCO et NH₄ et le passage des faibles aux moyennes valeurs de NO₃ sont décrits le long de l'axe I ; la suite de l'épuration est prise en compte par l'axe III : passage des moyennes aux faibles valeurs de DBO, DCO, NH₄ et des moyennes aux fortes valeurs de NO₃.

Puisqu'à une des extrémités de l'axe III sont groupées les fortes valeurs de O₂ et NO₃ et les faibles valeurs de DBO, DCO et NH₄, cet axe semble décrire un gradient d'oxydoréduction.

La projection des points-variables sur le plan (I, III) est représentée aux figures 64 a à d. Nous constatons qu'on peut caractériser les quatre quadrants du plan par les organismes présents :

- . Dans le quadrant supérieur droit, on retrouve les modalités des fortes valeurs ou des présences de la plupart des Ciliés. Les plus rapprochés des modalités de fortes valeurs des nutriments sont les *Astylozoon* et les *Euplotes*. Deux Rotifères sont associés : *Filinia cornuta* et *Epiphanes*.
- . Le quadrant supérieur gauche est décrit par les modalités des valeurs moyennes de plusieurs Ciliés (les Vorticelles, les *Euplotes*, les *Paramecium*) et des Nématodes. Par la présence de 2 des 3 taxons des Ciliés non décrits dans le premier quadrant (les Acinétiens et les *Chilodonella*) et par un Rotifère : *Rhinoglana*.

. Le quadrant inférieur gauche est surtout caractérisé par les modalités des valeurs moyennes des Vorticelles, des Daphnies et des Cyclopidae.
. enfin, dans le dernier quadrant, on retrouve principalement les modalités fortes ou "présence" des Cladocères, des Cyclopidae et des autres Rotifères. Un seul taxon des Ciliés est associé : les Oxytrichidae.

Si on projette les descripteurs physico-chimiques sur cette cartographie des organismes, on obtient une confirmation du rôle des organismes dans l'évolution de ces paramètres. Aux forts développements des Ciliés (quadrant supérieur gauche) correspond une charge de pollution élevée. Les valeurs moyennes concernant la DCO, les PO₄, le NH₄ et le NO₃ s'associent au quadrant inférieur droit, caractéristique des développements maximaux des Rotifères, des Copépodes et des Cladocères.

En ce qui concerne l'oxydation maximale des nutriments, nous remarquons qu'elle ne coïncide avec aucun développement maximal d'un type donné d'organismes, mais au contraire qu'elle semble coïncider avec un développement moyen, que ce soit des Vorticelles, des Daphnies ou des Cyclopides.

Il est manifeste que les abondances élevées d'organismes zooplanctoniques se projettent du côté de l'axe III correspondant au "milieu réducteur", au même titre que les paramètres de charge polluante (DBO élevée, etc...). L'un et l'autre groupe de modalités sont en effet réducteurs ; l'axe I sépare le groupe des paramètres de pollution du groupe des organismes zooplanctoniques se développant en milieu épuré. La signification de l'axe II comme gradient d'oxydation-réduction du milieu se trouve donc confirmé.

Les phosphates et la DBO évoluent de façon voisine, décrivant une diagonale du plan (I, III) : ils sont donc liés à la fois à la diminution de la charge polluante et à l'oxydo-réduction du milieu, phénomènes distincts puisqu'en milieu bien épuré apparaissent les organismes zooplanctoniques, qui consomment à leur tour de l'oxygène.

Les valeurs maximales observées de chlorophylle se projettent très près des organismes zooplanctoniques et particulièrement des Daphnies, mais au demeurant ces valeurs maximales ne sont jamais très élevées : plus qu'une biomasse végétale élevée, elles indiquent une production primaire élevée, accompagnée d'une forte prédation par le zooplancton. Le passage de la modalité moyenne à la modalité forte de la chlorophylle s'accompagne d'une baisse des taux d'oxygène (le long de

l'axe III), visiblement due à la respiration zooplanctonique. Nous avons relaté lors de l'étude des corrélations cette liaison négative : elle se trouve expliquée ici.

Ce plan (I, III) différencie bien les deux processus existants dans la lagune : un processus purement chimique (axe III) qui suit de très près l'évolution de l'oxygène et un processus biologique qui immobilise dans la biomasse produite une partie des nutriments. Ce plan montre le rôle inefficace, vis-à-vis de l'épuration, du développement trop important d'une seule catégorie d'organismes : les Ciliés ne sont pas assez efficaces quant à sa diminution ; les Rotifères, les Daphnies et les Copépodes immobilisent une partie des nutriments, mais en relibèrent une autre partie du fait de leur métabolisme, en sorte que leur développement trop important peut nuire à l'élimination des nutriments, à la fois par le recyclage de ceux-ci (rejecta + excrétion) et par la consommation d'oxygène. Il serait donc intéressant de pouvoir associer un maillon trophique extérieur au système : nous en reparlerons au chapitre suivant.

Axe IV - Les principales contributions sont données dans le tableau suivant.

Descripteur	CTR totale de la variable	CTR retenue	+		-	
<i>Euplotes</i>	14,5	14,0	EU3	14,0		
<i>Āstylozoon</i>	10,8	10,1	AS3	10,1		
Indice de maturité	9,7	9,6	I1	5,5	I3	4,1
Germes totaux	8,7	5,0	B2	5,0		
<i>Telotrochidium</i>	5,1	4,2	TE2	4,2		
<i>D. magna</i>	4,0	2,7	DA2	2,7		
Nématodes	3,8	2,6			NE3	2,6
		48,2				

L'axe IV a pour seul intérêt de discriminer le rôle des Nématodes d'une part, de celui des *Euplotes* et *Astylozoon* d'autre part. Cet axe fait apparaître des organismes apparus seulement ou de façon abondante en février. Y sont associés 2 Ciliés mis en variables illustratives : *Lionotus* et *Monodinium*, mais aucun phénomène physico-chimique important n'est bien représenté.

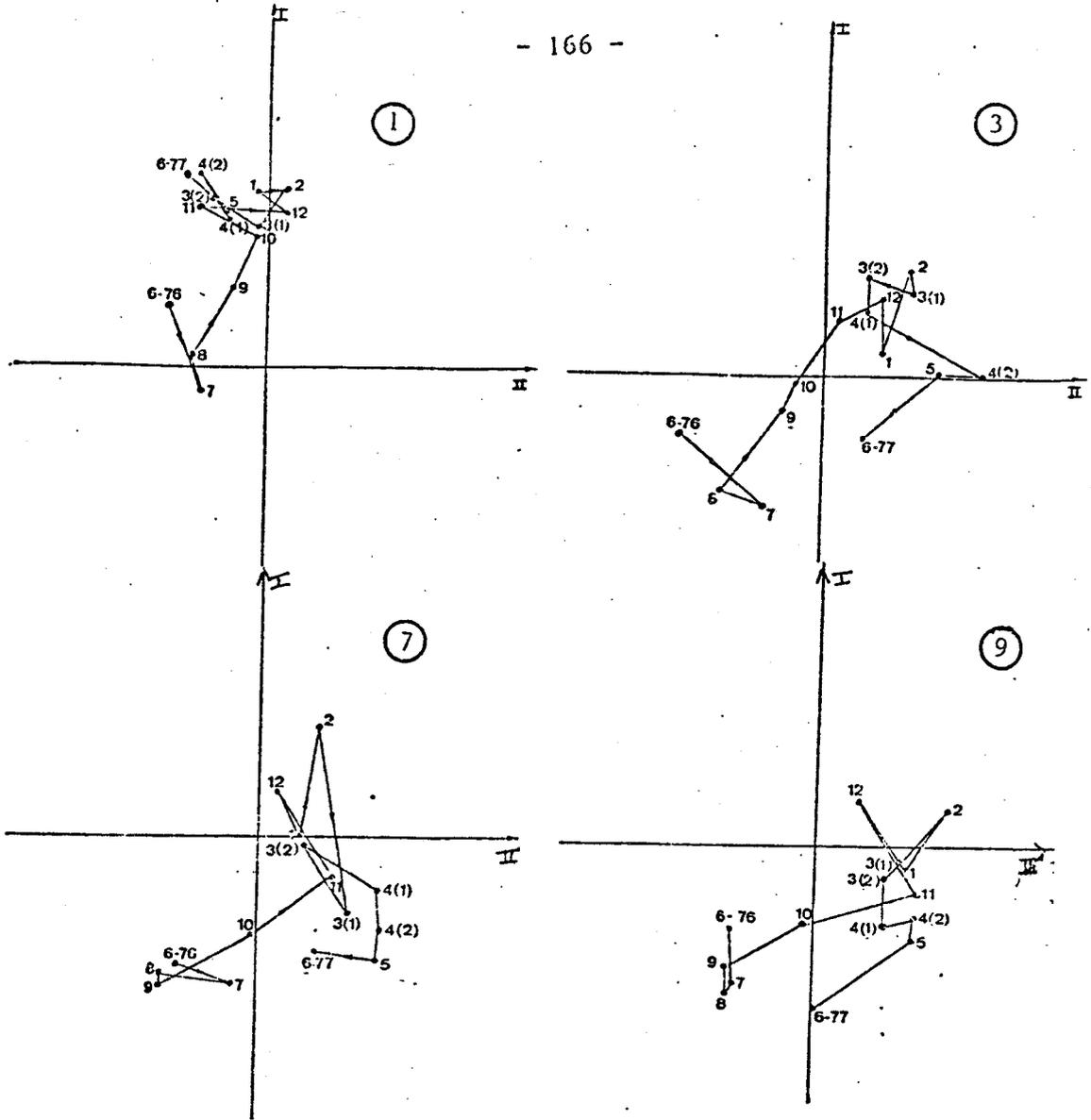


Fig. 65 : EVOLUTION TEMPORELLE AUX QUATRE STATIONS (PLAN I,II).

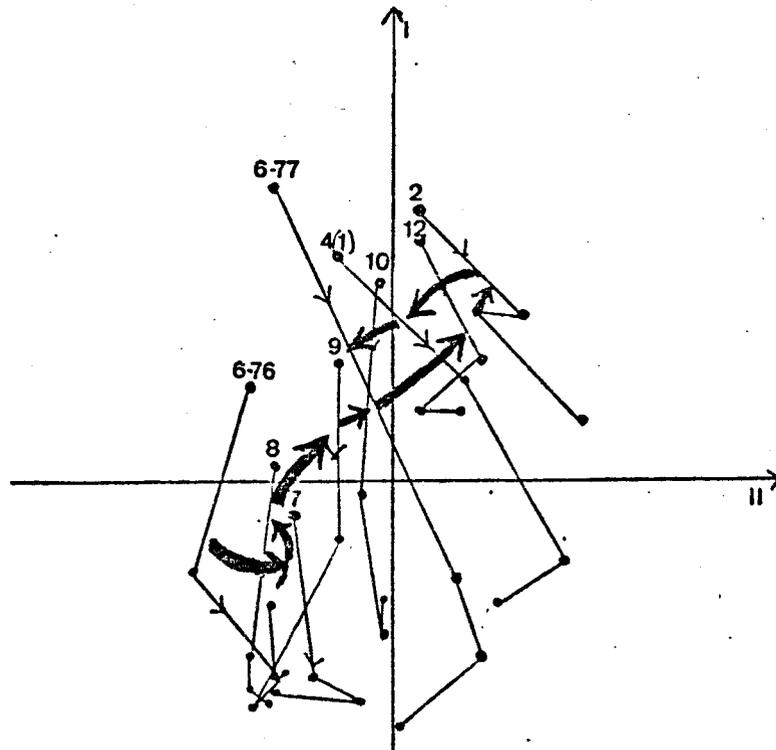


Fig. 66 : GRADIENT SPATIAL (PLAN I,II) - SCHEMAS TYPES.

4.3.2. Analyse des objets

Comme pour l'ACP et l'AFC, nous avons projeté les points-objets sur les axes ou les plans principaux et nous avons essayé de situer les observations dans un schéma d'évolution temporelle et de gradient spatial.

a - Plan (I, II)

.....
Nous interpréterons la disposition des points-objets par référence aux significations des axes telles qu'apparues dans le paragraphe précédent : axe I décrivant le gradient de pollution-épuration, et deux axes diagonaux correspondant aux gradients de température et de teneur en oxygène.

a 1 - Suivi saisonnier station par station (Fig. 65).

La station 1 est très peu variable dans ce plan, sauf en ce qui concerne la période de sous-charge en été.

Quand on examine les stations 3 à 9, on constate d'une part que les mois d'été sont nettement séparés des mois d'hiver : le passage de l'écosystème d'été à l'écosystème d'hiver est assez rapide (seul intermédiaire : le mois d'octobre) ; par contre, le passage de l'hiver à l'été suivant apparaît moins brutal sur le graphique. Toutefois, il n'est pas impossible que ces caractéristiques soient liées à l'arbitraire du découpage des températures en classes.

En ce qui concerne la référence au taux d'oxygène, on remarque un classement des stations : le centre de gravité des points-objets se déplace progressivement du quadrant supérieur gauche au quadrant inférieur droit, c'est-à-dire de la pauvreté en oxygène en amont vers une meilleure oxygénation en aval. Ce déplacement diagonal implique à la fois un déplacement le long de l'axe I (pollution vers épuration) et le long de l'axe II (combinaison oxygène-température). A toutes les stations, l'épuration n'est que partielle en hiver, elle n'atteint son rendement maximum qu'aux mois les plus chauds.

a 2 - Etude du gradient amont-aval mois par mois (Fig. 66).

Quelques évolutions amont-aval caractéristiques. On distingue des évolutions parallèles à l'axe I (juin à octobre) et des évolutions diagonales, parallèles aux variations d'oxygénation (les autres mois). Les stations 7 et 9 sont souvent très proches. Enfin, l'action de la température apparaît également en séparant les profils en fonction de la saison (profils extrêmes : juin 1976 et février 1977).

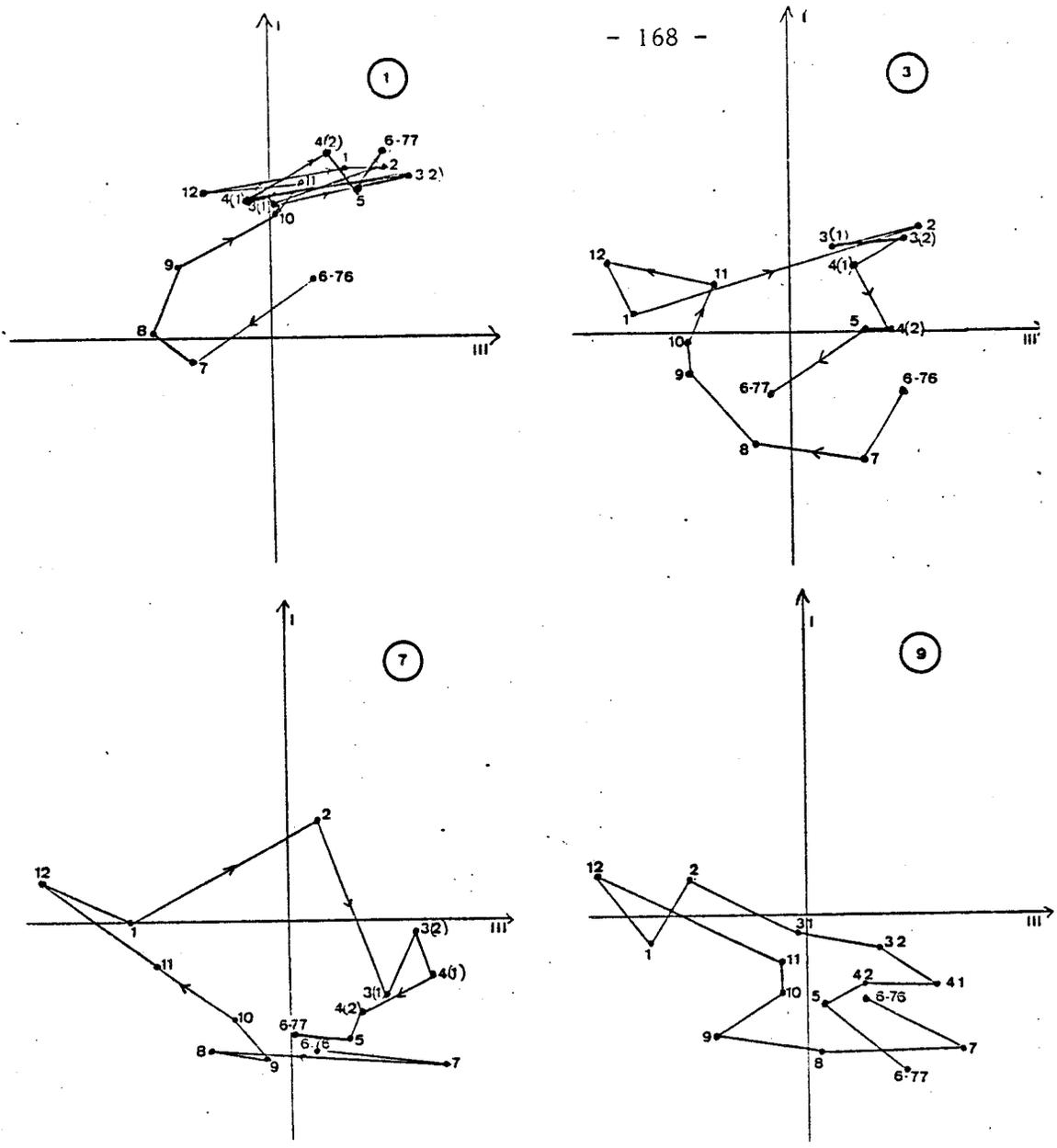


Fig. 67 : EVOLUTION TEMPORELLE AUX QUATRE STATIONS (PLAN I,III).

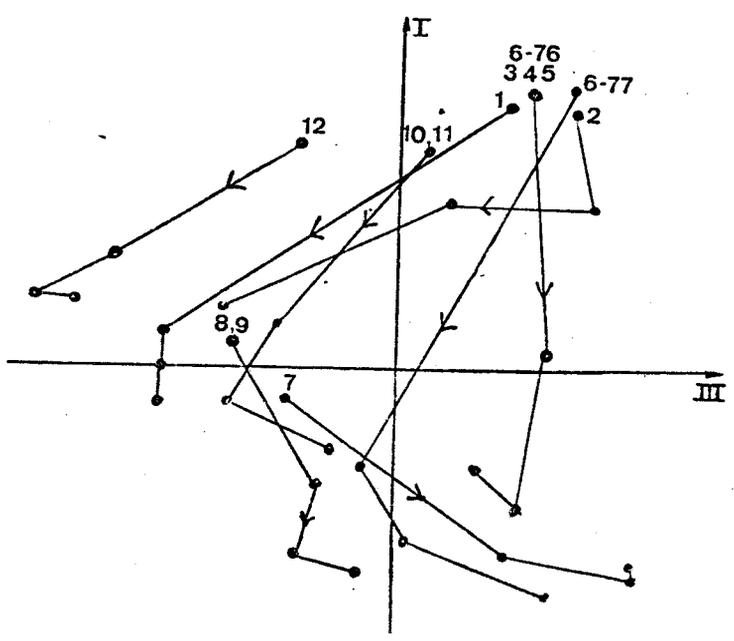


Fig. 68 : GRADIENT SPATIAL (PLAN I,III) - SCHEMAS TYPES.

b - Plan (I, III)

.....
L'axe I représentant le gradient d'épuration (dû à la prédation), l'axe III décrivant un gradient d'oxydo-réduction.

b 1 - Suivi saisonnier station par station
(Fig. 67).

A la station 1, quatre prélèvements se trouvent discriminés : juillet, août et septembre d'une part et juin 1976 d'autre part. Les trois premiers mois correspondant à la période de sous-charge de la station pendant laquelle l'effluent entrant dans la lagune était fortement chargé en nitrates. Juin 1976 se singularise par sa température.

Aux trois autres stations ce caractère de sous-charge disparaît et l'axe III discrimine deux groupes de prélèvements : les mois de septembre à janvier d'une part, les mois de mars à juillet d'autre part. La température bien que non contributive de l'axe III, semble influencer le gradient. En réalité, c'est bien son influence indirecte qui est mise en évidence puisqu'une température basse inhibe le développement des grands filtreurs et par conséquent diminue la consommation d'oxygène ; celui-ci peut alors servir aux réactions chimiques. Parmi le premier groupe de stations, il faut mettre à part décembre et janvier, qui correspondent à un niveau d'eau très bas ayant grandement favorisé l'oxygénation ; en revanche, l'épuration bactérienne est médiocre. Quant aux mois d'octobre et novembre, ils ne correspondent à aucun évènement important ; dès l'entrée de la lagune, la diminution de la charge polluante s'accompagne d'une oxygénation du milieu et l'évolution des nutriments se fait progressivement. On ne constate alors aucune prolifération des Cladocères. Les prélèvements de mars à juin se distinguent par leur caractère réducteur dû, à la station 3, à la pollution exogène, et aux deux autres stations, à une grande abondance d'organismes zooplanctoniques.

b 2 - Etude du gradient amont aval mois par mois

La figure 68 représente quelques gradients caractéristiques. On en distingue deux grands types (juin 76 étant intermédiaire) :

En juin 1976 et de début mars à mai 1977, le gradient est parallèle à l'axe I, avec les stations 7 et 9 toujours très proches comme dans le plan (I, II) (trait épais sur la figure), dans des conditions toujours fortement réductrices (moitié droite de l'axe III).

L'épuration bactérienne est importante, mais la biomasse présente ne permet que la première phase de l'évolution des descripteurs chimiques, à savoir l'incorporation dans les organismes vivants ; la transformation par oxydation est inhibée par un trop faible taux d'oxygène.

Les autres mois dessinent un effet Guttman analogue à celui décrit dans la figure 62 pour les variables. D'amont en aval, un gradient d'épuration le long de l'axe I est associé d'abord à une oxydation, puis à une réduction. On reconnaît l'influence de l'apparition des grands filtreurs, consommateurs d'oxygène, en fin d'évolution. Les différents mois s'inscrivent différemment dans cet effet Guttman :

- octobre et novembre décrivent l'ensemble de l'effet (ces mois avaient été décrits ci-dessus comme "ne correspondant à aucun évènement important" : en fait, la séquence complète (non perturbée) d'évènements s'y produit ; cependant l'épuration bactérienne serait un peu moins bonne qu'aux autres dates ; la réduction du milieu de la station 3 à la station 9 ne correspond pas dans l'échantillon prélevé à une augmentation de biomasse animale, néanmoins la cohérence du phénomène d'ensemble permet d'interpréter cette réduction comme un effet de la biomasse, probablement mal échantillonnée. C'est un intérêt de l'analyse multivariable de pouvoir interpréter des faits qui seraient sans signification visible s'ils étaient isolés, mais qui prennent un sens du fait de la cohérence de l'ensemble des données.
- juillet, août et septembre marquent seulement un processus de réduction de l'amont vers l'aval, orienté comme l'augmentation de la biomasse planctonique. En cette période de sous-charge de la lagune, le plancton assure une élimination très efficace des bactéries, mais en revanche suscite un recyclage des nutriments tel qu'ils voient leur concentration croître en aval.
- décembre, janvier et février, à l'opposé des précédents, sont marqués par le seul processus d'oxydation, pour une épuration bactérienne relativement peu efficace et une oxygénation importante (voir plus haut) : la température basse inhibe probablement les grands filtreurs et la prédation bactérienne. Le mois de février se singularise : l'apport des eaux polluées au milieu de la lagune (ouverture du by-pass) explique la position des stations 3 et 7 près de la 1 ; l'épuration bactérienne et chimique ne se fait réellement sentir qu'à partir de la station 9, mais le temps de rétention est alors trop court pour être efficace.

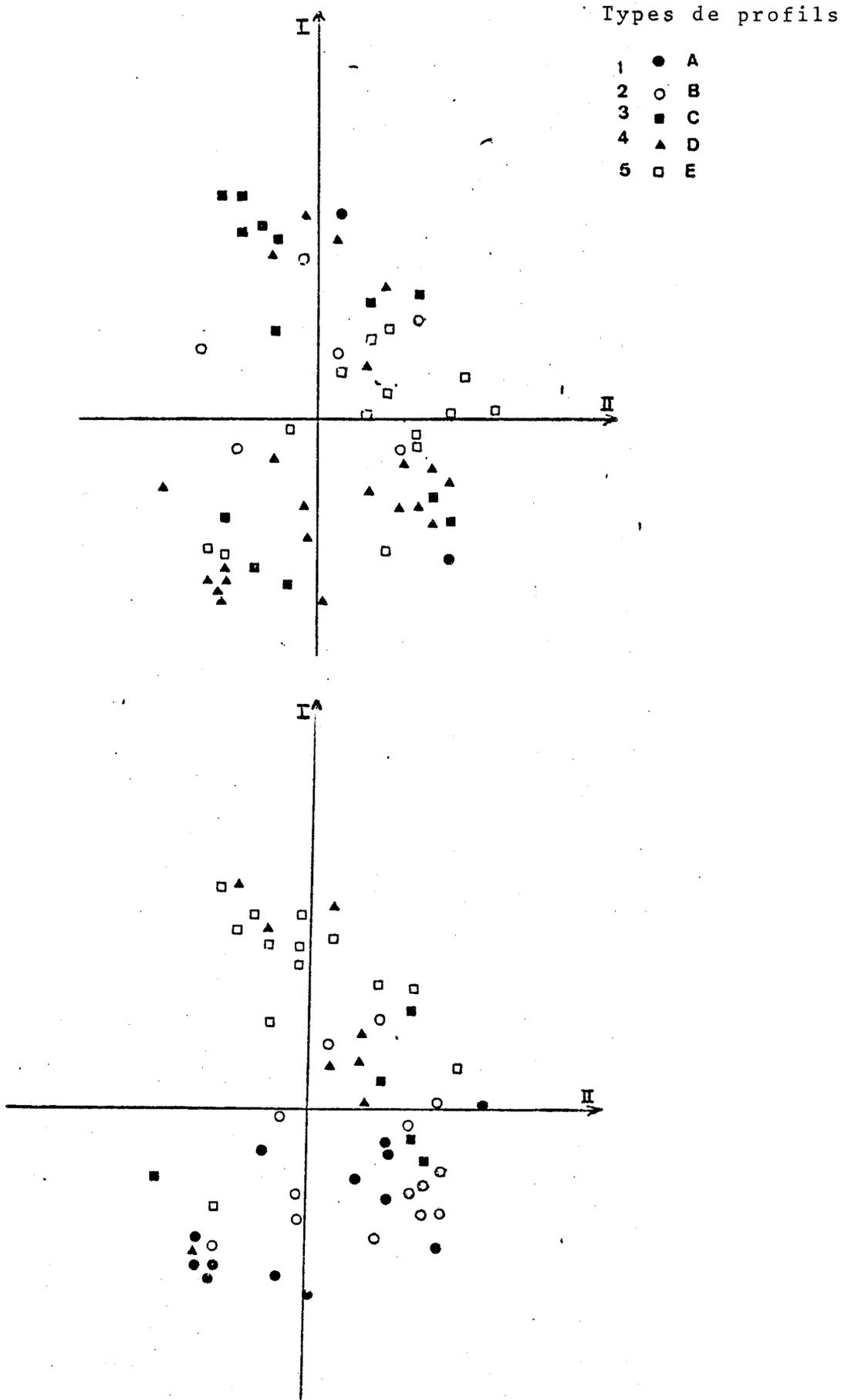


Fig. 69 : SUPERPOSITION DES PROFILS DES D.R.F. SUR LA PROJECTION DES POINTS-STATIONS SUR LE PLAN I,II.

4.4. Comparaison de l'AFC multiple avec la classification des DRF

Reprenant la classification des DRF établie page 91 et déjà comparée aux résultats de l'AFC (§ 3.5, p. 145), nous obtenons ici les résultats suivants. Les types de DRF sur effectifs se répartissent de façon incohérente par rapport aux axes de l'AFC multiple. Les DRF sur biomasses se répartissent de A à E, dans le plan (I, II), le long de l'effet Guttman signalé plus haut ; les allures de courbes de type E coïncident avec les fortes charges polluantes et les A avec les plus faibles (Fig. 69). Dans le plan I, III, le classement semble se faire d'une façon analogue le long de l'effet Guttman décrit dans ce plan, mais de façon beaucoup plus confuse.

5 - IMPORTANCE DU PLANCTON, CONSEQUENCES POUR LA GESTION D'UN ETANG D'EPURATION

Les analyses multivariées et en particulier l'Analyse des Correspondances Multiples a mis en évidence l'importance de la biomasse zooplanctonique dans l'évolution des paramètres chimiques et écologiques. Nous avons tenté de préciser cette importance en calculant des ordres de grandeur des activités métaboliques.

5.1. Le phytoplancton

Nous avons estimé la biomasse phytoplanctonique en utilisant la formule de VERDUIN *et al.* citée par JANIK *et al.* (1981)

$$\text{poids sec} = \frac{\text{Chl a}}{0,06}$$

et calculé, en nous fondant sur les travaux de REYNOLDS (1984), la quantité maximale d'oxygène pouvant être générée. Cet auteur constate que, dans les conditions de production maximale, 1 mg de Chl a peut produire 10 mg d'oxygène par heure. Les travaux de BARBE (1983) sur des lagunes d'épuration mentionnent un rapport plus faible. Celui ci constate une production de 7000 mg de C /m³/h pour des teneurs en Chl a de 4000 mg/m³; en extrapolant ces données à l'oxygène, 1mg de Chl a produit environ 2mg d'O₂/h.

5.2. Métabolisme du zooplancton

Nous nous sommes reportés aux différentes données de la littérature. Mais de nombreux facteurs liés soit au consommateur (taille, état physiologique), soit à la nourriture (qualité et quantité), soit à des facteurs abiotiques (température, oxygénation, pH) sont de très grandes sources de fluctuation et les valeurs citées dans la littérature sont très

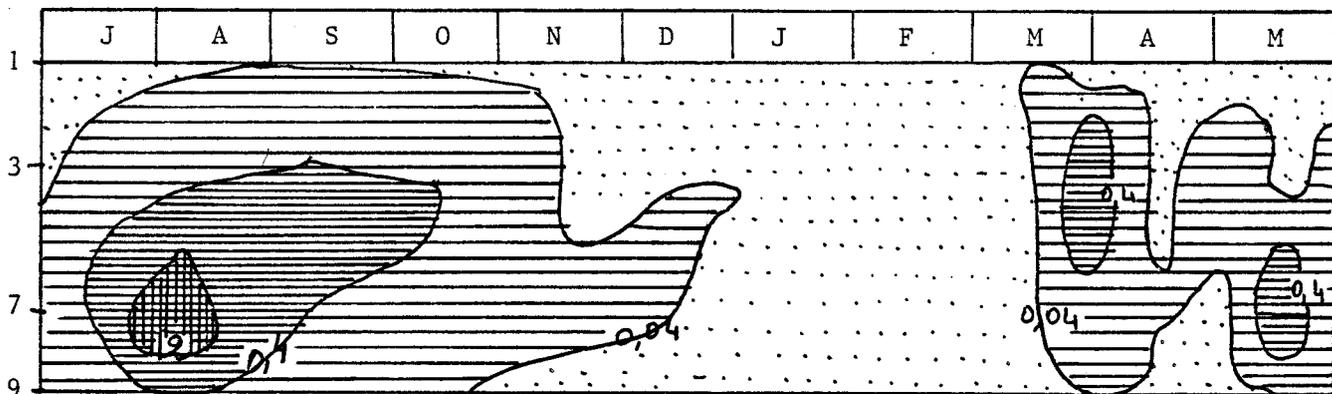


FIGURE 70 : VOLUMES SUSCEPTIBLES D'ETRE FILTRES (EN L) PAR LITRE DE MILIEU ET PAR HEURE.

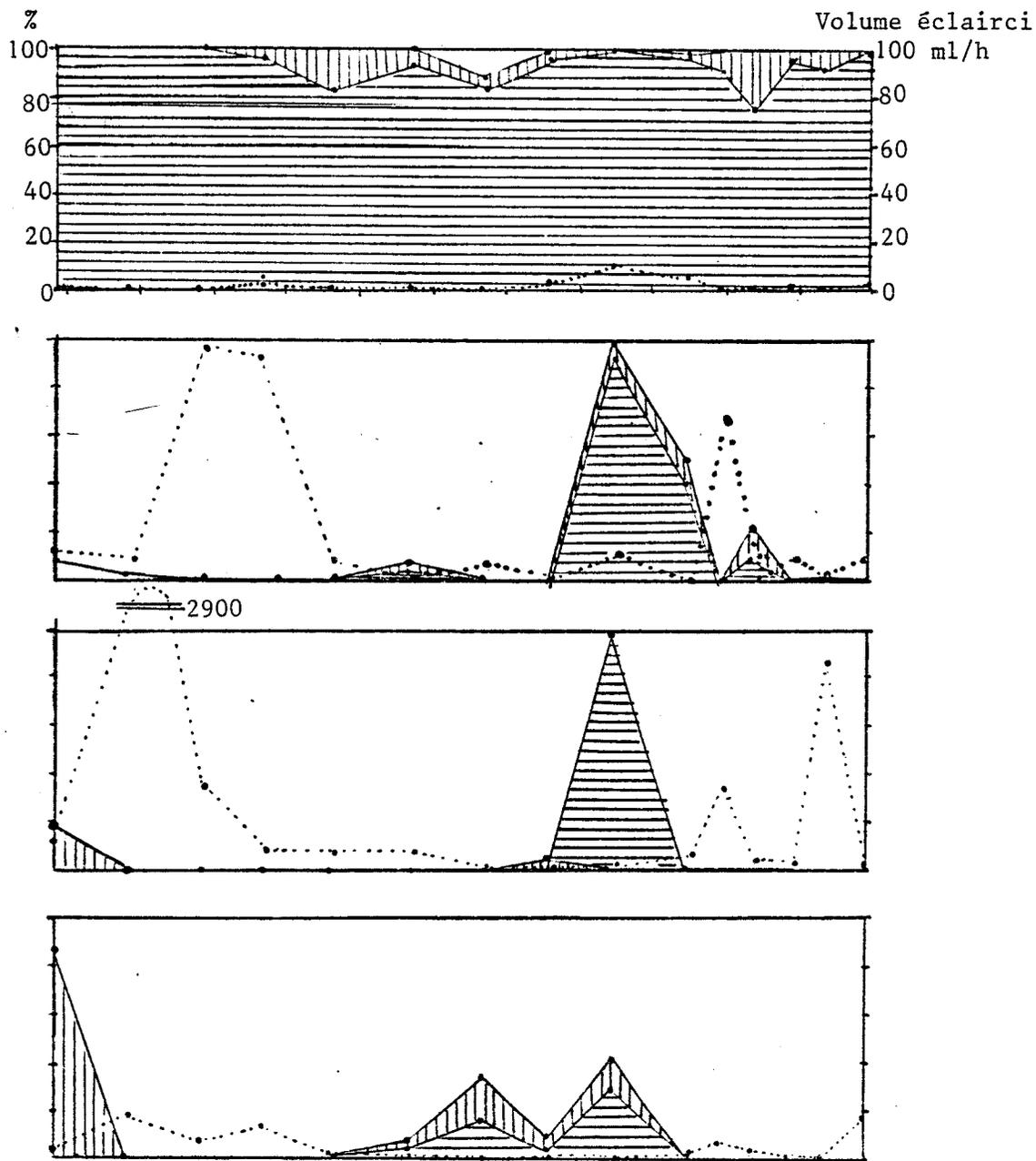


FIGURE 71 : ESTIMATION DES CAPACITES DE FILTRATION DU ZOOPLANCTON.

●--● Volume éclairci en ml/h.

Capacités de filtration de chaque groupe taxonomique (en %).

Ciliés
 Rotifères
 Cladocères

variées. Les extrapolations permettant d'estimer l'activité des organismes sont de ce fait d'un ordre de grandeur très théorique en raison non seulement de l'incertitude sur les taux vrais de filtration, mais aussi de l'incertitude sur les nombres d'organismes par litre. Malgré cela, elles nous apporteront des renseignements précieux.

5.2.1. Capacité de filtration

Nous avons estimé pour chacun des organismes filtreurs (Ciliés, Rotifères et Cladocères) leurs capacités de filtration horaire.

Pour les Cladocères, nous nous sommes basée sur la formule publiée par BURNS (1969) pour le genre *Daphnia* : à 15°C, la filtration $F = 0,153 L^{2,16}$, F étant en millilitres par individu et par heure et L en millimètres. Pour les différentes écophases des daphnies (adulte, juvénile et néonate) des taux de filtration respectivement de 2,3, 0,15 et 0,005 ml/ind/h. Nous avons utilisé la même formule pour *Moina macrocopa* et avons estimé pour les adultes un taux égal à celui des daphnies juvéniles, soit 0,15 ml/ind/h.

Afin de pouvoir comparer les potentialités de filtration des autres groupes et leur efficacité différentielle, nous avons retenu pour les Ciliés et les Rotifères les valeurs maximales citées. Pour les Ciliés, un taux de 10^{-3} ml/ind/h (FENCHEL, 1980) et pour les Rotifères un taux de 4.10^{-3} ml/ind/h (POURRIOT *et al.*, 1982).

La figure 70 montre l'évolution annuelle aux quatre stations de la filtration (exprimée en litre/litre de milieu et par heure) de l'ensemble de la biocénose. La figure 71 reprend station par station le volume total filtré (courbe en pointillé) mais indique de plus la part prise (exprimée en pourcentage) par les différents groupes planctoniques filtreurs. Dans le "fossé noir", le volume filtré (maximum 100 ml/h) reste faible toute l'année et est essentiellement dû aux Ciliés. En revanche, dans les bassins on constate parfois des volumes très importants (jusqu'à 2,9 litres filtrés par le zooplancton contenu dans 1 litre en 1 heure). Il existe une très grande similitude entre la figure 70 et la figure 25 représentant la biomasse des Cladocères, montrant bien le rôle essentiel de ce groupe dans les capacités de filtration de la biocénose. En hiver, alors que les grands Crustacés sont en faible nombre, le volume filtré est très faible. En ce qui concerne les autres groupes, les maxima filtrés par les populations de Ciliés ou de Rotifères sont respectivement de 100 et 22 ml.

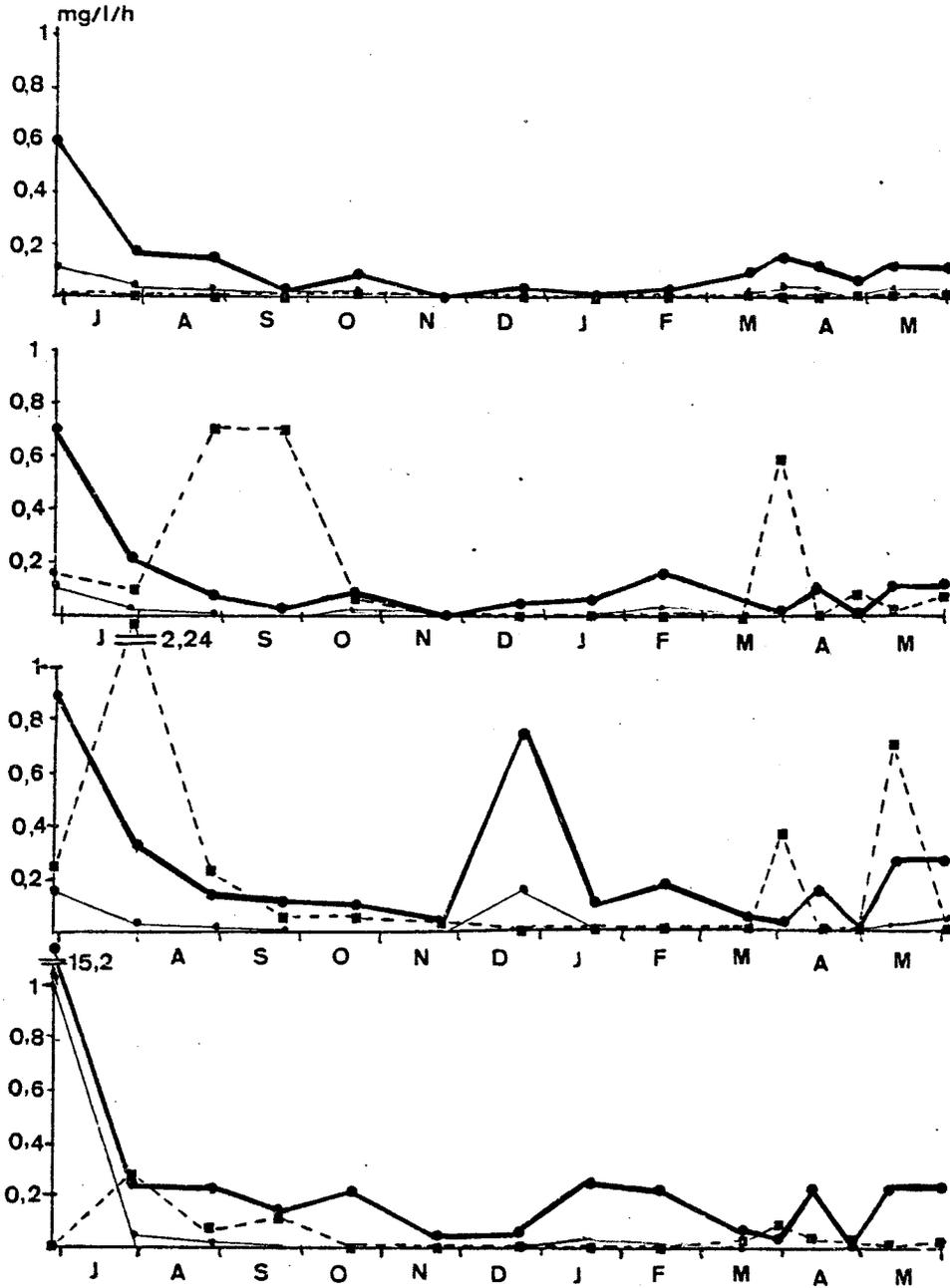


Fig. 72 : ESTIMATION DE L'OXYGENE PRODUIT PAR LA CHLOROPHYLLE ET DE L'OXYGENE CONSOMME PAR LE ZOOPLANCTON. (mg/h)

- Maximum de O₂ produit (selon REYNOLDS)
- Maximum de O₂ produit (selon BARBE)
- O₂ consommé par le zooplancton.

5.2.2. Respiration

Chez le zooplancton d'eau douce, les quantités d'oxygène respiré à 20°C (en µg/h) portées en fonction des poids secs individuels (en µg) se répartissent autour d'une relation moyenne : $R = 0,0130 W^{0,93}$ (CHAMP et POURRIOT, 1981). A partir de cette formule générale, nous avons estimé la respiration du zooplancton total et celle de chaque groupe planctonique. Pour *Daphnia magna* (espèce dominante), nous avons voulu comparer les résultats obtenus par la formule générale avec celle préconisée plus spécialement pour cette espèce par SCHINDLER (1968) : $R = 0,293 T - 4,275 W + 0,882$; T s'exprimant en °C, W en mg de poids sec et R en µl/mg/h. Les résultats étant finalement assez comparables, nous avons opté pour tous les groupes (*Daphnia magna* comprise) pour la formule générale.

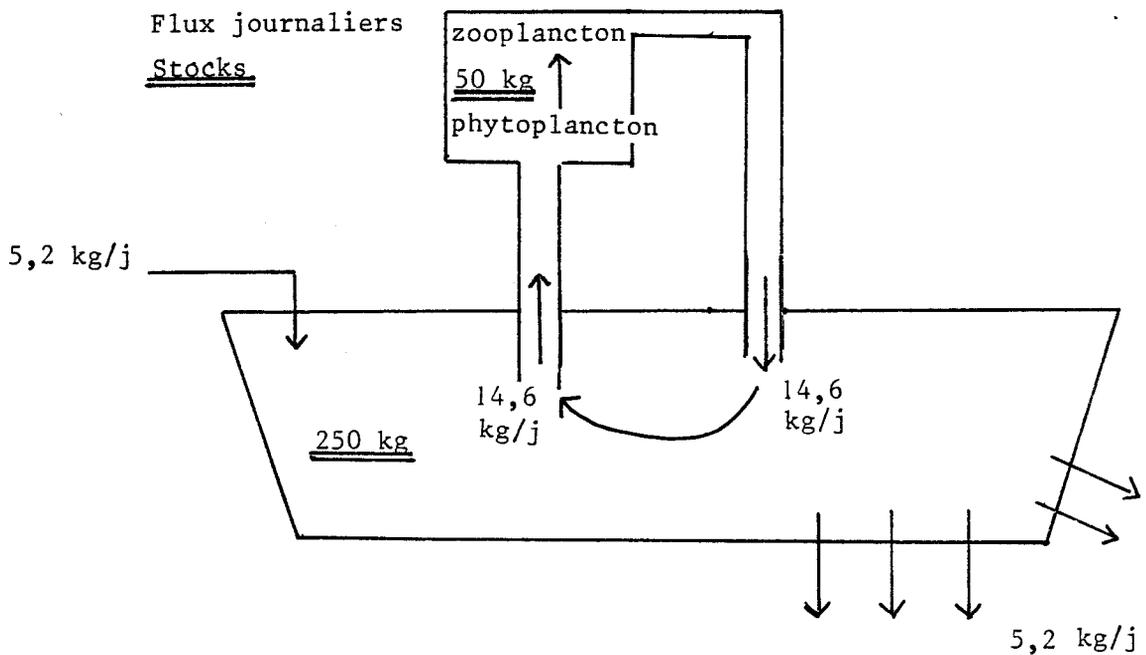
Les résultats sont portés sur la figure 72 où pour chaque station, nous avons figuré simultanément l'oxygène produit par le phytoplancton (cf. p. 172) en traits pleins et celui consommé par le zooplancton (pointillé). Nous remarquons ainsi qu'aux grands développements des Cladocères (août, septembre et fin mars à la station 3 ; juillet, fin mars et mai à la station 7) la consommation en oxygène est plus importante que la production par les algues. A la station 9, ce déficit n'apparaît pas mais il arrive cependant, comme aux deux autres stations de la lagune, que la production d'oxygène équilibre juste la consommation.

5.2.3. Régénération des nutriments

Si l'on se réfère aux travaux de LEHMANN (1980), la régénération par le zooplancton serait de l'ordre de 17,8 µg/j par mg de poids sec de zooplancton pour NH₄ et de 3,4 pour PO₄. Nous avons calculé les quantités régénérées par le zooplancton lors de son plus fort développement (juillet) dans le troisième bassin. Nous arrivons à une estimation de 4,27 et 0,8 mg/1/jour respectivement pour NH₄ et PO₄ à la station 7 ; 0,25 et 0,05 mg/1/jour à la station I. Nous adopterons pour l'ensemble du bassin les moyennes des deux valeurs respectives, soit 2,26 mg/1/jour pour NH₄ et 0,425 pour PO₄. Rapportées au volume total du troisième bassin, soit environ 6 200 m³, ces valeurs donnent des flux entrant journaliers, par le métabolisme du zooplancton, de 14 kg et 2,63 kg/jour respectivement. Ces quantités peuvent évidemment être recyclées plusieurs fois en un même jour.

Ce flux journalier entrant dans le compartiment "eau libre" peut être comparé à l'apport exogène, c'est-à-dire à l'ammoniaque et au phosphore entrant dans le troisième bassin en provenance de second. Le flux d'eau en provenance de la station d'épuration était, à l'époque considérée (juillet) peu important, sans doute de l'ordre de $400 \text{ m}^3/\text{jour}$. L'étang n'ayant aucun exutoire, la même quantité doit être éliminée par infiltration à travers le fond et les berges. Une observation, relatée au début de ce travail (première partie, § 1.2.), lors d'une fermeture de la pompe d'entrée accompagnée d'un cloisonnement étanche entre les bassins, faisait état d'une baisse de niveau de 4 cm par jour dans le premier bassin, 1,2 cm dans le troisième et d'aucune baisse dans le second. En rapportant ces nombres aux surfaces de chacun des bassins, on évalue la perte d'eau par infiltration (en négligeant l'évaporation) à 150 m^3 pour le premier bassin et 75 pour le troisième. La perte totale est de 225 m^3 . Nous retiendrons que la perte par infiltration avant l'entrée dans le troisième bassin est de l'ordre des deux-tiers de la perte totale, donc du débit entrant. Il s'ensuit que si le flux entrant dans la lagune est de 400 m^3 , celui entrant dans le troisième bassin n'est que de $130 \text{ m}^3/\text{jour}$. Les teneurs de l'eau en NH_4 et en PO_4 à l'époque considérée étaient respectivement de 40 et 8,4 mg/l (valeurs prises à la station 7, voisine de l'entrée), soit un flux entrant de 5,2 et 1,1 kg/j pour ces deux substances. Le flux de turn-over à travers le phyto et le zooplancton est ainsi près de 2,7 fois plus important que le flux advectif

On observe que dans ces conditions les teneurs de l'eau en NH_4 et PO_4 sont assez constantes et homogènes dans l'ensemble du bassin (39,1 et 8,1 mg/l à la station 9). Le turn-over aboutit donc au maintien des teneurs de l'eau en nutriments. On peut calculer qu'à cette époque de l'année, l'eau du troisième bassin contient 250 kg de NH_4 , son zooplancton en contient 50 kg et son phytoplancton 0,38 kg. Nous avons déjà signalé la faible biomasse du phytoplancton, très vite consommé par un zooplancton abondant. On peut donc considérer que 250 kg de NH_4 sont dans l'eau du bassin et 50 dans la biomasse. Le mouvement de l'ammoniaque peut être synthétisé par le graphique suivant :



On déduit d'une telle analyse qu'une épuration réelle au niveau du troisième bassin (après action des deux premiers sur le taux de matières organiques) exigerait une exportation de la biomasse zooplanctonique avant qu'elle réalise une régénération trop importante.

Cette exportation pourrait se faire :

- soit par introduction de poissons, à condition que ces derniers soient eux-mêmes régulièrement exportés de la lagune, faute de quoi le poisson ne ferait que repousser le problème; malheureusement ces étangs sont peu propices à l'introduction de poissons (concentrations en NH_3 souvent léthales);
- soit par collecte directe du zooplancton de grande taille (Daphnies) permettant une exportation définitive des nutriments et une moindre consommation d'oxygène, ce qui faciliterait en outre l'oxydation chimique; considérées comme une excellente nourriture pour bon nombre d'espèces aquatiques, les Daphnies pourraient être commercialisées pour l'aquaculture ou l'aquariophilie; (procédé en cours d'étude: BARNABE, 1982)
- une troisième solution serait l'implantation en aval d'une zone à macrophytes, à condition que ces macrophytes soient soumises à un faucardage périodique. Outre leur grande capacité d'absorption des nutriments, ces macrophytes se développent sous une faible épaisseur d'eau, défavorable aux Crustacés planctoniques, qui se trouvent donc éliminés.

CONCLUSION

CONCLUSION

Bien que de nombreux évènements (déversement de soude juste avant notre étude, température exceptionnellement chaude, déversement de poissons, baisse considérable du niveau des eaux en hiver, installation du "by-pass"...) aient contribué à faire de cette étude une succession de situations singulières, un certain nombre de phénomènes importants pour le bon fonctionnement des lagunes ont néanmoins pu être mis en évidence. Cette étude suscite quelques remarques :

Sur le plan méthodologique, il semble important, avant de commencer une étude, de s'assurer de l'exploitation rationnelle des résultats. La connaissance approfondie de paramètres de base, telles que le débit et la charge de l'eau entrante, le temps de rétention, les pertes par évaporation ou infiltration, etc..., sont fondamentales pour l'interprétation et la compréhension des phénomènes. Ces paramètres sont malheureusement trop souvent mésestimés.

En outre, au lieu de faire classiquement des suivis en effectuant une mesure ponctuelle par station, nous pensons qu'il est bien plus important de cerner les "maxima" et les "minima" des paramètres. En effet, bon nombre de descripteurs peuvent avoir des variations journalières très importantes. La mesure effectuée à "telle ou telle heure" peut entraîner des interprétations totalement différentes des phénomènes. On peut citer pour exemple la mesure de l'oxygène qui, effectuée lors d'un développement phytoplanctonique quelque peu important, donne comme résultat un déficit important en oxygène au lever du jour, des valeurs moyennes le matin et des sursaturations quelques heures plus tard. Il en est de même pour d'autres descripteurs. La connaissance de ces fluctuations permettrait bien souvent d'aller plus loin dans l'interprétation des phénomènes. En ce qui concerne les descripteurs physico-chimiques, un certain nombre de paramètres semblent montrer des évolutions comparables (c'est le cas notamment de la DBO et de la DCO, du NH_4 et PO_4 , des *Escherichia coli* et des coliformes totaux). Si le temps et l'argent sont des facteurs limitants pour la collecte des données, nous pensons qu'il vaut mieux favoriser la connaissance approfondie de quelques descripteurs, quitte à sacrifier les descripteurs qui nous semblent plus redondants.

L'analyse de la structure du peuplement a permis de mettre en évidence deux peuplements différents qui se succèdent le long du gradient amont-aval. En amont, nous observons un peuplement à Ciliés caractérisé par des effectifs très importants. Les deux stations en aval sont au contraire caractérisées par un peuplement à Crustacés (principalement à *Daphnia magna*). Les effectifs nettement plus faibles sont très largement compensés par une biomasse beaucoup plus importante. Nous observons à la station intermédiaire un mélange de ces deux peuplements. Cette station se distingue par une plus grande richesse taxonomique, une répartition des espèces plus équipondérée (D.R.F.) mais une instabilité plus grande du peuplement (prédominance tout à tour des Ciliés et des Cladocères). Ces variations attestent de la "fragilité" de cette station encore très nettement soumise aux fluctuations de la qualité de l'eau entrante dans la lagune. En revanche, les caractéristiques très semblables des stations 7 et 9 montrent le début de la stabilisation.

Parmi les analyses multivariées, l'analyse en composantes principales nous a montré les grandes oppositions entre les paramètres physico-chimiques, leurs corrélations et leurs variations concomitantes. L'analyse factorielle des correspondances a permis d'associer à chaque "évènement marquant" une biocénose caractéristique. Mais parmi ces techniques, celle qui nous est apparue la plus intéressante et la plus adaptée à notre étude est l'analyse factorielle des correspondances multiples. Cette méthode, encore très peu utilisée en écologie, nous a permis l'étude concomitante des variables physico-chimiques, des associations planctoniques et par conséquent de leurs interactions. L'importance prépondérante, dans nos bassins, de trois facteurs (température, oxygène et biomasse zooplanctonique) a ainsi pu être mise en évidence. De même, nous avons pu dissocier épuration bactérienne et épuration chimique.

En effet, l'épuration bactérienne est incontestablement liée à la biomasse et à l'efficacité zooplanctonique. Pour l'élimination des nutriments (azote et phosphore), le développement d'un zooplancton phytophage est bénéfique dans la mesure où il favorise leur recyclage et leur élimination par le biais de la chaîne alimentaire mais un trop grand développement se répercute de façon néfaste sur la composition chimique du milieu : d'une part, par la respiration qui appauvrit en oxygène et inhibe les réactions d'oxydation chimiques ; d'autre part, par la régénération (relargage de NH_4 et PO_4) qui se traduit par un réenrichissement de ces nutriments dans le milieu.

Cette étude a mis aussi en évidence le rôle de la biomasse zooplanctonique dans le stockage des nutriments. Le manque d'exportation a pour conséquence une restitution "post mortem" d'une partie des substances assimilées et un arrêt de l'épuration.

La qualité de l'eau en sortie n'est pas une fonction continue du temps mais plutôt le résultat de l'activité d'une succession d'associations d'espèces. Chacune de ces associations se définit par rapport aux composantes du milieu et le modifie. Il est important de "gérer" ces lagunes de façon à optimiser les interactions plancton-milieu. L'amélioration de l'épuration n'est pas à chercher dans l'augmentation du temps de séjour mais plutôt dans la configuration des lagunes afin de diversifier au maximum les niches écologiques (fractionnement en plusieurs bassins ayant des particularités différentes telles que hauteur d'eau et largeur variables) et de favoriser tour à tour chaque maillon de la chaîne trophique.

En prenant pour exemple cette lagune, il conviendrait de structurer les plans d'eau de façon à favoriser l'oxygénation du milieu dès l'amont (écoulement en cascades rapprochées et sur une tranche de faible épaisseur de l'effluent brut). Le premier bassin pourrait être de faible épaisseur pour favoriser le développement des microphytes et pour améliorer l'oxygénation. Le zooplancton ne prendrait le relais que dans les bassins suivants plus profonds, propices au développement des grands Cladocères. Il est important de prévoir en aval un "compartiment exportateur" que ce soit par l'implantation de macrophytes qui seraient fauchés régulièrement ou par la récolte des grands Cladocères qui serviraient à l'aquaculture ou à l'aquariophilie.

Enfin, le rôle du sédiment a été complètement ignoré dans cette étude. Il devrait faire l'objet d'une étude approfondie.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

A

- Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse (1983) - Lagunes à charge estivale. Fonctionnement - Conception, 194 p.
- AMREN, H. (1964) - Ecological studies of zooplankton in some ponds on Spitsbergen Zool. Bid. Uppsala, 36, 161-191.
- ANGELI, N. (1972) - Esquisse du profil biologique (plancton) d'un canal influencé par une pollution complexe d'origine industrielle : le canal de Seclin-Nord. Biol. JB. Dodonea, 40, 77-115..
- ANGELI, N. (1979) - Relations entre le plancton et la qualité de l'eau. Incidence des polluants sur le profil biologique de quelques canaux et étude comparative des interactions plancton-épuration en bassins expérimentaux de lagunage. Thèse, Univ. Sci. Lille, 277 p.
- ANGELI, N. (1980) - Interactions entre la qualité des eaux et les éléments du plancton. *In* : La pollution des eaux continentales. Pesson Ed.
- A.P.H.A. (1971) - Standard methods for the examination of water and wastewater. 13° Ed. Joint. ed. bd. AMWA, APHA, WPCF. Pub. Office American Health Association, 874 p.
- ARORA, H.C. (1966) - Rotifera as indicators of trophic nature of environments. Hydrobiologia, 27, 146-159.
- ATLAN, H. (1972) - L'organisation biologique et la théorie de l'information. Hermann, Paris, 300 p.

B

- BAILLY, J.M.(1976) - Effets de la pollution domestique sur les poissons. Rapport bibliographique ENSAM/CTGREF, 57 p.
- BANTA, A.M., BROWN, L.A. (1929) - Control of sex in Cladocera. I. Crowding the mothers as a means of controlling male production. Physiol. Zool., 2, 93-98
- BARBE, J. (1983) - Analyse des pigments photosynthétiques dans les matières en suspension de la rivière Doubs. Relation avec certains paramètres du milieu. C.N.R. Etude de la liaison navigable Saône-Rhin à grand Gabarit. Rapport GEMAGREF.
- BARBE, J. (1983) - Possibilités d'utilisation des algues planctoniques en tant qu'indicateurs de la qualité des eaux. Actes du colloque de l'association française pour l'algologie appliquée. Octobre 235-243.
- BARNABE, G. (1982) - Suivi du zooplancton. Compte-rendu des activités scientifiques - rapport 1981-1982. Station de lagunage de Mèze. Université des Sciences et Techniques du Languedoc.
- BAUER, O.N. (1961) - Parasitic diseases of cultured fishes and methods of their prevention and treatment. Parasitology of fishes. V.A. Dogiel, G.K. Petrushevski and Y.I. Polyanski (Eds), 265-198. Oliver and Boye, London.
- BEAUPIED, H. (1980) - Le cycle de l'azote dans les étangs. In La pisciculture en étang. R. Billard, INRA Publ. Paris, 81-97.
- BELJACKAJA Ju.S. (1959) - Application of flowing microrespirometer in measurements of respiration in planktonic animals. Dokl. Akad. Nauk. Bieloruss. SSSR, 7, 315-317. (in russian).
- BENZECRI, J.P. (1973) - Sur l'analyse de tableaux binaires associés à une correspondance multiple. Note multigraphiée, Lab. Stat. Math. Univ. Pierre et Marie Curie, Paris.
- BENZECRI, J.P. et Coll (1973) - L'analyse des données. II. L'analyse des correspondances. Dunod, Paris, 619 p.
- BERZINS, B. (1949) - Zur Limnologie der Seen Südostlettlands. Schweiz. Z. Hydrol. II : 583-607.

- BICK, H., SCHOLTYSECK, E. (1960) - Ökologische Untersuchungen an abwasserteichen. Arch. Hydrobiol., 57, 196-216.
- BLANC, F., CHARDY, P., LAUREC, A., REYS, J.-P. (1976) - Choix des métriques qualitatives en analyse d'inertie. Implication en écologie marine benthique. Mar. Biol., 35, 49-67.
- BLANC, F., LAUREC, A. (1976) - De l'heuristique au thaumaturgique en traitement des données d'écologie marine. Cah. Orstom. Sér. Océanogr., XIV, 2, 101-107.
- BONNET, L. (1964) - Le peuplement thécamoebien des sols. Rev. Ecol. Biol. Sol., 1, 123-408.
- BREMOND, R., PERRODON, C. (1979) - Les paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, 259 p.
- BURNS, C.W. (1969) - Relation between filtering rate, temperature and body size in four species of Daphnia. Limn. Oceanogr., 14, 693-700.

C

- CAILLIEZ, F., PAGES, J.-P. (1976) - Introduction à l'analyse des données. Smash, 616 p.
- CARPENTER, A. (1965) - The chesapeake Bay Institute for the Winkler dissolved oxygene method. Limnol. Oceanogr., 10, 141-143.
- CARPENTER, R.L., COLEMANS, M.S., JARMAN, R. (1976) - Aquaculture as an alternative wastewater treatment system. In Biological Control of Water Pollution, Tourbier J., Pierson R.W. Jr (Eds), Univ. Pennsylvania Press.
- CEMAGREF (1981) - Etude du fonctionnement d'installations de lagunage naturel. Etude n° 51, Groupement d'Antony. DQEPP.
- CHAMP, P., POURRIOT, R. (1981) - Respiration du zooplancton. Annls Limnol. 17, 237-241.
- CHANG, S.L., KABLER, P.W. (1962) - J. Wat. Pol. Control Fed., 34, 1256-1261.

- CHAUDHURI, N., ENGELBRECHT, R.S., AUSTIN, J.H. (1965) - J. Am. Wat. Wks Ass., 57, 1561.
- C.T.G.R.E.F. (1980) - Traitement des eaux usées par lagunage naturel. Eléments de conception et de dimensionnement. C.T.G.R.E.F. informations techniques - Cahier 39, n° 9.
- CURDS, C.R. (1979) - Le rôle des protozoaires dans la purification de l'eau. Ann. Biol. XVIII, 193-219.

D

- DAGET, J. (1976) - Les modèles mathématiques en écologie. Masson, Paris, 172 p.
- DEGREMONT (1972) - Mémento technique de l'eau. Technique et documentation, 11, rue Lavoisier, Paris, 1097 p.
- DE PAUW, N., DE LEENHEER, L., LAUERY, P., MORALES, J., REARTES, J. (1980) - Cultures d'algues et d'Invertébrés sur déchets agricoles. In La pisciculture en étang., R. Billard, I.N.R.A., Publ. Paris, 189-214.
- DEVAUX, J. (1980) - Structure des populations phytoplanctoniques dans trois lacs du Massif Central : Successions écologiques et diversité. Acta oecologica, Oecol. Gen., 1, 11-26.
- DINGES, R. (1973) - Ecology of daphnia in stabilisation ponds. Texas State Dept of Health, Div. Wastewater Technol. Surveillance, PB.226273.
- DINGES, R. (1982) - Natural systems for water pollution control. Van Nostrand Reinhold Company Regional Offices, New York, 252 p.
- DINGES, R., RUST, A. (1972) - The role of daphnia in wastewater oxidation pond Public works, October, 128, 89-91.
- DIVE, D. (1975) - Influence de la concentration bactérienne sur la croissance de *Colpidium campylum*. J. Protozool., 22, 545-550.
- DREWS, R.J.L.C. (1966) - Field studies of large-scale maturation ponds with respects to their efficiency. J. Proc. Inst. Sew. Purif., 3, 280-294

E

- EMERSON, K., RUSSO, R.C., LUND, R.E., THURSTON, R.V. (1975) - Aqueous ammonia equilibrium calculations :effect of pH and temperature. J. Fish. Res. Board Can., 32, 2379-2383.

F

- FAURE-FREMIET, E. (1967) Chemical aspects of ecology. In Chemical zoology. Acad. Press Inc., N.Y., Vol. 1, 21-54.
- FENCHEL, T. (1980) -Suspension feeding in ciliated protozoa: Feeding rates and their ecological significance. Microbial.ecology. 6:13-25
- FITZGERALD, G.P., ROHLICH, G.A. (1958) - An evaluation of stabilization pond litterature. Sew. Ind. Wastes ,30, 110, 1213-1224.
- FOGG, G.L. (1966) - Algal cultures and phytoplankton ecology. University of Wisconsin Press, Madison, 126 p.
- FRONTIER, S. (1969) - Méthodes d'analyse statistique applicables à l'écologie du plancton. Doc. Sci. Centre O.R.S.T.O.M., Nosy-Bé, 7, 33 p.
- FRONTIER, S. (1974a) - Contribution à la connaissance d'un écosystème néritique tropical : étude descriptive et statistique du peuplement zooplanctonique de la région de Nosy-Bé (Madagascar). Thèse Doct. ès Sciences, Univ. Aix-Marseille, 263 p.
- FRONTIER, S. (1974b) - L'analyse factorielle est-elle heuristique en écologie du plancton ? Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Océanogr., 12, 77-81.
- FRONTIER, S. (1985) - Diversity and structure in aquatic ecosystems. Oceanogr. mar. Biol. ann. Rev., sous presse.

G

- GALKOVSKAJA, G.A. (1961) - Species composition, quantitative development, and role of rotifers in self-purification of water in biological running waters. In Očistka stočnych vod v biologičeskih prudah., Minsk 113-118. (in russian).
- GELLER, W., MÜLLER, H. (1981) - The filtration apparatus of Cladocera : Filter mesh-sizes and their implications on food selectivity. Oecologia (Berl.), 49, 316-321.
- GLIWICZ, Z.M. (1975) - Effect of zooplankton grazing on photosynthetic activity and composition of phytoplankton. Verh. Internat. Verein. Limnol., 19, 1490-1497.
- GLIWICZ, Z.M. (1976) - Plankton photosynthetic activity and its regulation in two neotropical man-made lakes. Pol. Arch. Hydrobiol., 23, 61-93.
- GLIWICZ, Z.M. (1977) - Food size selection and seasonal succession of filter-feeding zooplankton in an eutrophic lake. Ekol. Pol., 25, 179-225.
- GLIWICZ, Z.M., HILLBRIGHT ILKOWSKA, A. (1972) - Efficiency of the utilization of nanoplankton primary production by communities of filter feeding animals measured in situ. Verh. Internat. Verein. Limnol., 18, 197-203.
- GLOYNA, E.F. (1972) - Bassins de stabilisation des eaux usées. Organisation mondiale de la Santé, Genève, 187 p.
- GOLTERMAN, H.L. (1967) - Tetraethylsilicate as a ¹⁴molybdate unreactive silicon source for diatoms cultures. Proc. IBP. Symp. Amsterdam, Nieuwers Luis, 1966, 56-62.
- GOLTERMAN, H.L. (1975) - Physiological limnology, an approach to the physiology of lake ecosystems. Elsevier, 489 p.
- GUILLARD, A. (1950) - Contribution à l'étude des micro-organismes de la Lys et de l'Escaut à Gand. Biol. J., 17, 111-161.

H

- HAKKARI, L. (1972) - Zooplankton species as indicators of environment. Aqua Fennica, 46-54.
- HALBACH, U. (1969) - Das Zusammenwirken von Konkurrenz und Räuber-Beute-Beziehungen bei Rädertiere. Zool. Anz., suppl. 33, 72-79.
- HALBACH, U., (1972) - Assoziationskoeffizienten dreierplanktische Rotatorienarten im Freiland und ihre Deutung aufgrund interzpezifischer Beziehungen (Konkurrenz, Räuber-Beute-Beziehung). Oecologia, 9, 311-316.
- HOFMANN, W. (1977) - The influence of abiotic environmental factors on population dynamic in planktonic Rotifers. Arch. Hydrobiol. Beih., 8, 77-83.
- HOTELLING, H. (1933) - Analysis of a complex of statistical variables into principal components. J. Educ. Psychol., 29, 417-441 et 498-520.
- HURLBERT, S.H. (1971) - The nonconcept of species diversity : a critique and alternative parameters. Ecology, 52, 577-586.
- HUTCHINSON, G.E. (1967) - A treatise on Limnology. Vol. II, Introduction to lake biology and the limnoplankton. Wiley and Sons, New York, 1115 p.
- HYNES, H.B.N. (1960) - The biology of polluted waters. Liverpool University Press.

J

- JAKSON, K.M., BERGER, J. (1984) - Survival of ciliate protozoa under starvation conditions and at low bacteria levels. Microbiol. Ecol., 10, 47-59.
- JANIK, J.J., TAYLOR, W.D., LAMBOU, V.W. (1981) - Estimating phytoplankton biomass and productivity. Environ. Wat. Qualit. operation. Stud., Miscellaneous paper n° 2, 23 p.

K

- KIMERLE, R.A., ENNS, W.R. (1968) - Aquatic insects associated with Midwestern Waste Stabilization Lagoons. J. Wat. Poll. Control Fed., 42, 2035.
- KLIMOWICZ, H. (1961) - Rotifers of the Nile canals in the Cairo environs. Pol. Arch. Hydrobiol., 9, 203-211.
- KLIMOWICZ, H. (1968) - Occurrence of Rotifers in sewage ponds. Pol. Arch. Hydrobiol., 15, 225-235.

L

- LECLERC, H. (1981) - Les bio-indicateurs bactériens de santé publique. In Dynamique de populations et qualité de l'eau. Gauthier-Villars, 275 p.
- LEGENDRE, L., LEGENDRE, P. (1979) - Ecologie numérique. Tome 2 : La structure des données écologiques. Masson (Ed.), 254 p.
- LEHMAN, J.T. (1980) - Nutrient recycling as an interface between algae and grazers in freshwaters communities. In Evolution and ecology of zooplankton communities, Kerfoot (Ed.), 251-263.
- LILLIEROTH, S. (1950) - Über Folgen Kulturbedingter Wasserstandsenkungen für Makrophyten- und Plankton-gemeinschaften in seichten Seen des südschwedischen Oligotrophiegebietes. Acta Limnol., Lund, 3, 288.
- LLOYD, M., GHELARDI, R.J. (1964) - A table for calculating the "equitability" component of species diversity. J. anim. Ecol., 33, 217-225.
- LOEDOLFF, C.J. (1965) - The function of cladocera in oxydation ponds. Proceed. 2nd internat Waterpoll. Res. Conf., Tokyo, 307-325.

M

- MACINTOSH, R.P. (1967) An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. Ecology, 48, 392-404.
- MACMAHON, J.W., RIGLER, F.H. (1965) - Feeding rate of *Daphnia magna* Strauss in different foods labelled with radioactive Phosphorus. Limnol. Oceanogr., 10, 105-113.
- MARAIS, G.V.R. (1966) - New factors in the design, operation and performance of Waste Stabilization ponds. Bull. Org. Mond. Santé, 34, 737-763.
- MARGALEF, R. (1960) - Valeur indicatrice de la composition des pigments du phytoplancton sur la productivité, composition taxonomique et propriétés dynamiques des populations. Rapp. Proc. Verb. C.I.E. S.M.M., 15, 277-281.
- MARGALEF, R. (1974) - Ecologia. Omega S.A. (Eds), Barcelona, 951 p.
- MARGALEF, R. (1983) - Limnologia. Omega S.A. (Eds), Barcelona, 1010 p.
- MEIER, F.E. (1929) - Recherches expérimentales sur la formation de la carotène chez les algues vertes unicellulaires et sur la production de la gélée chez un *Stichococcus* (*S. mesneteroides*). Bull. Soc. Bot. Genève, 2^eS, 21, 11-197.
- MORTIMER, C.H. (1941-1942) - The exchange of dissolved substances between mud and water in Lakes. Ecology, 29, 280-329 ; 30, 147-201.
- MORTIMER, C.H. (1956) - The oxygen content of air-saturated fresh waters, and aids in calculating percentage saturation. Mitt. Int. Ver. Limnol., 6, 20 p.
- MITCHELL, B.D., WILLIAMS, W.D. (1982) - The performance of tertiary treatment ponds and the role of algae, macrophytes, and zooplankton in the waste treatment process. Canberra, Aust. Water Resour. Counc., 90 p.
- MURAD, J.L., BAZER, G.T. (1970) - J. Wat. Pollut. Control Fed., 42, 105-114.

N

- NAUWERCK, A. (1963) - Die Beziehungen zwischen Zooplankton und Phytoplankton im See Erken. Symb. Bot. Uppsaliens, 17, 1-163.
- NEEL, J.K., HOPKINS, G.J. (1956) - Experimental lagooning of raw sewage. J. Water Poll. Control Fed., 28, 1326.

P

- PACAUD, A. (1933) - Répartition de deux Cladocères communs et teneur des eaux en matière organique dissoute. Bull. Soc. Zool. Fr. Belg., 58, 319-330.
- PACAUD, A. (1939) - Contribution à l'écologie des Cladocères. Bull. Biol., Suppl. 25, 1-260.
- PALISSON, A. (1982) - Lagunage naturel en Lorraine. Commune de Laudrefang. Tome II : Performances et fiabilité du système. S.R.A.E.L.-Q.E., 195.
- PALISSON, A., COLIN, E., CORDA, R. (1981) - Lagunage naturel en Lorraine. Commune de Laudrefang. Tome I : Détermination des temps de séjour dans les bassins. S.R.A.E.L.-Q.E., 153.
- PARENTY, M.-D. (1977) - Variations spatio-temporelles du plancton des bassins de lagunage alimentés par la station d'épuration d'Aniche-Auberchicourt (Nord). D.E.A., Université des Sciences et Techniques de Lille, 65 p.

- PEJLER, B. (1957) - Taxonomical and ecological studies on planktonic rotatoria from Central Sweden. Kungl. Svenska Vetenskapsakad. Handl. Fjarde Serien. Bd 6, n° 7.
- PEJLER, B. (1961) - The zooplankton of Osbysjön, Djursholm. 1. Seasonal and vertical distribution of the species. Oikos, 12, 225-248.
- PIELOU, E.C. (1975) - Ecological diversity. Wiley J. et Sons, 165 p.
- PIELOU, E.C. (1966) - The measurement of diversity in different types of biological collections. J. theor. Biol., 13, 131-144.
- POURRIOT, R. (1965) - Recherches sur l'écologie des Rotifères. Vie et milieu, 21 (Suppl.), 224 p.
- POURRIOT, R., CAPBLANCQ, J., CHAMP, P., MEYER, J.A. (1982) - Ecologie du plancton continental. Masson, 198 p.
- PURUSHOTHAMAN, K. (1970) - Studies on Stabilization Ponds in South India. Proceed. 2nd Internat. Symp. Waste Treatment Lagoons, Missouri Basin engineering Health Council and the U.S. Federal Water Quality Administration, Kansas City, Missouri.

R

- RAMADAN, F.M., KLIMOWICZ, H., SWELIM, A.A. (1963) - The pollutional effect of industrial wastes on Rotifers. Pol. Arch. Hydrobiol., 11, 97-105.
- REYNOLDS, C.S. (1984) - The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, 383 p.
- RUTTNER-KOLISKO, A. (1974) - Plankton Rotifers. Binnengewässer, 26 (1) Suppl. Verl. Schweizerbart. Verl., Stuttgart, 146 p.
- RUTTNER-KOLISKO, A. (1980) - The abundance of distribution of *Filinia terminalis* in various types of lake as related to temperature, oxygen and food. In Rotatoria. Proceed. 2nd Internat. Rotifer Symp. Gent, 17-21 septembre 1979, Dumont H.J., Green J. (Eds).

S

- SAUZE, F. (1973) - Etude du pouvoir autoépurateur dans les étangs de stabilisation d'eau usées. C.E.B.E.D.E.A.U., Avril, 161-177.
- SCHEITHAUER, E., BICK, H. (1964) - Okologische untersuchungen and *Daphnia magna* und *Daphnia pulex* im Freiland und im laboratorium. Sci. Pap. Inst. Chem. Technol. Prague Technology of water, 8, 439-478.
- SCHIEMER, F. (1975) - Nematoda. In Ecological aspects of used-water treatment Vol. 1 : The organisms and their ecology. Curds C.R., Hawkes H.A. (Eds).
- SCHINDLER, D.W. (1968) - Feeding, assimilation and respiration rates of *Daphnia magna* under various environmental conditions and their relation to production estimates. J. Anim. Ecol., 37, 369-385.
- SCHMIDT, G.W. (1968) - Zur Ausnützung der Nahrungstickstoff durch *Daphnia magna* Straus. Ein Beitrag zur Problematik der Sekundärproduktion. Arch. Hydrobiol., 65, 142-186.
- SMET De, W.H.O., EVENS, F.M.J.C. (1972) - A hydrobiological study of the polluted river Lieve. Hydrobiologia, 39, 91-154.
- STANDER, G.J., MEIRING, P.G.J. (1962) - Health aspects of maturation and stabilisation ponds. Pretoria, Council for scientific and industrial Research (Report RW 167).
- STRICKLAND, J.D.H., PARSONS, T.R. (1972 - A practical handbook of sea water analysis. Fisheries Res. Bd Canada, 167, (20 Ed.), 310 p.

T

- TABATA, K. (1962) - Toxicity of ammonia to aquatic animals with reference to the effects of pH and carbon dioxide. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 34, 67-74. (Transl. from Japanese).
- TAYLOR, W.D., BERGER, J. (1975) - Growth responses of cohabiting ciliates protozoa to various prey bacteria. Can. J. Zool., 2, 1111-1114.
- TRAVERS, M. (1971) - Diversité du microplancton du Golfe de Marseille en 1964. Mar. Biol., 8, 308-343.

U

- UHLMANN, D. (1958-1959) - Untersuchungen über die biologische Selbstreinigung hässlichen Abwasser in Teichen. Wiss. Z. Karl-Marx-Univ. Lpz., 8, 17-66.
- UHLMANN, D. (1981) - The limnological background of sewage control for relieving water pollution. Verh. Internat. Verein. Limnol., 21, 71-87.
- UTERMÖHL, H. (1958) - Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Verein. Limnol., 9, 1-38.

V

- VOLLE, M. (1981) - Analyse des données. Collection "Economie et statistiques avancées". Economica, Paris, 317 p.

W

- WALKER, J., LECLERC, H. (1973) - Traitement expérimental d'épuration d'une eau de surface par lagunage : aspects chimiques et microbiologiques. Water Res., 7, 707-728.

- WENINGER, G. (1971a) - Sitz.-Ber. Öst. Akad. d. Wiss., 179, 1-32.
- WENINGER, G. (1971b) - Sitz.-Ber. Öst. Akad. d. Wiss., 179, 129-158.
- WINDLE TAYLOR, E. (1965) - Improvement in quality of a sewage works effluent during passage through a series of lagoons. In Metropolitan Water Board, III, 129.
- WUHRMANN, K., WOKER, H. (1948) - Beiträge zur Toxikologie der Fische. II. Experimentelle Untersuchungen über die Ammoniak- und Blausäurevergiftung. (Contributions to the toxicology of fishes. II. Experimental investigations on ammonia- and hydrocyanic acid poisoning). Schweiz. Z. Hydrol., II, 210-244 (Transl. from German).

	effectif ciliés	effectif Rotifères	effectif Cladocères	effectif cyclopidae	Rhingolena sp.	Epiphanes sp.	Asplanchna sp.	Brachionus uiceolaris	Brachionus rubens
JUN 1976 5001	9270.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUILLET 5002	450.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AOUT 5003	240.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
SEPTEMBRE 5004	15072.0000	144.0000	.0000	.0000	56.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
OCTOBRE 5005	4748.0000	240.0000	.0000	4.0000	76.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
NOVEMBRE 5006	6680.0000	120.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
DECEMBRE 5007	3200.0000	52.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JANVIER 5008	11280.0000	80.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
FEBVRIER 5009	105392.0000	64.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MARS(1) 5010	44224.0000	40.0000	8.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MARS(2) 5011	4560.0000	120.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(1) 5012	3100.0000	250.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(2) 5013	6980.0000	80.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MAI 5014	2720.0000	65.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUN 1977 5015	14750.0000	60.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUN 1976 5016	.0000	2116.0000	758.0000	.0000	.0000	.0000	4.0000	10.0000	.0000
JUILLET 5017	.0000	410.0000	150.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	2.0000	.0000
AOUT 5018	210.0000	170.0000	416.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	20.0000	.0000
SEPTEMBRE 5019	76.0000	568.0000	436.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	140.0000	.0000
OCTOBRE 5020	148.0000	144.0000	60.0000	12.0000	16.0000	.0000	.0000	940.0000	.0000
NOVEMBRE 5021	1200.0000	.0000	8.0000	20.2000	2.0000	.0000	.0000	128.0000	.0000
DECEMBRE 5022	24.0000	24.0000	3.6000	180.8000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JANVIER 5023	102504.0000	464.0000	8.4000	352.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
FEBVRIER 5024	1220.0000	60.0000	8.3000	19.3000	.0000	.0000	.0000	390.0000	.0000
MARS(1) 5025	5568.0000	16.0000	334.6001	16.8000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MARS(2) 5026	160.0000	48.0000	2.9000	38.5000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(1) 5027	72.0000	16.0000	145.8000	29.6000	.0000	.0000	.0000	12.0000	.0000
AVRIL(2) 5028	96.0000	16.0000	67.5000	78.5000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MAI 5029	4.0000	52.0000	98.1000	12.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUN 1977 5030	.0000	5456.0000	1000.0000	36.0000	20.0000	.0000	.0000	48.0000	.0000
JUN 1976 5031	15.0000	125.0000	156.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	500.0000	.0000
JUILLET 5032	12.0000	144.0000	36.0000	132.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AOUT 5033	4.0000	72.0000	32.0000	16.0000	.0000	.0000	.0000	95.0000	.0000
SEPTEMBRE 5034	4.0000	4.0000	50.0000	22.0000	.0000	.0000	.0000	130.0000	.0000
OCTOBRE 5035	24.0000	12.0000	3.9000	22.2000	.0000	.0000	.0000	70.0000	.0000
NOVEMBRE 5036	32.0000	28.0000	3.1000	20.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
DECEMBRE 5037	13196.0000	40.0000	1.1000	20.1000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JANVIER 5038	32.0000	.0000	196.5000	62.1000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
FEBVRIER 5039	.0000	24.0000	693.0000	127.5000	.0000	.0000	.0000	8.0000	.0000
MARS(1) 5040	.0000	4.0000	76.2000	37.6000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MARS(2) 5041	.0000	4.0000	92.0000	102.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(1) 5042	4.0000	20.0000	792.8999	17.7000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(2) 5043	4.0000	40.0000	35.4000	12.2000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MAI 5044	10.0000	3442.0000	16.0000	78.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUN 1977 5045	.0000	280.0000	120.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	48.0000	.0000
JUN 1976 5046	70.0000	175.0000	56.0000	164.0000	.0000	.0000	.0000	250.0000	.0000
JUILLET 5047	44.0000	208.0000	8.0000	12.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AOUT 5048	160.0000	30.0000	2.0000	12.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
SEPTEMBRE 5049	48.0000	16.0000	1.0000	60.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
OCTOBRE 5050	48.0000	24.0000	1.5000	16.9000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
NOVEMBRE 5051	724.0000	68.0000	.9000	49.9000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
DECEMBRE 5052	136.0000	48.0000	59.6000	113.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JANVIER 5053	.0000	0.0000	255.9000	24.2000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
FEBVRIER 5054	40.0000	.0000	100.2000	28.4000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MARS(1) 5055	3.0000	12.0000	50.8000	73.4000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MARS(2) 5056	4.0000	4.0000	27.2000	38.5000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(1) 5057	.0000	72.0000	174.7000	13.2000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(2) 5058	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MAI 5059	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUN 1977 5060	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUN 1976 5061	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUILLET 5062	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AOUT 5063	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
SEPTEMBRE 5064	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
OCTOBRE 5065	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
NOVEMBRE 5066	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
DECEMBRE 5067	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JANVIER 5068	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
FEBVRIER 5069	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MARS(1) 5070	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MARS(2) 5071	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(1) 5072	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(2) 5073	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MAI 5074	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUN 1977 5075	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUN 1976 5076	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUILLET 5077	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AOUT 5078	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
SEPTEMBRE 5079	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
OCTOBRE 5080	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
NOVEMBRE 5081	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
DECEMBRE 5082	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JANVIER 5083	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
FEBVRIER 5084	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MARS(1) 5085	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MARS(2) 5086	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(1) 5087	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(2) 5088	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MAI 5089	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUN 1977 5090	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUN 1976 5091	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUILLET 5092	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AOUT 5093	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
SEPTEMBRE 5094	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000

TABLEAU 1 : TABLEAU DES DONNEES BRUTES

NO₂

NO₃

NH₄

DCO

DBO

O₂

pH

T°

germes
totaux

Date	germes totaux	T°	pH	O ₂	DBO	DCO	NH ₄	NO ₃	NO ₂
JUN 1976 5001	38000.0000	25.5000	7.8500	.0000	30.0000	149.0000	87.5000	.5000	.0500
JUILLET 5002	3200.0000	16.4000	7.7500	1.7000	6.0000	61.0000	14.4000	56.4000	7.8200
AOUT 5003	17000.0000	15.5000	7.4500	.6200	3.8000	38.0000	7.7000	57.7000	2.7600
SEPTEMBRE 5004	19000.0000	17.5000	7.4000	3.8000	3.8000	54.0000	18.0000	20.5000	1.5200
OCTOBRE 5005	760000.0000	12.7000	7.1500	3.6300	20.0000	94.0000	54.9000	5.0000	2.5300
NOVEMBRE 5006	3500000.0000	7.7000	7.5000	.0000	36.0000	134.0000	47.7000	.5000	.1600
DECEMBRE 5007	350000.0000	6.2000	8.5000	.1500	22.5000	119.0000	36.0000	.5000	.5100
JANVIER 5008	200000.0000	2.5000	7.5000	1.0000	18.0000	93.0000	53.1000	.0000	.4600
FEBVIER 5009	150000.0000	8.3000	8.0000	1.1400	53.0000	210.0000	40.5000	.0000	.3400
MARS(1) 5010	32000.0000	9.0000	7.5000	3.3600	33.0000	118.0000	48.6000	.0000	.0400
MARS(2) 5011	530000.0000	5.5000	8.0000	.0500	118.0000	445.0000	162.0000	.0000	.2300
AVRIL(1) 5012	240000.0000	9.9000	7.9000	4.0000	73.0000	285.0000	17.2000	6.2000	.6400
AVRIL(2) 5013	82000.0000	10.7000	8.2000	.0200	43.0000	171.0000	07.0000	.0000	.1400
MAI 5014	310000.0000	13.9000	8.1500	3.4000	27.0000	124.0000	77.4000	.0000	.1400
JUN 1977 5015	1200000.0000	11.5000	7.9000	1.9000	16.3000	105.0000	62.1000	.0000	.1400
JUN 1976 5022	2900.0000	27.2000	7.9000	1.4300	17.0000	104.0000	76.7000	.5000	.0500
JUILLET 5023	460.0000	20.5000	7.8500	.9300	4.0000	65.0000	33.7000	9.3000	2.4400
AOUT 5024	2600.0000	19.1000	7.9000	2.5300	3.6000	52.0000	17.7000	37.8000	4.0000
SEPTEMBRE 5025	2200.0000	17.0000	7.5300	1.3900	4.0000	58.0000	20.7000	12.4000	1.5200
OCTOBRE 5026	11000.0000	11.0000	7.7500	1.0400	4.8000	52.0000	32.4000	2.5000	.8300
NOVEMBRE 5027	640000.0000	5.0000	7.9000	2.0700	3.0000	58.0000	47.7000	3.1000	.1200
DECEMBRE 5028	26000000.0000	3.6000	8.3000	9.9600	5.0000	78.0000	29.7000	5.0000	.1600
JANVIER 5029	280000.0000	.0000	8.3800	10.7000	6.0000	32.0000	20.7000	9.3000	.1400
FEBVIER 5030	4100.0000	5.9000	7.9000	14.0000	14.0000	66.0000	47.3000	.0000	.2200
MARS(1) 5031	3100.0000	8.7000	8.0500	2.3000	6.3000	82.0000	54.9000	.0000	.1400
MARS(2) 5032	5100.0000	6.0000	7.7500	1.1000	43.0000	215.0000	64.8000	.0000	.0900
AVRIL(1) 5033	7800.0000	8.8500	7.9000	1.7500	10.3000	75.0000	58.5000	.0000	.1400
AVRIL(2) 5034	320.0000	11.1000	8.2000	4.8000	5.3000	107.0000	54.0000	.0000	.3200
MAI 5035	37.0000	14.2000	8.2000	1.2000	36.0000	285.0000	51.3000	.0000	.5100
JUN 1977 5036	160.0000	17.2000	8.1000	1.1000	5.0000	67.0000	49.5000	.0000	.7400
JUN 1976 5055	1200.0000	27.0000	8.4000	6.2000	17.0000	97.0000	25.0000	5.0000	.4600
JUILLET 5056	820.0000	21.0000	7.9500	1.2000	3.0000	78.0000	40.0000	1.9000	.3200
AOUT 5057	1900.0000	21.1000	8.2000	4.0900	4.6000	34.0000	33.3000	3.1000	1.7000
SEPTEMBRE 5058	1400.0000	17.0000	7.3000	2.9500	3.5000	66.0000	20.7000	.6000	1.1000
OCTOBRE 5059	150.0000	11.1000	7.6500	6.8500	3.6000	40.0000	22.5000	2.5000	.4100
NOVEMBRE 5060	460.0000	4.8000	8.0000	6.7000	4.6000	45.0000	25.7000	5.0000	.2800
DECEMBRE 5061	4200.0000	3.9000	8.4000	9.4700	3.9000	29.0000	26.1000	8.1000	.1400
JANVIER 5062	4300.0000	.0000	8.2000	8.4000	5.0000	41.0000	16.2000	19.8000	.1800
FEBVIER 5063	11000.0000	6.4000	7.8000	3.5000	11.0000	61.0000	47.3000	3.1000	.2500
MARS(1) 5065	980.0000	9.1000	8.0000	3.2000	4.8000	64.0000	48.6000	3.1000	.1800
MARS(2) 5067	220.0000	7.4000	7.7000	2.1000	51.0000	123.0000	55.8000	.0000	.2800
AVRIL(1) 5068	8.9000	8.9000	7.9000	3.7000	7.8000	71.0000	58.5000	.0000	.2800
AVRIL(2) 5069	390.0000	12.4000	8.2000	4.4000	4.4000	66.0000	50.0000	3.1000	.6900
MAI 5070	110.0000	14.2000	8.3000	6.0000	5.0000	62.0000	49.5000	6.8000	1.1000
JUN 1977 5071	3200.0000	18.2000	8.2000	3.5000	4.0000	53.0000	44.0000	2.5000	1.1500
JUN 1976 5078	2400.0000	26.3000	8.3000	3.6000	25.0000	106.0000	22.1000	3.7000	.4600
JUILLET 5079	310.0000	20.8000	8.0000	1.4600	3.0000	67.0000	39.1000	1.9000	.2800
AOUT 5080	9000.0000	21.8000	8.2000	3.5000	3.0000	71.0000	35.1000	.6000	.7800
SEPTEMBRE 5081	8200.0000	17.0000	7.5500	2.1200	5.0000	54.0000	20.7000	.5000	1.5200
OCTOBRE 5082	150.0000	11.5000	7.8500	2.4700	5.4000	44.0000	18.9000	3.1000	.4600
NOVEMBRE 5083	590.0000	5.1000	8.0000	5.9000	3.7000	31.0000	32.9000	3.1000	.2000
DECEMBRE 5084	3100.0000	3.9000	8.4000	10.1000	4.6000	45.0000	25.2000	9.9000	.1400
JANVIER 5085	510.0000	1.0000	7.7000	9.0000	5.0000	48.0000	16.2000	20.5000	.1800
FEBVIER 5086	610.0000	6.1000	8.0000	6.8000	7.0000	48.0000	3.8000	9.9000	.2700
MARS(1) 5088	1000.0000	9.7000	8.0000	2.5000	9.0000	57.0000	47.7000	5.0000	.1400
MARS(2) 5090	320.0000	7.2000	7.7000	2.6000	5.6000	57.0000	52.2000	3.7000	.3700
AVRIL(1) 5091	310.0000	8.8500	7.9500	3.7000	6.6000	73.0000	54.9000	3.7000	.6900
AVRIL(2) 5092	280.0000	12.0000	8.1500	4.6000	4.4000	35.0000	50.0000	7.4000	1.2000
MAI 5093	920.0000	14.5000	8.3000	7.2000	6.0000	64.0000	49.5000	7.4000	.6900
JUN 1977 5094	180.0000	18.7000	8.1500	3.1000	5.0000	61.0000	44.1000	3.7000	1.2400

TABLEAU 3 : TABLEAU DES DONNEES BRUTES (SUITE)

	PO ₄	rapport NO ₃ /PO ₄	Chl.a	Caroténoïdes indice de maturité	MES	Cl1	SO ₄
JUN 1976 5001	23.6000	.0200	58.9000	2.7000	16.0000	256.0000	202.0000
JUILLET 5002	15.8000	3.5700	16.6000	3.2000	2.0000	190.0000	209.0000
AOUT 5003	16.1000	3.5800	14.8000	2.4000	22.0000	226.0000	226.0000
SEPTEMBRE 5004	38.7000	.5300	3.1000	3.3000	11.0000	144.0000	193.0000
OCTOBRE 5005	21.1000	.2400	8.5000	5.1000	11.0000	126.0000	110.0000
NOVEMBRE 5006	34.1000	.0100	.0000	.0000	45.0000	165.0000	149.0000
DECEMBRE 5007	23.2000	.0200	3.1000	11.0000	31.0000	95.0000	163.0000
JANVIER 5008	29.4000	.0000	.6000	25.0000	21.0000	160.0000	192.0000
FEBVIER 5009	26.3000	.0000	2.6000	5.8000	163.0000	140.0000	124.0000
MARS(1) 5010	31.0000	.0000	9.2000	5.9000	3.1400	124.0000	235.0000
MARS(2) 5011	45.0000	.0000	15.4000	11.4000	158.0000	200.0000	149.0000
AVRIL(1) 5012	26.3500	.2400	11.6000	6.8000	474.0000	82.0000	158.0000
AVRIL(2) 5013	34.0000	.0000	6.3000	5.1100	41.0000	190.0000	206.0000
MAI 5014	23.2000	.0000	11.6000	6.8000	12.7000	146.0000	346.0000
JUN 1977 5015	32.6000	.0000	11.6000	6.8000	36.0000	190.0000	226.0000
JUL 1976 5022	13.6000	.0400	66.9000	2.4000	24.0000	214.0000	226.0000
JUILLET 5023	13.0000	.7200	22.3000	5.4000	8.0000	162.0000	154.0000
AOUT 5024	14.1000	2.6800	7.9000	4.5000	21.0000	218.0000	226.0000
SEPTEMBRE 5025	19.5000	.6400	3.3000	5.5000	17.0000	132.0000	206.0000
OCTOBRE 5026	21.1000	.1200	9.3000	6.5000	6.0000	138.0000	120.0000
NOVEMBRE 5027	24.8000	.1300	.0000	.0000	8.0000	165.0000	154.0000
DECEMBRE 5028	17.0000	.2000	5.0000	5.1000	44.0000	137.0000	187.0000
JANVIER 5029	10.8000	.8600	4.9000	8.6000	4.0000	123.0000	163.0000
FEBVIER 5030	25.7000	.0000	16.1000	2.4000	20.0000	140.0000	187.0000
MARS(1) 5031	27.9000	.0000	4.6000	3.2000	24.0000	150.0000	240.0000
MARS(2) 5032	29.4000	.0000	2.4000	5.4000	12.0000	142.0000	173.0000
AVRIL(1) 5033	28.8000	.0000	12.0000	4.4000	13.0000	130.0000	168.0000
AVRIL(2) 5034	26.0000	.0000	1.8000	5.2000	9.0000	154.0000	221.0000
MAI 5035	23.2000	.0000	12.0000	4.4000	7.0000	146.0000	259.0000
JUN 1977 5036	21.7000	.0000	12.0000	4.4000	31.0000	150.0000	257.0000
JUN 1976 5055	3.7000	1.3500	85.8000	4.1100	8.0000	214.0000	293.0000
JUILLET 5056	8.4000	.2300	34.4000	40.8000	7.0000	220.0000	182.0000
AOUT 5057	8.2000	.3800	13.9000	10.2000	59.0000	190.0000	235.0000
SEPTEMBRE 5058	9.6000	.0600	10.5000	5.7000	29.0000	176.0000	286.0000
OCTOBRE 5059	12.9000	.1900	9.7000	6.0000	23.0000	154.0000	156.0000
NOVEMBRE 5060	15.5000	.3200	3.7000	5.0000	32.0000	150.0000	144.0000
DECEMBRE 5061	15.5000	.5200	7.5000	3.7000	55.0000	137.0000	192.0000
JANVIER 5062	10.8000	1.8300	10.9000	4.4000	96.0000	123.0000	166.0000
FEBVIER 5063	25.7000	.1200	18.0000	6.4000	12.0000	136.0000	214.0000
MARS(1) 5065	26.3000	.1200	4.8000	5.0000	32.0000	147.0000	235.0000
MARS(2) 5067	27.9000	.0000	2.7000	4.0000	23.0000	139.0000	173.0000
AVRIL(1) 5068	28.8000	.0000	16.4000	11.9000	11.0000	143.0000	182.0000
AVRIL(2) 5069	25.0000	.1200	1.9000	4.4000	11.0000	137.0000	206.0000
MAI 5070	23.2000	.6700	16.4000	4.3000	7.0000	146.0000	259.0000
JUN 1977 5071	20.1000	.1200	16.4000	4.3000	5.0000	147.0000	251.0000
JUN 1976 5078	3.4000	1.0900	152.0000	67.2000	10.0000	214.0000	293.0000
JUILLET 5079	8.1000	.2300	23.9000	20.6000	15.0000	230.0000	161.0000
AOUT 5080	7.0000	.0900	22.9000	16.5000	73.0000	230.0000	245.0000
SEPTEMBRE 5081	7.9000	.0600	13.6000	6.3000	9.0000	186.0000	232.0000
OCTOBRE 5082	9.5000	.3300	21.3000	27.2000	31.0000	166.0000	166.0000
NOVEMBRE 5083	18.6000	.1700	3.7000	2.8000	17.0000	145.0000	144.0000
DECEMBRE 5084	13.9000	.7100	4.6000	4.2000	72.0000	137.0000	187.0000
JANVIER 5085	10.8000	1.9000	14.7000	4.0000	104.0000	123.0000	139.0000
FEBVIER 5086	20.1000	.4900	12.0000	2.6000	8.0000	140.0000	173.0000
MARS(1) 5088	24.8000	.2000	5.5000	4.5000	37.0000	143.0000	235.0000
MARS(2) 5090	26.4000	.0000	3.6000	6.2000	36.0000	139.0000	149.0000
AVRIL(1) 5091	27.9000	.1300	22.5000	4.0000	17.0000	137.0000	182.0000
AVRIL(2) 5092	25.0000	.1500	2.6000	3.7000	12.0000	143.0000	204.0000
MAI 5093	23.2000	.7300	22.5000	4.0000	10.0000	146.0000	250.0000
JUN 1977 5094	20.1000	.1800	22.5000	4.0000	14.0000	147.0000	251.0000

TABLEAU 4 : TABLEAU DES DONNEES BRUTES (SUITE)

	oxytrichidae	<i>Astrolozoon</i>	<i>Telotrochidium</i>	<i>Monodinium</i>	vorticellidae	<i>Paramecium</i>	<i>Chilodoneella</i>	<i>Colpidium</i>	<i>Euploates</i>
	sp.						sp.	sp.	sp.
JUN 1976 5001	.0000	.0000	.0000	.0000	9240.0000	30.0000	.0000	.0000	.0000
JUILLET 5002	.0000	.0000	.0000	.0000	450.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AOUT 5003	.0000	.0000	.0000	.0000	180.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
SEPTEMBRE 5004	.0000	.0000	.0000	.0000	12680.0000	2186.0000	.0000	.0000	148.0000
OCTOBRE 5005	.0000	.0000	.0000	.0000	4532.0000	100.0000	.0000	.0000	.0000
NOVEMBRE 5006	.0000	.0000	.0000	.0000	6680.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
DECEMBRE 5007	.0000	.0000	1496.0000	60.0000	1420.0000	40.0000	.0000	.0000	172.0000
JANVIER 5008	.0000	.0000	2740.0000	40.0000	8140.0000	160.0000	40.0000	40.0000	120.0000
FEBVIER 5009	.0000	.0000	1120.0000	.0000	104240.0000	16.0000	.0000	.0000	16.0000
MARS(1) 5010	.0000	.0000	3900.0000	.0000	40300.0000	8.0000	.0000	16.0000	.0000
MARS(2) 5011	.0000	.0000	.0000	.0000	4560.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(1) 5012	.0000	.0000	.0000	.0000	2800.0000	300.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(2) 5013	.0000	.0000	.0000	10.0000	6300.0000	630.0000	.0000	.0000	40.0000
MAI 5014	.0000	.0000	.0000	.0000	2550.0000	.0000	.0000	.0000	30.0000
JUN 1977 5015	.0000	.0000	.0000	.0000	13700.0000	1030.0000	.0000	.0000	20.0000
JUN 1976 5022	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUILLET 5023	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AOUT 5024	.0000	.0000	.0000	.0000	50.0000	160.0000	.0000	.0000	.0000
SEPTEMBRE 5025	.0000	.0000	.0000	.0000	36.0000	16.0000	.0000	.0000	24.0000
OCTOBRE 5026	.0000	.0000	.0000	.0000	120.0000	24.0000	.0000	.0000	4.0000
NOVEMBRE 5027	.0000	.0000	.0000	.0000	1076.0000	92.0000	.0000	.0000	16.0000
DECEMBRE 5028	.0000	.0000	.0000	.0000	36.0000	8.0000	.0000	.0000	8.0000
JANVIER 5029	.0000	.0000	.0000	.0000	20.0000	4.0000	.0000	.0000	.0000
FEBVIER 5030	.0000	10720.0000	272.0000	104.0000	17040.0000	368.0000	.0000	.0000	73200.0000
MARS(1) 5031	.0000	90.0000	80.0000	.0000	850.0000	110.0000	.0000	.0000	90.0000
MARS(2) 5032	.0000	1008.0000	.0000	.0000	4544.0000	16.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(1) 5033	.0000	100.0000	4.0000	.0000	56.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(2) 5034	.0000	16.0000	.0000	.0000	40.0000	8.0000	.0000	.0000	.0000
MAI 5035	.0000	24.0000	.0000	.0000	24.0000	32.0000	.0000	.0000	.0000
JUN 1977 5036	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUN 1976 5035	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUILLET 5036	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AOUT 5037	.0000	.0000	.0000	.0000	15.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
SEPTEMBRE 5038	.0000	.0000	.0000	.0000	4.0000	8.0000	.0000	.0000	.0000
OCTOBRE 5039	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
NOVEMBRE 5040	.0000	.0000	.0000	.0000	4.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
DECEMBRE 5041	.0000	.0000	.0000	.0000	16.0000	.0000	.0000	.0000	8.0000
JANVIER 5042	.0000	.0000	.0000	.0000	12.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
FEBVIER 5043	.0000	7628.0000	208.0000	184.0000	4020.0000	20.0000	.0000	.0000	1092.0000
MARS(1) 5045	.0000	.0000	.0000	.0000	32.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MARS(2) 5047	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(1) 5048	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(2) 5049	.0000	.0000	.0000	.0000	4.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MAI 5070	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUN 1977 5071	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	10.0000	.0000	.0000	4.0000
JUN 1976 5078	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
JUILLET 5079	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AOUT 5080	5.0000	.0000	.0000	.0000	40.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
SEPTEMBRE 5081	.0000	.0000	.0000	.0000	12.0000	.0000	.0000	.0000	32.0000
OCTOBRE 5082	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
NOVEMBRE 5083	.0000	.0000	.0000	.0000	150.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
DECEMBRE 5084	.0000	.0000	.0000	.0000	36.0000	.0000	.0000	.0000	4.0000
JANVIER 5085	.0000	.0000	.0000	.0000	24.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
FEBVIER 5086	.0000	104.0000	16.0000	.0000	244.0000	.0000	.0000	.0000	304.0000
MARS(1) 5088	.0000	.0000	8.0000	.0000	112.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MARS(2) 5090	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(1) 5091	.0000	.0000	.0000	.0000	40.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
AVRIL(2) 5092	.0000	3.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
MAI 5093	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	4.0000
JUN 1977 5094	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000

TABLEAU 5 : TABLEAU DES DONNEES BRUTES (SUITE)

	acinetidae	nematodes	Amoeba	biomasse ciliés	biomasse Rotifères	biomasse Cladocères	biomasse Copépodes
5101	.0000	570.0000	.0000	.2200	.0000	.0000	.0000
5102	.0000	70.0000	10.0000	.0100	.0000	.0000	.0000
5103	.0000	270.0000	.0000	.0100	.0000	.0000	.0000
5104	30.0000	832.0000	.0000	.4790	.2200	.0000	.0000
5105	80.0000	.0000	.0000	.1220	.3600	.0000	.0170
5106	.0000	1760.0000	.0000	.1600	.1800	.0000	.0000
5107	.0000	164.0000	.0000	.1240	.0780	.1400	.0050
5108	.0000	220.0000	.0000	.3400	.0960	.0000	.0110
5109	.0000	1280.0000	.0000	2.5600	.1050	.0000	.0000
5110	.0000	840.0000	.0000	1.1600	.0370	2.5600	.0000
5111	.0000	1340.0000	.0000	.1100	.1510	.0000	.0000
5112	.0000	800.0000	.0000	.0900	.3160	.0000	.0000
5113	.0000	1700.0000	.0000	.2000	.1200	.0000	.0000
5114	.0000	1300.0000	.0700	.0700	.0980	.0000	.0000
5115	.0000	1800.0000	15.0000	.4100	.0920	.0000	.0000
5322	.0000	.0000	.0000	.0000	4.5200	136.7200	.0000
5323	.0000	.0000	.0000	.0000	1.0200	578.3999	.0000
5324	.0000	.0000	.0000	.0130	.3500	7488.0000	.0000
5325	.0000	12.0000	.0000	.0030	1.3700	7211.0000	.0000
5326	.0000	32.0000	.0000	.0050	.3300	726.3999	.0500
5327	.0000	4.0000	.0000	.0340	.0000	74.0400	.0090
5328	.0000	8.0000	.0000	.0030	.0100	149.8000	.9820
5329	.0000	8.0000	.0000	.0010	.0400	55.9600	.1600
5330	.0000	32.0000	.0000	4.6390	.3000	7.2000	1.1120
5331	.0000	20.0000	.0000	.0390	.0440	4.4200	1.1790
5332	.0000	.0000	.0000	.1280	.0120	5141.9688	.4850
5333	.0000	.0000	.0000	.0030	.0600	8.0000	.5480
5334	.0000	.0000	.0000	.0020	.0090	550.5000	.2930
5335	.0000	8.0000	.0000	.0040	.0050	110.8400	.3960
5336	.0000	4.0000	.0000	.0001	.1200	561.1899	.0670
5755	.0000	.0000	.0000	.0000	13.6500	325.0000	1.1000
5756	.0000	.0000	.0000	.0000	1.1900	22486.0000	.0000
5757	.0000	15.0000	.0000	.0004	.2400	2666.0000	.0000
5758	.0000	.0000	.0000	.0070	.3300	648.0000	.9500
5759	.0000	2.0000	.0000	.0010	.1700	576.0000	.2640
5760	.0000	4.0000	.0000	.0010	.0000	582.0000	.2800
5761	.0000	4.0000	.0000	.0010	.0200	12.8100	.6700
5762	.0000	.0000	.0000	.0010	.0500	12.0000	.5800
5763	.0000	16.0000	.0000	.3200	.0300	.0300	.1360
5765	.0000	.0000	.0000	.0010	.0450	124.1000	1.7800
5767	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	1896.0000	2.8400
5768	.0000	.0000	.0000	.0000	.0400	237.0000	1.4000
5769	.0000	.0000	.0000	.0000	.0030	124.5000	.7600
5770	.0000	.0000	.0000	.0001	.0260	6185.0000	.1400
5771	.0000	.0000	.0000	.0002	.0830	128.0000	.1840
5978	.0000	.0000	.0000	.0008	2.9700	3.8000	.8200
5979	.0000	.0000	.0000	.0000	.6900	1276.0000	.0000
5980	.0000	.0000	.0000	.0024	.0800	504.0000	.0000
5981	.0000	4.0000	.0000	.0020	.3600	1008.0000	.7000
5982	.0000	4.0000	.0000	.0000	.0800	144.0000	.2400
5983	.0000	30.0000	.0000	.0040	.0400	36.0000	.0500
5984	.0000	.0000	.0000	.0020	.0200	1.8000	.0200
5985	.0000	.0000	.0000	.0020	.0200	.4300	.1200
5986	.0000	12.0000	.0000	.0280	.1000	.2600	.3200
5988	.0000	.0000	.0000	.0040	.0600	95.0000	.7500
5990	.0000	.0000	.0000	.0000	.0100	185.8000	.5000
5991	.0000	.0000	.0000	.0010	.0000	114.0000	.6700
5992	.0000	.0000	.0000	.0001	.0100	42.0000	.4700
5993	.0000	.0000	.0000	.0002	.0060	22.7000	.2500
5994	.0000	.0000	.0000	.0000	.1700	1177.0000	.2500

TABLEAU 6 : TABLEAU DES DONNEES BRUTES (SUITE)

TABLEAU 8 ;

C O R R E L A T I O N S

	I	3	7	9	T
1- COLIFORME-E.COLI	0.79 ●	0.86 ●	0.84 ●	0.80 ●	0.92 ●
2- -GERMES TOTAUX	0.36	0.49	0.60 ●	0.36	0.73 ●
3- GERMES TOTAUX- E.COLI	0.68 ●	0.34	0.39	0.26	0.70 ●
4- T°-COLIFORME	-0.18	-0.31	-0.68 ●	-0.013	-0.24
5- -E.COLI	-0.39	-0.24	-0.65 ●	0.18	-0.21
6- -GERMES TOTAUX	-0.53 ●	-0.61 ●	-0.21	0.29	-0.27 ●
7- pH-COLIFORME	-0.018	-0.31	-0.003	0.11	-0.26 ●
8- -E.COLI	0.17	-0.23	0.32	0.48	-0.10
9- -GERMES TOTAUX	0.13	0.22	0.092	0.43	-0.11
10- -T°	-0.16	-0.38	0.10	0.36	0.0017
11- O ₂ -COLIFORME	0.11	-0.17	0.36	0.26	-0.30 ●
12- -E.COLI	0.11	-0.27	0.54 ●	0.30	-0.27 ●
13- -GERMES TOTAUX	0.045	0.68 ●	0.18	0.13	-0.099
14- -T°	-0.012	-0.60 ●	-0.41	-0.61 ●	-0.39 ●
15- -pH	-0.22	0.72 ●	0.49	0.32	0.42 ●
16- DBO-COLIFORME	-0.076	-0.01	-0.13	0.59 ●	0.38 ●
17- -E.COLI	0.23	0.11	-0.075	0.64 ●	0.46 ●
18- -GERMES TOTAUX	0.37	-0.30	-0.18	0.24	0.40 ●
19- -T°	-0.40	-0.036	-0.082	0.45	-0.13
20- -pH	0.35	-0.056	-0.20	0.29	-0.045
21- -O ₂	0.00012	-0.26	-0.29	-0.11	-0.32 ●
22- DCO-COLIFORME	-0.078	-0.15	-0.32	0.36	0.34 ●
23- -E.COLI	0.21	0.064	-0.36	0.49	0.43 ●
24- -GERMES TOTAUX	0.36	-0.41	-0.29	0.29	0.32 ●
25- -T°	-0.36	0.058	0.28	0.69 ●	-0.04
26- -pH	0.39	0.098	-0.24	0.32	0.019
27- -O ₂	-0.021	-0.28	-0.58 ●	-0.36	-0.37 ●
28- -DBO	0.99 ●	0.90 ●	0.78 ●	0.76 ●	0.94 ●
29- NH ₄ -COLIFORME	0.094	0.41	-0.13	-0.55 ●	0.24
30- -E.COLI	0.32	0.48	-0.20	-0.28	0.33 ●
31- -GERMES TOTAUX	0.38	-0.29	-0.34	-0.28	0.22
32- -T°	-0.16	0.17	-0.0038	0.12	-0.015
33- -pH	0.31	-0.030	0.0011	0.17	0.065
34- -O ₂	-0.28	-0.40	-0.60 ●	-0.34	-0.40 ●
35- -DBO	0.67 ●	0.53 ●	0.36	-0.18	0.61 ●
36- -DCO	0.68 ●	0.48	0.48	0.14	0.64 ●

	I	3	7	9	T
37- NO ₃ -COLIFORME	-0.13	-0.41	0.48	0.30	0.10
38- -E.COLI	-0.56●	-0.37	0.65●	0.14	-0.05
39- -GERMES TOTAUX	-0.70●	0.056	0.38	-0.084	-0.024
40- -T°	0.39	0.26	-0.44	-0.58●	0.069
41- -pH	-0.31	-0.15	0.48	-0.032	-0.19
42- -O ₂	-0.056	0.085	0.71●	0.80●	0.065
43- -DBO	-0.44	-0.33	-0.24	-0.039	-0.23
44- -DCO	-0.43	-0.33	-0.42	-0.22	-0.25●
45- -NH ₄	-0.54●	-0.69●	-0.52●	-0.43	-0.46●
46- NO ₂ -COLIFORME	-0.047	-0.51●	-0.56●	-0.41	0.011
47- -E.COLI	-0.56●	-0.36	-0.59●	-0.34	-0.13
48- -GERMES TOTAUX	-0.60●	-0.27	-0.19	0.27	-0.066
49- -T°	0.31	0.50	0.59●	0.52●	0.33●
50- -pH	-0.28	-0.31	0.068	0.18	-0.24
51- -O ₂	0.092	-0.24	-0.20	-0.26	-0.17
52- -DBO	-0.40	-0.30	-0.27	-0.082	-0.18
53- -DCO	-0.38	-0.24	-0.23	0.10	-0.17
54- -NH ₄	-0.45	-0.60●	-0.031	0.13	-0.31●
55- -NO ₃	0.84●	0.89●	-0.20	-0.33	0.76●
56- PO ₄ -COLIFORME	-0.0077	0.49	0.23	0.39	0.43●
57- -E.COLI	0.16	0.60●	0.10	-0.28	0.45●
58- -GERMES TOTAUX	0.38	-0.19	-0.26	-0.48	0.31●
59- -T°	-0.37	-0.36	-0.48	-0.48	-0.39●
60- -pH	0.057	-0.19	-0.11	-0.015	-0.20
61- -O ₂	-0.28	-0.37	-0.28	0.073	-0.39●
62- -DBO	0.55●	0.36	0.30	-0.30	0.51●
63- -DCO	0.54●	0.37	0.24	-0.29	0.49●
64- -NH ₄	0.58●	0.54●	0.83●	0.64●	0.62●
65- -NO ₃	-0.53●	-0.55●	-0.29	-0.024	-0.22
66- -NO ₂	-0.55●	-0.47	-0.25	-0.10	-0.20
67- N/P-COLIFORME	-0.089	-0.46	0.23	0.46	0.033
68- -E.COLI	-0.50	-0.41	0.43	0.37	-0.078
69- -GERMES TOTAUX	-0.67●	0.051	0.31	0.056	-0.071
70- -T°	0.35	0.23	-0.042	-0.23	0.12
71- -pH	-0.26	-0.072	0.54●	0.032	-0.062
72- -O ₂	-0.059	0.13	0.63●	0.64●	0.17
73- -DBO	-0.41	-0.31	-0.093	0.34	-0.22
74- -DCO	-0.40	-0.33	-0.14	0.14	-0.25●
75- -NH ₄	-0.50	-0.68●	-0.56●	-0.47	-0.48●

TABLEAU 9

	I	3	7	9	T
76- N/P-NO ₃	0.99 ●	0.99 ●	0.87 ●	0.86 ●	0.95 ●
77- -NO ₂	0.84 ●	0.87 ●	-0.11	-0.24	0.70 ●
78- -PO ₄	-0.59 ●	-0.58 ●	-0.52 ●	-0.35	-0.38 ●
79-CHLOROPHYLLE A-COLIFORME	-0.019	0.025	-0.17	0.47	-0.03
80- -E.COLI	0.011	-0.025	-0.098	0.60 ●	0.01
81- -GERMES TOTAUX	-0.31	-0.21	0.12	0.22	-0.13
82- -T°	0.75 ●	0.68 ●	0.67 ●	0.63 ●	0.62 ●
83- -pH	0.067	-0.12	0.32	0.31	0.20
84- -O ₂	-0.12	-0.24	0.0073	-0.16	-0.034
85- -DBO	0.038	0.12	0.055	0.93 ●	0.046
86- -DCO	0.086	0.033	0.37	0.80 ●	0.047
87- -NH ₄	0.28	0.47	-0.19	-0.21	-0.007
88- -NO ₃	0.074	-0.13	0.0018	-0.089	-0.035
89- -NO ₂	0.038	-0.049	0.0023	0.038	-0.025
90- -PO ₄	-0.24	-0.39	-0.53 ●	-0.50	-0.44 ●
91- -N/P	0.10	-0.11	0.46	0.36	0.15
92- CAROTENOIDES-COLIFORME	0.013	-0.29	-0.26	0.51 ●	0.0017
93- -E.COLI	0.15	-0.19	-0.11	0.60 ●	0.08
94- -GERMES TOTAUX	0.15	-0.30	-0.017	0.12	-0.035
95- -T°	0.028	0.72 ●	0.68 ●	0.64 ●	0.51 ●
96- -pH	0.26	-0.18	0.22	0.20	0.16
97- -O ₂	-0.19	-0.29	-0.15	-0.21	-0.15
98- -DBO	0.74 ●	-0.060	-0.043	0.84 ●	0.34 ●
99- -DCO	0.78 ●	-0.094	0.32	0.76 ●	0.35 ●
100- -NH ₄	0.83 ●	0.038	-0.15	-0.23	0.28 ●
101- -NO ₃	-0.19	0.20	-0.042	-0.10	-0.075
102- -NO ₂	-0.14	0.42	-0.037	-0.002	-0.01
103- -PO ₄	0.39	-0.62 ●	-0.58 ●	-0.59 ●	-0.27 ●
104- -N/P	-0.16	0.24	0.34	0.36	0.092
105- -CHLOROPHYLLE A	0.48	0.76 ●	0.87 ●	0.96 ●	0.79 ●
106- INDICE DE-COLIFORME MATUREITE	0.11	-0.62 ●	-0.24	-0.24	0.18
107- -E.COLI	0.28	-0.56 ●	0.028	-0.18	0.25 ●
108- -GERMES TOTAUX	0.21	-0.0053	-0.66 ●	-0.53 ●	0.24
109- -T°	-0.62 ●	-0.16	-0.35	-0.31	-0.31 ●
110- -pH	0.17	0.21	-0.26	-0.48	-0.044
111- -O ₂	-0.064	0.41	-0.072	-0.22	-0.11
112- -DBO	0.17	-0.011	0.49	-0.46	0.30 ●
113- -DCO	0.20	-0.048	0.24	-0.30	0.28 ●
114- NH ₄	0.22	-0.50	0.21	0.44	0.23

TABLEAU 10

	I	3	7	9	T
I15- INDICE DE-MATURITE-NO ₃	-0.32	0.19	-0.12	-0.20	-0.16
I16- -NO ₂	-0.23	0.16	-0.24	-0.35	-0.094
I17- -PO ₄	0.16	-0.37	0.34	0.29	0.24
I18- -N/P	-0.30	0.23	-0.26	-0.27	-0.17
I19- -CHLOROPHYLLE A	-0.28	-0.25	-0.51●	-0.45	-0.23
I20- -CAROTENOIDES	0.099	0.11	-0.30	-0.29	0.0066
I21- MES-COLIFORME	-0.037	-0.19	0.29	0.23	0.22
I22- -E.COLI	0.17	-0.41	0.42	0.051	0.25●
I23- -GERMES TOTAUX	0.18	0.51●	0.50	0.24	0.31●
I24- -T°	-0.26	-0.35	-0.49	-0.40	-0.22
I25- -pH	0.19	0.61●	0.15	-0.13	0.032
I26- -O ₂	0.47	0.81●	0.54●	0.48	0.14
I27- -DBO	0.65●	-0.24	-0.12	-0.20	0.57●
I28- -DCO	0.65●	-0.36	-0.51●	-0.14	0.50●
I29- -NH ₄	-0.044	-0.34	-0.57●	-0.21	-0.0052
I30- -NO ₃	-0.19	0.14	0.74●	0.57●	-0.022
I31- -NO ₂	-0.22	-0.17	-0.07	-0.37	-0.13
I32- -PO ₄	0.14	-0.51●	-0.32	-0.26	0.13
I33- -N/P	-0.20	0.20	0.55●	0.52●	-0.027
I34- -CHLOROPHYLLE A	-0.065	-0.0059	-0.30	-0.21	-0.10
I35- -CAROTENOIDES	0.19	-0.10	-0.31	-0.13	0.058
I36- -INDICE DE MATURITE	0.071	0.41	0.045	0.17	0.18
I37- C1-COLIFORME	-0.06	-0.098	-0.59●	0.14	-0.068
I38- -E.COLI	-0.15	-0.0009	-0.51●	0.22	-0.056
I39- -GERMES TOTAUX	-0.28	-0.19	-0.0001	0.44	-0.033
I40- -T°	0.51●	0.69●	0.86●	0.84●	0.68●
I41- -pH	-0.086	-0.15	0.021	0.20	-0.027
I42- -O ₂	-0.59●	-0.30	-0.33	-0.53●	-0.36●
I43- -DBO	-0.084	-0.0065	-0.092	0.29	-0.015
I44- -DCO	-0.055	-0.039	0.25	0.54●	0.031
I45- -NH ₄	0.35	0.17	-0.24	-0.11	0.16
I46- -NO ₃	0.32	0.50	-0.31	-0.51●	0.18
I47- -NO ₂	0.14	0.50	0.31	0.21	0.22
I48- -PO ₄	-0.0091	-0.37	-0.7●	-0.72●	-0.33●
I49- -N/P	0.35	0.50	0.066	-0.18	0.25●
I50- -CHLOROPHYLLE A	0.63●	0.57●	0.69●	0.50	0.51●
I51- -CAROTENOIDES	0.38	0.51●	0.81●	0.56●	0.53●
I52- -INDICE DE MATURITE	-0.19	-0.43	-0.34	-0.19	-0.18
I53- -MES	-0.46	-0.18	-0.28	-0.13	-0.29●
I54- SO ₄ -COLIFORME	0.071	-0.38	-0.32	0.19	-0.16
I55- -E.COLI	0.039	-0.31	-0.47	0.30	-0.14

TABLEAU 11

	I	3	7	9	T
I56- SO_4 -GERMES TOTAUX	: -0.28	: -0.52●	: 0.08I	: 0.48	: -0.20
I57- $-\text{T}^\circ$: 0.30	: 0.42	: 0.67●	: 0.74●	: 0.53●
I58- $-\text{pH}$: 0.20	: 0.30	: 0.12	: 0.62●	: 0.30●
I59- $-\text{O}_2$: 0.18	: -0.14	: -0.21	: -0.23	: -0.034
I60- $-\text{DBO}$: -0.33	: 0.18	: -0.11	: 0.59●	: -0.15
I61- $-\text{DCO}$: -0.33	: 0.38	: 0.19	: 0.66●	: -0.065
I62- $-\text{NH}_4$: 0.013	: 0.25	: 0.0059	: 0.14	: 0.030
I63- $-\text{NO}_3$: 0.14	: 0.047	: -0.18	: -0.28	: 0.0073
I64- $-\text{NO}_2$: -0.02	: 0.076	: 0.58●	: 0.58●	: 0.084
I65- $-\text{PO}_4$: -0.18	: 0.067	: -0.21	: 0.19	: -0.18
I66- $-\text{N/P}$: 0.15	: 0.040	: 0.095	: -0.043	: 0.077
I67- $-\text{CHLOROPHYLLE A}$: 0.17	: 0.17	: 0.49	: 0.58●	: 0.38●
I68- $-\text{CAROTENOIDES}$: -0.12	: -0.086	: 0.25	: 0.50	: 0.15
I69- $-\text{INDICE DE MATURITE}$: -0.096	: -0.21	: -0.59●	: -0.57●	: -0.20
I70- $-\text{MES}$: -0.29	: 0.071	: -0.29	: -0.28	: -0.23
I71- $-\text{Cl}$: 0.22	: 0.33	: 0.40	: 0.40	: 0.31●

TABLEAU 12

VALEURS PROPRES
=====

NUM ITER	VAL PROPRE	POURCENT	CUMUL	%	HISTOGRAMME DES VALEURS PROPRES DE LA MATRICE
1	0	25.018	25.018	1	*****
2	1	17.097	42.115	1	*****
3	1	13.096	55.211	1	*****
4	1	9.449	64.660	1	*****
5	1	7.092	71.752	1	*****
6	1	5.375	77.127	1	*****
7	2	4.955	82.082	1	*****
8	2	4.483	86.565	1	*****
9	2	3.183	89.748	1	*****
10	1	2.431	92.179	1	*****
11	2	2.066	94.245	1	*****
12	2	1.393	95.838	1	*****
13	2	1.139	97.000	1	*****
14	2	.657	97.657	1	*****
15	4	.608	98.265	1	*****
16	3	.401	98.666	1	*****
17	2	.351	99.017	1	*****
18	2	.236	99.253	1	*****
19	1	.070	100.000	1	*****

IVAR	1#	FACTEUR	CIA	CTR	ULT	2#	FACTEUR	CIA	CTR	ULT	3#	FACTEUR	CIA	CTR	ULT	4#	FACTEUR	CIA	CTR	ULT	5#	FACTEUR	CIA	CTR	ULT
COL1	-	.5639E+00	67	318	318	.5595E-01	1	3	321	4891	-.4094E+00	67	168	4891	.6358E-02	0	0	4891	0	0	4891	-.5651E+00	237	319	8081
SEC	-	.5338E+00	72	341	341	.4505E-01	1	2	343	4731	-.3603E+00	52	130	4731	.1421E+00	11	20	4931	11	20	4931	-.6365E+00	303	408	9001
B37	-	.4932E-01	1	2	2	.2004E+00	12	40	431	721	-.1717E+00	12	29	721	.2719E+00	41	74	1461	41	74	1461	-.3972E-01	1	2	1481
IT	-	.4891E+00	50	239	239	-.7132E+00	149	509	7481	7541	-.7777E-01	2	6	7541	-.1791E+00	18	32	7861	18	32	7861	-.1097E+00	27	36	8221
PH	-	.9385E-01	2	9	9	-.1025E+00	3	11	191	3161	.5451E+00	119	297	3161	.4439E+00	110	197	5131	110	197	5131	-.1411E-01	0	0	5141
IO2	-	.2737E+00	16	75	75	.5028E+00	74	253	3281	5281	-.2160E+00	19	47	7531	.5683E+00	180	323	8511	180	323	8511	.4934E-01	2	2	8541
IDRO	-	.7133E+00	107	509	509	-.4447E+00	58	198	7071	7181	-.5015E+00	74	251	7181	.4779E+00	31	201	5281	31	201	5281	.2970E+00	65	88	9391
IDCU	-	.6828E+00	96	466	466	-.5015E+00	74	251	7181	7181	-.1762E+00	12	31	7491	.2671E+00	40	71	8201	40	71	8201	.3036E+00	68	92	9121
INH4	-	.6139E+00	79	377	377	-.5130E+00	77	263	6401	6401	-.1277E+00	7	16	6561	.3127E+00	40	71	8201	40	71	8201	.3125E+00	72	98	8061
IN03	-	.5530E+00	65	307	307	.2041E+00	12	42	3481	3481	-.7028E+00	199	494	8421	.1901E+00	20	36	8781	20	36	8781	.2280E+00	39	52	9301
IN02	-	.4901E+00	51	240	240	.2372E-01	0	1	241	2591	-.7200E+00	208	518	7591	-.3098E-01	1	1	7601	1	1	7601	.2922E+00	12	17	7771
IP04	-	.7523E+00	119	568	568	.4682E-01	1	2	568	6371	-.1556E+00	10	24	5921	-.3243E+00	59	105	6981	59	105	6981	.2977E+00	66	89	7861
IMP	-	.6318E+00	84	392	392	.1020E+00	3	10	410	410	-.6030E+00	46	364	7731	.3344E+00	62	112	8851	62	112	8851	.1601E+00	19	26	9111
ICHL	-	.3792E+00	30	144	144	-.7108E+00	151	517	6601	6601	.1479E+00	9	22	6821	.2772E+00	43	77	7591	43	77	7591	-.2267E+00	38	51	8111
ICAR	-	.1192E+00	3	14	14	-.6142E+00	194	663	6771	6771	.2779E-01	0	1	6781	.3514E+00	69	123	8011	69	123	8011	-.1667E-01	0	0	8021
IIVAT	-	.5052E+00	54	255	255	.6106E-01	1	4	259	2881	-.1706E+00	12	29	2881	.1133E+00	7	13	3011	7	13	3011	-.2170E+00	35	47	3481
IMES	-	.4528E+00	43	205	205	.3408E-01	0	1	206	206	-.2030E+00	17	41	2471	.6603E+00	243	436	6831	243	436	6831	.3534E-01	1	1	6851
ICL	-	.3968E+00	33	157	157	-.6292E+00	140	480	6371	6371	-.1731E+00	12	30	6671	-.1303E+00	9	17	6841	9	17	6841	-.9106E-01	6	8	6931
IS04	-	.3607E+00	27	130	130	-.4129E+00	50	170	301	301	-.2013E+00	16	41	341	-.8286E-01	4	7	3481	4	7	3481	-.1060E+00	8	11	3591

TABLEAU 13 - RESULTATS DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES. VALEURS PROPRES ET CONTRIBUTIONS DES DESCRIPTEURS.

INDV	1#FACTEUR	2#FACTEUR	3#FACTEUR	4#FACTEUR	5#FACTEUR
!5101!	-.1070E+00	-.4497E+01	.7566E-01	-.9674E+00	-.3930E-01
!5102!	.5008E+01	.5389E+00	-.6422E+01	.5274E+00	.1531E+01
!5103!	.4364E+01	.4081E+00	-.5071E+01	.1200E-01	.8621E+00
!5104!	.5640E+00	.9977E+00	-.1753E+01	-.2086E+01	.8069E+00
!5105!	-.1234E+01	.9048E+00	-.2238E+01	-.1078E+01	-.6016E+00
!5106!	-.3421E+01	.4031E+00	-.1940E+01	-.1006E+01	-.1854E+01
!5107!	-.3373E+01	.1126E+01	-.8440E+00	.6255E+00	-.2992E+01
!5108!	-.4425E+01	.1060E+01	-.2373E+01	-.7739E+00	-.3615E+01
!5109!	-.2884E+01	.3928E-01	-.4561E+00	.1068E+01	.1455E+01
!5110!	-.1579E+01	.2900E+00	.1016E+00	-.6332E+00	.8041E+00
!5111!	-.6907E+01	-.5671E+01	-.1345E+01	.2022E+01	.4233E+01
!5112!	-.5466E+01	.4717E+00	-.2842E+01	.5277E+01	-.1291E+01
!5113!	-.3008E+01	-.1551E+01	-.4974E+00	-.8075E+00	.1845E-01
!5114!	-.8101E+00	-.1409E+01	.1265E+01	-.3662E+00	.1768E+00
!5115!	-.2732E+01	-.6859E+00	-.1118E+01	-.6230E+00	-.2862E+01
!5322!	.1037E+01	-.3790E+01	-.8674E+00	-.5114E+00	-.4668E+00
!5323!	.1596E+01	-.9169E+00	-.1037E+01	-.3229E+00	-.1536E+00
!5324!	.3894E+01	-.2227E+00	-.3565E+01	.3908E+00	.6113E+00
!5325!	.9864E+00	.8761E+00	-.1046E+01	-.1207E+01	.7596E-01
!5326!	-.1533E+00	.7392E+00	-.1133E+00	-.9959E+00	.3931E-01
!5327!	-.1003E+01	.1280E+01	-.1968E+00	-.1326E+01	-.8712E+00
!5328!	.1133E+00	.2865E+01	.2534E+01	.2927E+01	.4463E-01
!5329!	.6166E+00	.2805E+01	.1413E+01	.2374E+01	.5696E-01
!5330!	-.4659E+00	.7157E+00	.9502E+00	-.7338E+00	.6154E+00
!5331!	-.4771E+00	.3170E+00	.1066E+01	-.1161E+01	.5401E+00
!5332!	-.2438E+01	-.2056E+00	-.2414E-01	-.8751E+00	.1741E+01
!5333!	-.1108E+01	.4399E+00	.5651E+00	-.1098E+01	.3560E+00
!5334!	-.3811E+00	.4581E+00	.1303E+01	-.6345E+00	.5122E+00
!5335!	-.1288E+01	-.1634E+01	.5785E+00	-.1158E+00	.1229E+01
!5336!	.3176E+00	-.5997E+00	.8409E+00	-.1052E+01	-.7546E-01
!5755!	.3487E+01	-.3770E+01	.1228E+01	.2116E+01	-.1253E+01
!5756!	.1590E+01	-.2528E+01	.5044E+00	-.1916E+00	-.8325E+00
!5757!	.1971E+01	-.5638E+00	.5036E+00	.1069E+00	-.6254E+00
!5758!	.1516E+01	-.1825E+00	-.1175E-01	-.1375E+01	-.6837E+00
!5759!	.7607E+00	.1191E+01	.6268E+00	.5051E-01	-.3415E+00
!5760!	.3839E+00	.2021E+01	.8759E+00	.3329E+00	.1450E+00
!5761!	.8898E+00	.2123E+01	.1687E+01	.1482E+01	.1875E+00
!5762!	.1359E+01	.2606E+01	.1315E+00	.2497E+01	.5134E+00
!5763!	-.2189E+00	.6854E+00	.7178E+00	-.8794E+00	.4410E+00
!5765!	-.2052E+00	.5851E+00	.6896E+00	-.8376E+00	.3886E+00
!5767!	-.2052E+01	.2038E+00	.1674E-03	-.7183E+00	.1295E+01
!5768!	-.6212E+00	.3778E+00	.9375E+00	-.8520E+00	.6205E+00
!5769!	.4654E-01	.7908E+00	.1016E+01	-.6839E+00	.4474E+00
!5770!	.1014E+01	.4533E-01	.9510E+00	.1269E+00	.3209E+00
!5771!	.9513E+00	-.3631E+00	.9823E+00	-.6001E+00	-.1619E+00
!5978!	.3667E+01	-.6090E+01	.1236E+01	.2798E+01	-.1858E+01
!5979!	.1388E+01	-.1581E+01	.4187E+00	-.5264E+00	-.8112E+00
!5980!	.1706E+01	-.1725E+01	.9148E+00	.2113E+00	-.8859E+00
!5981!	.1709E+01	-.2752E+00	.3024E+00	-.9438E+00	-.6898E+00
!5982!	.1020E+01	-.6585E-01	.8422E-02	-.1686E+00	-.5987E+00
!5983!	.1662E+00	.1918E+01	.1045E+01	-.1539E+00	.1931E+00
!5984!	.9044E+00	.2142E+01	.1502E+01	.1942E+01	.2834E+00
!5985!	.1314E+01	.2686E+01	-.5163E+00	.2222E+01	.6518E+00
!5986!	.9870E+00	.1949E+01	.7323E+00	.3787E+00	.1789E+00
!5988!	-.1830E+00	.4770E+00	.7073E+00	-.7505E+00	.4326E+00
!5990!	-.9318E+00	.1173E+01	.3801E+00	-.1164E+01	.5118E+00
!5991!	-.3204E+00	.2840E+00	.7849E+00	-.5386E+00	.6061E+00
!5992!	.2415E+00	.9496E+00	.1011E+01	-.7664E+00	.4012E+00
!5993!	.1143E+01	.2173E-02	.9788E+00	.4739E+00	.3644E+00
!5994!	.1003E+01	-.6257E+00	.7692E+00	-.5029E+00	-.1273E+00

TABLEAU 14 : RESULTATS NUMERIQUES DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES : CONTRIBUTION DES INDIVIDUS. POUR REPERER LES INDIVIDUS, SE REPORTER AUX TABLEAUX DE DONNEES BRUTES, TABLEAUX 1 A 5.

LES VALEURS PROPRES

NUM. ITER	VAL PROPRE	POURCENT	CUMUL	HISTOGRAMME DES VALEURS PROPRES DE LA MATRICE
1				
2	.94949216	20.376	20.376	*****
3	.79791415	17.123	37.499	*****
4	.72962022	15.657	53.156	*****
5	.60075819	12.892	66.048	*****
6	.37957728	8.146	74.194	*****
7	.22385097	4.804	78.997	*****
8	.20511878	4.402	83.399	*****
9	.19324487	4.147	87.546	*****
10	.15797085	3.500	90.936	*****
11	.11457044	2.459	93.395	*****
12	.06730944	1.404	94.839	*****
13	.06131025	1.316	96.155	*****
14	.04802908	1.031	97.186	*****
15	.04592226	.985	98.171	*****
16	.03075201	.660	98.831	*****
17	.01946108	.418	99.249	*****
18	.01348807	.289	99.538	*****
19	.00862275	.185	99.723	*****
20	.00690892	.148	99.871	*****
21	.00213991	.046	99.917	*****
22	.00196333	.042	99.959	*****
23	.00118546	.025	99.985	*****
24	.00046519	.010	99.995	*****
25	.00020705	.004	99.999	*****
26	.00003974	.001	100.000	*****

TABLEAU 15 : RESULTATS NUMERIQUES DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES.

! I !	OLT	POID	INR!	1#F	COP	CTR!	2#F	COR	CTR!	3#F	COR	CTR!	4#F	COR	CTR!	5#F	COR	CTR!	
1!5101!	838	25	3!	-236	107	1!	-94	17	0!	609	706	13!	2	0	0!	26	1	0!	
2!5102!	75	1	2!	-235	9	0!	-94	1	0!	633	63	1!	2	0	0!	21	0	0!	
3!5103!	74	1	2!	-230	5	0!	-85	1	0!	742	54	1!	3	0	0!	-12	0	0!	
4!5104!	277	40	13!	-221	32	2!	-66	3	0!	585	225	19!	6	0	0!	-18	0	0!	
5!5105!	181	12	6!	-229	22	1!	-83	3	0!	602	154	6!	3	0	0!	1	0	0!	
6!5106!	377	22	6!	-234	41	1!	-91	6	0!	646	313	12!	3	0	0!	13	0	0!	
7!5107!	47	9	14!	-233	7	0!	-102	1	0!	496	32	3!	-3	0	0!	37	0	0!	
8!5108!	185	29	14!	-199	18	1!	-112	6	0!	585	155	14!	-23	0	0!	38	1	0!	
9!5109!	775	268	32!	-235	102	16!	-96	17	3!	598	653	132!	2	0	0!	30	2	1!	
10!5110!	721	113	15!	-235	93	7!	-95	15	1!	606	610	57!	1	0	0!	31	2	0!	
11!5111!	321	15	5!	-229	34	1!	-79	4	0!	646	272	9!	3	0	0!	-6	0	0!	
12!5112!	217	10	5!	-224	23	1!	-69	2	0!	622	174	6!	5	0	0!	-22	0	0!	
13!5113!	353	22	7!	-227	37	1!	-77	4	0!	630	286	12!	4	0	0!	-7	0	0!	
14!5114!	170	10	7!	-233	17	1!	-89	2	0!	659	134	6!	3	0	0!	3	0	0!	
15!5115!	618	42	7!	-226	70	2!	-78	9	0!	617	516	22!	3	0	0!	-1	0	0!	
16!5322!	885	7	70!	5046	566	194!	-2145	102	42!	-6	0	0!	-2894	186	101!	524	6	5!	
17!5323!	981	1	5!	2120	27	7!	7194	306	91!	-51	0	0!	-434	1	0!	9728	560	351!	
18!5324!	798	2	11!	1693	115	6!	3573	514	32!	187	1	0!	129	1	0!	-1800	131	17!	
19!5325!	855	3	34!	2316	93	16!	3897	265	52!	34	0	0!	-506	4	1!	-2919	149	62!	
20!5326!	788	1	6!	1223	57	2!	1821	126	4!	307	4	0!	-283	3	0!	-2199	184	13!	
21!5327!	492	3	0!	-211	61	0!	-34	2	0!	557	419	1!	4	0	0!	-13	0	0!	
22!5328!	67	0	8!	620	3	0!	1948	32	1!	160	0	0!	95	0	0!	-1621	22	2!	
23!5329!	14	0	2!	8	0	0!	458	4	0!	569	6	0!	36	0	0!	-486	4	0!	
24!5330!	996	260	109!	-239	29	16!	-82	3	2!	-1357	941	656!	-6	0	0!	19	0	0!	
25!5331!	69	3	1!	-142	12	0!	5	0	0!	212	27	0!	-8	0	0!	-108	7	0!	
26!5332!	695	15	2!	-105	15	0!	271	100	1!	216	64	1!	-5	0	0!	-93	12	0!	
27!5333!	429	1	3!	360	6	0!	1010	44	1!	-471	10	0!	237	2	0!	-509	11	0!	
28!5334!	518	1	6!	1251	34	1!	3832	323	12!	-18	0	0!	0	0	0!	-1765	69	5!	
29!5335!	500	1	4!	969	30	1!	2571	209	5!	-137	1	0!	187	1	0!	-2338	173	9!	
30!5336!	942	0	3!	2097	120	2!	4463	542	11!	52	0	0!	-283	2	0!	-2907	230	10!	
31!5755!	963	16	120!	4890	701	411!	-1695	84	59!	-13	0	0!	-2449	176	163!	8	0	0!	
32!5756!	988	6	59!	2040	84	25!	6256	792	275!	22	0	0!	-270	1	1!	1634	54	39!	
33!5757!	843	1	6!	2353	163	5!	3664	396	13!	101	0	0!	569	10	0!	-2375	166	12!	
34!5758!	846	1	12!	2246	71	4!	3074	132	10!	-84	0	0!	87	0	0!	-4368	268	41!	
35!5759!	960	0	5!	2546	89	2!	3434	162	5!	8	0	0!	-292	1	0!	-4273	252	15!	
36!5760!	838	0	2!	1649	67	1!	4579	516	5!	20	0	0!	101	0	0!	-2599	166	4!	
37!5761!	231	0	1!	533	7	0!	1298	44	0!	-6	0	0!	233	1	0!	-2096	114	2!	
38!5762!	345	0	2!	2159	86	1!	970	17	0!	-15	0	0!	-559	6	0!	-2507	116	3!	
39!5763!	828	33	44!	-231	9	2!	-67	1	0!	-795	104	29!	-3	0	0!	-13	0	0!	
40!5765!	760	1	7!	1544	60	2!	4484	510	21!	27	0	0!	34	0	0!	-1935	95	8!	
41!5767!	981	2	21!	1901	75	8!	5566	647	80!	-2	0	0!	-18	0	0!	-2238	105	27!	
42!5768!	734	0	3!	2096	91	1!	4103	382	7!	-55	0	0!	-138	0	0!	-2664	161	6!	
43!5769!	567	0	8!	1767	41	2!	4354	251	12!	-132	0	0!	299	1	0!	-3815	193	19!	
44!5770!	963	2	24!	1907	67	8!	5812	626	89!	28	0	0!	-146	0	0!	-1630	49	15!	
45!5771!	849	0	2!	2065	95	1!	3773	316	4!	-88	0	0!	-266	2	0!	-3510	274	7!	
46!5978!	998	9	137!	4804	322	217!	-1535	33	26!	-53	0	0!	6779	641	682!	389	2	4!	
47!5979!	982	1	30!	2298	38	6!	6589	315	55!	-46	0	0!	-270	1	0!	8849	568	208!	
48!5980!	659	1	12!	3669	152	9!	-400	2	0!	62	0	0!	6681	503	46!	165	0	0!	
49!5981!	827	1	12!	2366	117	7!	2244	106	8!	-196	1	0!	1324	37	3!	-3708	289	43!	
50!5982!	987	0	2!	2352	73	1!	2971	116	2!	23	0	0!	-367	2	0!	-4576	275	8!	
51!5983!	93	1	1!	188	4	0!	186	3	0!	492	24	0!	-79	1	0!	-532	28	0!	
52!5984!	13	0	1!	-195	2	0!	-14	0	0!	449	9	0!	13	0	0!	-120	1	0!	
53!5985!	108	0	5!	472	2	0!	1263	12	0!	190	0	0!	171	0	0!	-2217	38	2!	
54!5986!	314	2	2!	15	0	0!	138	5	0!	-700	135	1!	-12	0	0!	-455	57	1!	
55!5988!	402	1	6!	1368	61	2!	1751	99	3!	138	1	0!	-169	1	0!	-2158	151	11!	
56!5990!	989	1	8!	1882	72	3!	5666	651	29!	20	0	0!	-75	0	0!	-1961	78	7!	
57!5991!	939	0	2!	1379	70	1!	4067	608	9!	121	1	0!	30	0	0!	-1915	135	4!	
58!5992!	355	0	9!	1433	11	0!	2650	38	2!	-303	1	0!	600	2	0!	-5254	151	16!	
59!5993!	484	0	3!	1564	33	0!	3776	192	3!	-305	1	0!	317	1	0!	-3677	182	7!	
60!5994!	921	1	6!	2234	118	3!	4936	577	20!	30	0	0!	-308	2	0!	-2849	193	14!	
! !	!397609.2	!1000!			!1000!			!1000!			!1000!			!1000!				!1000!	

TABLEAU 16 : RESULTATS NUMERIQUES DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES.
CONTRIBUTION DES INDIVIDUS.

J1	Q1T	POID	INR	1#F	COR	CTR	2#F	COR	CTR	3#F	COR	CTR	4#F	COR	CTR	5#F	COR	CTR	
11CY	514	4	52	1613	46	12	2618	120	36	-260	1	0	556	5	2	-3627	231	146	
21RH	39	0	3	-71	0	0	144	1	0	660	12	0	-34	0	0	-396	4	0	
31EP	177	1	2	-100	1	0	283	10	0	-1045	141	2	0	0	0	-282	10	0	
41ASP	940	0	2	4969	457	51	-1807	61	1	-46	0	0	4745	417	7	472	4	0	
51BU	985	3	94	2084	29	13	7030	332	182	-81	0	0	-402	1	1	9148	562	647	
61BR	933	5	63	2959	150	46	2320	92	34	32	0	0	-677	8	4	-3328	190	147	
71BC	958	15	113	4962	722	40	-1867	102	68	-17	0	0	-2111	131	115	292	2	3	
81PO	999	8	141	4759	287	198	-1447	27	22	-51	0	0	7340	683	746	393	2	3	
91FT	804	4	34	4695	537	90	-1884	87	17	26	0	0	-2519	155	4	321	3	1	
101FC	134	1	13	478	3	0	1438	30	2	-14	0	0	27	0	0	-1654	39	6	
111BD	32	3	7	-195	3	0	-18	0	0	557	26	1	8	0	0	-120	1	0	
121DA	984	17	132	1897	96	63	5405	783	605	44	0	0	-118	0	0	-965	25	4	
131MO	952	4	42	5089	580	119	-2118	101	25	-12	0	0	-3383	257	83	380	3	2	
141LI	956	2	1	-240	22	0	-86	3	0	-1541	920	7	-8	0	0	14	0	0	
151OX	55	0	4	3765	9	0	-448	0	0	73	0	0	8620	46	2	268	0	0	
161AS	867	50	52	-227	11	3	-49	1	0	-1219	305	10	-4	0	0	-16	0	0	
171TE	78	25	31	-227	9	1	-107	2	0	576	57	1	-8	0	0	43	0	0	
181MN	561	1	2	-236	6	0	-91	1	0	-670	52	1	-7	0	0	13	0	0	
191VO	936	620	45	-230	157	35	-85	22	6	508	756	2	219	2	0	19	1	1	
201PA	74	14	17	-131	3	0	94	2	0	502	44	5	23	0	0	-173	5	1	
211CH	25	0	10	960	1	0	3236	9	1	82	0	0	61	0	0	-2749	6	1	
221CO	34	0	1	-215	3	0	-120	1	0	692	28	0	-20	0	0	58	0	0	
231EU	992	189	108	-241	22	12	-87	3	2	-1555	913	629	-7	0	0	21	0	0	
241AC	13	0	3	-233	1	0	-87	0	0	699	11	0	5	0	0	-6	0	0	
251NE	173	33	27	-220	13	2	-70	1	0	718	138	23	3	0	0	-26	0	0	
261AM	5	0	2	-240	0	0	-102	0	0	759	4	0	3	0	0	17	0	0	
I	1397609.2	1000			1000			1000			1000			1000			1000		1000

TABLEAU 17 : RESULTATS NUMERIQUES DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES :
CONTRIBUTION DES DESCRIPTEURS.

VAL(1)=1.00000477

LES VALEURS PROPRES

INUM	ITER	VAL PROPRE	POURCENT	CUMUL	HISTOGRAMME DES VALEURS PROPRES DE LA MATRICE
1	2	.24125159	29.13.842	13.842	*****
1	3	.15359735	18.8.813	22.654	*****
1	4	.12876117	15.67.708	30.042	*****
1	5	.11036756	13.33.6.332	36.374	*****
1	6	.08063181	9.75.5.085	41.460	*****
1	7	.08504468	10.34.879	46.339	*****
1	8	.07167590	8.75.4.112	50.051	*****
1	9	.06952029	8.51.3.939	54.440	*****
1	10	.06382030	7.70.3.602	58.103	*****
1	11	.05711987	6.91.3.277	61.380	*****
1	12	.05555807	6.74.3.138	64.567	*****
1	13	.04854745	5.89.2.785	67.353	*****
1	14	.04433081	5.34.2.543	69.896	*****
1	15	.04301565	5.2.468	72.369	*****
1	16	.03976988	4.82.2.282	74.646	*****
1	17	.03795857	4.57.2.178	76.824	*****
1	18	.03573486	4.33.2.050	78.874	*****
1	19	.03213315	3.91.1.844	80.718	*****
1	20	.03083410	3.76.1.769	82.487	*****
1	21	.02723692	3.28.1.563	84.050	*****
1	22	.02538579	3.07.1.457	85.506	*****
1	23	.02282303	2.74.1.309	86.816	*****
1	24	.02182078	2.62.1.252	88.068	*****
1	25	.01950929	2.37.1.119	89.187	*****
1	26	.01672784	2.14.960	90.147	*****
1	27	.01619846	2.08.929	91.076	*****
1	28	.01550100	1.98.809	91.965	*****
1	29	.01371849	1.74.787	92.753	*****
1	30	.01270828	1.67.729	93.482	*****
1	31	.01235712	1.62.709	94.191	*****
1	32	.01145395	1.54.657	94.848	*****
1	33	.01062734	1.48.610	95.458	*****
1	34	.00984155	1.42.565	96.022	*****
1	35	.00880051	1.36.509	96.481	*****
1	36	.00712993	1.28.409	96.890	*****
1	37	.00681197	1.25.391	97.281	*****
1	38	.00652987	1.22.375	97.656	*****
1	39	.00511088	1.14.293	97.949	*****
1	40	.00467411	1.11.268	98.217	*****
1	41	.00414427	1.08.238	98.455	*****
1	42	.00393679	1.06.226	98.681	*****
1	43	.00371315	1.04.213	98.894	*****
1	44	.00311935	1.01.179	99.073	*****
1	45	.00262541	0.97.151	99.223	*****
1	46	.00231065	0.94.133	99.356	*****
1	47	.00193918	0.91.111	99.467	*****
1	48	.00179372	0.89.103	99.570	*****
1	49	.00160472	0.87.097	99.667	*****

TABLEAU 18 : RESULTATS DE L'ANALYSE FACTORIELLE
DES CORRESPONDANCES MULTIPLES.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1!CY1	611	10	11	268	36	31	-975	477	591	225	25	41	-283	40	71	121	7	21		
2!CY2	479	14	81	-18	0	01	524	275	261	-296	88	101	-12	0	01	-159	26	41		
3!CY3	238	5	141	-477	46	51	379	29	41	441	39	71	607	74	161	239	11	31		
4!EP1	414	25	21	-20	3	01	-140	151	31	-70	39	11	-41	13	01	-154	182	71		
5!EP2	414	3	141	162	3	01	1069	151	251	541	39	81	317	13	31	1175	182	521		
6!BU1	269	25	21	90	52	11	42	11	01	-96	61	21	-72	34	11	97	61	31		
7!BU2	269	4	141	-582	52	51	-271	11	21	628	61	121	473	34	81	-629	61	171		
8!BP1	568	20	51	318	256	91	330	276	151	26	2	01	-29	2	01	-110	31	31		
9!BP2	568	8	121	-803	256	221	-834	276	371	-64	2	01	-75	2	01	282	31	71		
10!BC1	319	23	31	53	11	01	-5	0	01	-99	40	21	-146	87	41	80	25	21		
11!BC2	319	6	131	-212	11	11	23	0	01	400	40	71	589	87	181	-317	25	71		
12!P01	549	23	31	214	204	41	247	271	91	-16	1	01	-91	38	21	-29	4	01		
13!P02	549	5	131	-953	204	201	-1098	271	411	77	1	01	410	38	81	135	4	11		
14!F11	365	25	21	55	20	01	11	1	01	-50	17	01	-60	31	11	-54	20	11		
15!F12	365	4	141	-359	20	21	-73	1	01	330	17	31	446	31	71	358	20	61		
16!F01	373	19	61	-98	18	11	-388	282	181	-180	61	51	-55	6	11	17	1	01		
17!F02	373	10	111	185	18	11	723	282	341	336	61	91	103	6	11	-31	1	01		
18!BD1	614	19	51	-522	546	221	-2	0	01	110	24	21	-68	10	11	-77	12	11		
19!BD2	614	10	111	1045	546	431	5	0	01	-220	24	41	138	10	21	155	12	31		
20!DA1	629	6	131	1099	334	311	-603	101	151	220	13	21	-629	110	221	360	36	91		
21!DA2	602	16	71	-121	18	11	215	56	51	-353	153	151	437	233	271	109	15	21		
22!DA3	506	7	131	-731	163	-151	55	1	01	620	121	211	-444	60	171	-590	106	261		
23!CF1	434	7	131	-964	283	201	47	1	01	458	64	111	-117	4	11	-515	81	201		
24!CF2	267	7	131	-476	69	01	457	64	91	26	0	01	-522	83	171	404	50	121		
25!CF3	654	15	81	631	455	251	-219	55	51	-211	51	51	280	90	111	109	3	01		
26!EC1	463	10	111	-791	338	261	112	7	11	147	12	21	-97	5	11	-373	75	161		
27!EC2	361	7	131	-322	32	31	355	38	51	-75	2	01	-455	63	131	562	96	241		
28!EC3	683	12	101	846	512	351	-292	61	71	-80	5	11	338	82	121	0	0	01		
29!B1	780	11	101	-678	297	211	682	289	331	347	75	101	-431	116	191	-130	11	21		
30!B2	590	12	101	10	0	01	-487	170	181	-310	69	91	682	332	501	116	10	21		
31!B3	549	6	131	1280	410	391	-288	21	31	-16	0	01	-591	88	181	8	0	01		
32!T1	713	9	111	555	143	121	452	95	121	-476	105	161	131	8	11	-830	320	701		
33!T2	498	10	101	216	27	21	414	99	121	412	98	141	-315	58	91	610	216	441		
34!T3	783	9	111	-804	300	241	-931	402	511	0	0	01	235	26	51	124	7	21		
35!PH1	338	10	111	130	8	11	-416	87	111	-193	19	31	78	3	11	-501	126	271		
36!PH2	138	9	111	126	7	11	140	9	11	460	98	151	22	0	01	-93	4	11		
37!PH3	302	10	111	-237	30	21	270	39	51	-231	29	41	-94	5	11	563	171	361		
38!OP1	399	10	111	428	99	81	-565	172	211	299	48	71	-178	17	31	-84	4	11		
39!OP2	200	10	111	-207	23	21	35	1	01	323	56	81	461	115	191	53	2	01		
40!OP3	504	9	111	-256	28	21	619	164	211	-725	226	351	-328	46	81	37	1	01		
41!OR1	508	9	111	-518	125	101	-113	6	11	-450	94	141	-162	12	21	-367	63	141		
42!OR2	364	10	111	-444	99	61	498	124	151	-177	16	21	-117	7	11	288	42	91		
43!OR3	751	10	111	994	436	331	-370	74	91	577	179	261	260	36	61	58	2	01		
44!OC1	556	10	111	-310	48	41	43	1	01	-842	399	591	-184	17	31	-308	48	101		
45!OC2	335	10	111	-464	116	91	343	63	81	326	57	81	391	82	141	152	13	31		
46!OC3	626	9	111	841	328	271	-424	84	111	580	156	241	-236	26	51	157	11	31		
47!NA1	577	10	111	-211	23	21	-273	37	51	-1009	510	751	-13	0	01	-50	1	01		
48!NA2	112	10	111	-222	27	21	92	5	11	238	31	41	289	45	81	15	0	01		
49!NA3	458	9	111	470	102	81	187	16	21	800	296	451	-303	43	81	37	1	01		
50!N31	553	8	121	792	248	214	294	34	51	796	251	401	-107	5	11	187	14	31		

TABLEAU 19 : RESULTATS NUMERIQUES DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES : CONTRIBUTION DES DESCRIPTEURS.

	GLI	POID	IMP!	1#F	COR	CTR!	2#F	COR	CTR!	3#F	COR	CTR!	4#F	COR	CTR!	5#F	COR	CTR!	
1	341	11	101	-521	149	121	-278	48	61	174	19	31	241	36	61	-330	68	141	
1	437	10	111	-72	3	01	72	3	01	-876	385	571	-184	17	31	222	25	51	
1	252	10	111	579	167	131	14	0	01	-200	20	31	-27	0	01	-9	0	01	
2	323	10	111	-1	0	01	290	42	51	447	100	151	125	8	11	-492	121	261	
1	608	10	111	-575	166	131	-303	46	61	-245	30	41	-96	5	11	503	126	271	
1	669	10	111	-712	254	201	-588	173	211	-479	115	171	31	0	01	-180	16	41	
1	318	10	101	23	0	01	427	105	121	-116	8	11	351	72	121	279	45	91	
1	554	9	111	764	250	211	132	7	11	676	196	301	-463	92	171	-139	8	21	
1	548	9	111	324	49	41	491	112	141	-28	0	01	-419	82	141	-662	203	451	
1	393	10	101	205	24	21	-205	25	31	-520	157	221	-39	1	01	564	184	381	
1	536	9	111	-561	146	121	-251	29	41	632	185	281	466	101	181	9	0	01	
1	499	9	111	196	18	11	598	166	211	-148	10	21	-277	36	61	-533	132	291	
2	248	10	101	157	14	11	114	7	11	-272	43	61	415	100	161	343	68	141	
3	499	9	111	-376	66	51	-729	247	311	466	101	151	-202	19	31	137	9	21	
1	487	10	111	-8	0	01	-468	110	141	-231	27	41	799	319	551	57	2	01	
1	463	9	111	-583	146	121	691	205	271	111	5	11	-83	3	11	401	69	161	
1	490	10	101	486	137	101	-138	11	11	120	8	11	-657	250	411	-379	84	171	
1	207	10	111	-310	52	41	289	45	51	154	13	21	211	24	41	200	22	51	
2	192	8	121	-135	7	11	-346	48	61	364	52	81	249	24	51	-265	28	61	
3	444	10	101	407	94	71	-7	0	01	-427	106	151	-392	90	151	15	0	01	
1	408	9	111	370	59	51	325	45	61	-518	116	181	45	1	01	-434	81	181	
2	609	10	111	-123	8	11	782	329	401	248	33	51	-72	3	01	421	96	201	
3	652	10	111	-193	20	21	-1059	605	731	197	21	31	34	1	01	-47	1	01	
1	402	9	111	247	20	21	-7	0	01	-228	24	41	-515	124	221	-528	130	291	
1	314	10	111	248	31	21	337	57	71	52	1	01	266	35	61	-435	95	201	
1	635	10	111	-058	114	91	-313	53	61	157	13	21	214	25	41	894	430	901	
1	541	24	21	-81	38	11	-194	215	61	-88	45	11	-172	169	71	-20	2	01	
2	302	3	151	192	4	01	1284	183	311	328	12	21	68	1	01	743	61	181	
3	628	1	161	1014	54	61	744	29	51	857	39	81	2799	412	1011	-1129	67	211	
1	459	23	31	-196	174	41	-127	73	21	-11	1	01	-210	198	91	0	0	01	
2	459	5	131	879	174	171	571	73	111	51	1	01	938	198	421	1	0	01	
1	514	8	121	-895	292	251	-18	0	01	645	151	251	-181	12	21	-257	24	61	
2	446	13	91	-284	66	41	235	45	51	-600	295	361	9	0	01	207	35	61	
3	786	8	121	1296	664	561	-355	50	71	347	47	81	157	10	21	-85	3	11	
1	418	17	71	-450	285	141	71	7	11	70	7	11	-198	55	61	-31	1	01	
2	178	8	121	399	56	51	71	2	01	-293	31	51	407	60	111	-230	19	51	
3	337	4	141	1045	193	191	-401	29	51	249	11	21	50	0	01	534	50	141	
1	375	19	51	-308	191	81	-33	2	01	173	60	41	-153	47	41	-60	7	11	
2	316	9	111	573	141	121	-20	0	01	-467	94	151	-105	5	11	230	23	51	
3	675	1	161	1034	37	41	873	26	51	759	20	41	4023	558	1401	-857	25	81	
1	500	13	91	-578	294	191	174	27	31	358	112	131	-70	4	11	-11	0	01	
2	479	12	91	238	43	31	4	0	01	-581	259	331	309	73	111	-96	7	11	
3	615	3	151	1673	311	331	-828	76	131	854	81	161	-1007	113	261	478	25	71	
1	596	11	101	888	526	371	-155	16	21	-255	44	61	0	0	01	60	2	01	
2	277	7	131	-293	26	21	741	167	241	124	5	11	312	30	61	333	34	81	
3	536	10	101	-781	354	271	-301	53	61	200	23	31	-197	23	41	-276	44	91	
				2100.0	1000!		1000!		1000!		1000!		1000!		1000!		1000!		1000!

Tables supplémentaires

UP!	GLI	POID	IMP!	1#F	COR	CTR!	2#F	COR	CTR!	3#F	COR	CTR!	4#F	COR	CTR!	5#F	COR	CTR!
1	139	27	11	-32	21	01	27	13	01	37	26	01	14	4	01	-8	1	01
2	139	1	161	636	21	21	-505	13	21	-705	26	61	-257	4	11	168	1	01
1	389	27	11	46	41	01	79	118	11	-33	22	01	-51	52	11	-15	5	01
2	389	1	161	-882	41	51	-1495	118	211	644	22	51	995	52	131	303	5	11
1	389	27	11	46	41	01	79	118	11	-33	22	01	-51	52	11	-15	5	01
2	389	1	161	-882	41	51	-1495	118	211	644	22	51	995	52	131	303	5	11
1	553	27	11	-41	34	01	-57	64	11	-4	0	01	-149	430	61	28	15	01
2	553	1	161	800	34	41	1102	64	111	94	0	01	2859	430	1061	-527	15	41
1	82	28	01	23	31	01	22	29	01	0	0	01	-6	3	01	-14	13	01
2	82	0	161	-1340	31	41	-1297	29	51	39	0	01	390	3	11	888	13	41
1	411	26	11	-127	181	21	-7	1	01	-38	16	01	-130	190	41	43	21	11
2	411	2	151	1411	181	201	91	1	01	424	16	31	1446	190	451	-476	21	61
1	93	28	11	-11	4	01	-45	63	01	15	7	01	23	16	01	-6	1	01
2	93	1	161	338	4	01	1348	63	111	-446	7	11	-672	16	41	197	1	01
1	89	28	11	-51	78	01	11	3	01	-9	3	01	-11	4	01	6	1	01
2	89	1	161	1508	78	71	-316	3	11	304	3	11	348	4	11	-178	1	01
1	119	28	11	-33	34	01	17	8	01	18	9	01	14	6	01	-11	4	01
2	119	1	161	987	34	41	-493	8	21	-517	9	21	-405	6	11	341	4	11
1	82	28	11	-21	14	01	30	28	01	0	0	01	11	3	01	-33	33	01
2	82	1	161	628	14	21	-861	26	51	-1	0	01	-309	3	11	982	33	101
				2100.0	164!		57!		62!		24!		197!		32!			

TAU 20 : RESULTATS NUMERIQUES DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES : CONTRIBUTION DES DESCRIPTEURS.

! T1 !	! QLT POID !	! 1#F !	! COR CTR !	! 2#F !	! COR CTR !	! 3#F !	! COR CTR !	! 4#F !	! COR CTR !	! 5#F !	! COR CTR !								
1!01 !	362	17	13!	289	61	0!	-535	209	31!	125	11	2!	279	57	12!	-104	8	2!	
2!02 !	240	17	13!	-105	0	1!	-382	106	16!	-291	61	11!	80	5	1!	156	17	5!	
3!03 !	490	17	13!	23	0	0!	-512	197	29!	-448	150	26!	78	5	1!	175	23	6!	
4!04 !	543	17	16!	363	78	9!	-248	37	7!	-344	70	15!	-104	7	2!	25	0	0!	
5!05 !	281	17	15!	606	232	25!	-137	12	2!	-26	0	0!	-164	17	4!	177	20	6!	
6!06 !	520	17	16!	757	332	40!	-417	101	19!	105	6	1!	-302	53	14!	-239	33	11!	
7!07 !	411	17	15!	710	315	35!	45	1	0!	-224	32	7!	84	4	1!	-235	35	10!	
8!08 !	428	17	19!	823	343	47!	-143	11	2!	233	27	7!	-86	4	1!	-276	39	14!	
9!09 !	443	17	21!	842	319	49!	36	1	0!	376	64	18!	-343	53	18!	82	3	1!	
10!10 !	382	17	15!	659	279	30!	-104	7	1!	-14	0	0!	318	65	15!	170	19	5!	
11!11 !	707	17	17!	800	357	44!	-353	70	14!	473	125	29!	-404	92	25!	-112	7	2!	
12!12 !	399	17	18!	692	256	33!	-225	27	6!	-110	7	2!	-347	65	18!	275	40	14!	
13!13 !	670	17	17!	916	461	58!	-406	91	18!	208	24	6!	-267	39	11!	314	54	19!	
14!14 !	542	17	17!	724	296	36!	-291	48	9!	290	48	11!	-285	46	12!	429	104	35!	
15!15 !	757	17	19!	891	394	55!	-514	132	29!	387	75	19!	-402	81	24!	381	72	27!	
16!16 !	616	17	17!	-789	47	6!	-777	336	66!	391	85	20!	271	41	11!	51	1	0!	
17!17 !	386	17	17!	-604	209	25!	-360	75	14!	237	32	7!	-298	51	13!	-89	5	2!	
18!18 !	430	17	17!	-551	168	21!	-550	168	33!	-159	14	3!	-125	9	2!	277	42	14!	
19!19 !	527	17	17!	-167	16	2!	-294	50	9!	-378	83	19!	-60	2	1!	-415	100	33!	
20!20 !	200	17	13!	-32	1	0!	-206	31	5!	-387	109	20!	13	0	0!	-52	2	1!	
21!21 !	189	17	14!	255	43	4!	58	2	0!	-281	53	10!	130	11	3!	-307	63	18!	
22!22 !	468	17	14!	349	81	3!	297	58	10!	-678	305	60!	-27	1	0!	-12	0	0!	
23!23 !	465	17	15!	99	6	1!	291	55	9!	-612	242	49!	-206	28	6!	-128	11	3!	
24!24 !	724	17	34!	501	71	17!	419	49	19!	461	60	28!	1348	513	274!	-74	2	1!	
25!25 !	259	17	21!	378	66	10!	392	71	17!	157	11	3!	304	43	14!	334	52	21!	
26!26 !	388	17	19!	478	114	16!	190	18	4!	378	71	18!	116	7	2!	-497	124	47!	
27!27 !	153	17	19!	340	57	8!	189	18	4!	205	21	5!	215	23	7!	115	6	2!	
28!28 !	492	17	19!	-15	0	0!	760	285	63!	359	63	17!	-418	87	27!	130	8	3!	
29!29 !	451	17	19!	14	0	0!	542	144	32!	254	32	8!	25	0	0!	702	242	93!	
30!30 !	268	17	13!	-293	62	6!	177	23	3!	-95	7	1!	-34	1	0!	472	162	42!	
31!31 !	525	17	18!	-612	204	26!	-464	117	23!	91	5	1!	198	21	6!	52	1	1!	
32!32 !	547	17	17!	-669	255	31!	-221	28	5!	527	158	36!	-14	0	0!	-432	106	35!	
33!33 !	474	17	15!	-601	229	25!	-521	172	30!	-300	57	12!	9	0	0!	65	3	1!	
34!34 !	519	17	18!	-661	236	30!	-543	161	32!	-111	7	2!	390	82	23!	-26	0	0!	
35!35 !	246	17	15!	-476	142	16!	-126	10	2!	-206	27	6!	-303	58	14!	-122	9	3!	
36!36 !	481	17	13!	-190	26	3!	316	71	11!	-481	166	30!	-436	137	29!	-332	79	21!	
37!37 !	630	17	13!	227	38	4!	52	2	0!	-878	573	100!	47	2	0!	-118	10	3!	
38!38 !	608	17	15!	-16	0	0!	209	28	5!	-598	228	46!	34	1	0!	7	0	0!	
39!39 !	771	17	28!	514	89	18!	266	24	8!	83	2	1!	1326	592	265!	-435	64	36!	
40!40 !	310	17	17!	-358	73	9!	412	96	18!	334	63	14!	-233	31	8!	-28	0	0!	
41!41 !	402	17	15!	-31	1	0!	153	14	3!	454	128	27!	-279	49	12!	-572	203	62!	
42!42 !	547	17	17!	-709	41	5!	553	172	33!	507	145	33!	46	1	0!	20	0	0!	
43!43 !	413	17	15!	-441	125	13!	583	217	37!	221	31	6!	-119	9	2!	-12	0	0!	
44!44 !	455	17	17!	-561	174	22!	533	157	31!	170	16	4!	-51	2	0!	425	100	34!	
45!45 !	346	17	15!	-555	195	21!	251	40	7!	11	0	0!	22	0	0!	377	90	27!	
46!46 !	510	17	19!	-396	81	11!	-515	136	29!	211	23	6!	523	140	41!	168	14	5!	
47!47 !	658	17	18!	-605	234	31!	-451	108	22!	530	148	36!	-84	4	1!	-545	157	56!	
48!48 !	541	17	14!	-662	292	30!	-508	172	28!	14	0	0!	129	11	3!	264	46	13!	
49!49 !	488	17	16!	-570	198	23!	-463	131	23!	-357	78	17!	278	47	12!	145	13	4!	
50!50 !	227	17	13!	-352	90	9!	-130	12	2!	-91	6	1!	-133	13	3!	-210	32	8!	
51!51 !	345	17	14!	-225	34	4!	473	148	24!	-109	8	2!	-82	5	1!	-475	150	43!	
52!52 !	509	17	14!	200	28	3!	165	19	3!	-776	427	78!	17	0	0!	-130	12	3!	
53!53 !	497	17	14!	-93	6	1!	378	95	16!	-571	218	42!	-162	18	4!	-121	10	3!	
54!54 !	332	17	18!	163	14	2!	611	195	41!	-442	102	25!	176	16	5!	40	1	0!	
55!55 !	274	17	17!	-84	4	1!	376	82	15!	-57	2	0!	252	37	10!	407	96	31!	
56!56 !	569	17	15!	-135	12	1!	362	86	14!	226	33	7!	-456	137	32!	-666	293	84!	
57!57 !	351	17	14!	-372	94	10!	303	62	10!	436	128	25!	-119	10	2!	-201	27	8!	
58!58 !	332	17	18!	-311	52	7!	525	145	30!	175	16	4!	-164	14	4!	7	0	0!	
59!59 !	536	17	16!	-449	118	14!	514	154	29!	69	3	1!	-120	9	2!	658	252	81!	
60!60 !	485	17	14!	-768	394	41!	-7	0	0!	352	83	16!	-45	1	0!	93	6	2!	
! !	2100.0	1000!			1000!			1000!			1000!			1000!			1000!		1000!

TABEAU 21 : RESULTATS NUMERIQUES DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES
CONTRIBUTION DES INDIVIDUS.



1984

PIZAY-PARENTY Marie-Dominique

Université de Lille I

RESUME

BASSINS DE LAGUNAGE D'ANICHE-AUBERCHICOURT (NORD).
CINETIQUES SAISONNIERES ET SPATIALES DU ZOOPLANCTON
ET DES DESCRIPTEURS DE LA QUALITE DE L'EAU.

Le travail présenté concerne l'étude de l'autoépuration des eaux usées domestiques dans un bassin de lagunage (traitement tertiaire)

Pendant un an, à raison d'un prélèvement minimum par mois, 15 descripteurs physico-chimiques et bactériologiques ont été suivis parallèlement aux descripteurs phyto et zooplanctoniques.

L'exploitation des résultats par les méthodes statistiques (Diversité, Diagramme Rang-Fréquence) et par les analyses multivariées (ACP, AFC, ACM) ont permis de mettre en évidence le rôle de la biocoenose dans la qualité finale de l'eau.

Cette étude montre l'importance d'une structuration des bassins qui permet de favoriser tour à tour chaque maillon de la chaîne trophique et la nécessité de "gérer" le développement des organismes afin d'optimiser le résultat.

MOTS CLES :

Pollution des eaux douces, lagunage
Descripteurs physico-chimiques, Phytoplancton, Zooplancton
Méthodes statistiques (Diversité), Analyses multivariées
(composantes principales, correspondances, correspondances multiples).