

Rapport scientifique sur la  
Convention E 2271

entre :

Université de Provence

Laborat. de Biologie générale - Ecologie  
et

E.D.F. Départ. E.G.P.S.E.

Division environnement

ETUDE HYDROBIOLOGIQUE  
DE LA  
RETENUE HYDROELECTRIQUE DE  
SERRE PONCON (H.A.)

-----

1<sup>ER</sup> CYCLE ANNUEL

-----

**UNIVERSITÉ AIX MARSEILLE I**  
Centre Scientifique  
**HYDROBIOLOGIE**  
**EQUIPE BIODIVERSITE**  
3, Place Victor Hugo  
13331 MARSEILLE CEDEX 03  
Responsable : Professeur Rémi CHAPPAZ

Rapport scientifique sur la  
Convention E 2271  
entre  
Université de Provence  
Laborat.de Biologie générale-Ecologie  
et  
l'E.D.F. Départ.E.G.P.S.E.  
Division environnement

ETUDE HYDROBIOLOGIQUE  
DE LA  
RETENUE HYDROELECTRIQUE DE  
SERRE-PONCON (H.A.)

-----  
1ER CYCLE ANNUEL  
-----

Ont participé à l'étude :

- Responsable scientifique : CHAMPEAU A.<sup>x</sup>
- Chimie : MASSIANI C.<sup>xx</sup>, BAGARRY C.<sup>x</sup>, LAMBERTI E.<sup>x</sup>  
DUBUSC M.<sup>xx</sup>
- Microbiologie : VACELET E.<sup>xxx</sup> ARLHAC<sup>xxx</sup>
- Phytoplancton : CHRETIENNOT<sup>xxx</sup>, DINET S.<sup>xxx</sup>
- Zooplancton : BRESSAC Y.<sup>x</sup>, CHAMPEAU A.<sup>x</sup>
- Chironomides : NINO A.<sup>x</sup>, THOURENC <sup>o</sup>
- Oligochètes : LAMBERTI E.<sup>x</sup>, GALLISSIAN A.<sup>x</sup>, GIANI <sup>o</sup>
- Poissons : BRUN G.<sup>x</sup>
- Eaux courantes : THOMAS J.<sup>x</sup>, OLIVARI G.<sup>x</sup>
- Equipe technique : MATTERA G.<sup>x</sup>, MATTERA R.<sup>x</sup>, MATTERA R.<sup>x</sup>,  
CARBUCCIA M.H.<sup>x</sup>

Toute l'équipe a participé aux campagnes de prélèvements.

- x Laborat.Biologie générale-Ecologie
- xx Laboratoire Chimie générale
- xxx Laboratoire Biologie Marine, Endoume
- o Laboratoire Hydrobiologie, Toulouse

## SOMMAIRE

<b>1. Préambule</b>	<b>p.4</b>
1.1. Objectifs de la recherche	4
1.2. Situation de la retenue	5
1.3. Caractéristiques morphométriques	7
1.4. Choix des stations	7
1.5. Déroulement de la recherche	11
1.6. Techniques et méthodes d'étude	14
<b>2. Qualité des apports</b>	<b>17</b>
2.1. La Durance	17
2.2. L'Ubaye	23
<b>3. Domaine pélagique</b>	<b>29</b>
3.1. Evolution saisonnière	29
3.1.1. La crue du printemps 1978	29
3.1.2. La période estivale	32
3.1.3. L'automne	37
3.1.4. L'hiver	42
3.1.5. La crue du printemps 1979	47
3.2. Discussion : établissement d'un premier cycle annuel	50
3.2.1. Caractéristiques de la période hivernale	62
3.2.2. Caractéristiques de la période estivale	64
3.3. Répartition de la faune	71
3.3.1. Inventaire	71
3.3.2. Répartition transversale	74
3.3.3. Répartition longitudinale	75
3.4. Esquisses du cycle biologique des espèces dominantes	78
3.4.1. <u>Daphnia hyalina</u>	78
3.4.2. <u>Acanthodiptomus denticornis</u>	78
3.4.3. <u>Cyclops vicinus vicinus</u>	79

4. Domaine benthique	p.83
4.1. Substrats du lac	83
4.2. Bactéries des sédiments	85
4.3. Végétation	85
4.4. Faune benthique : inventaire	87
4.5. Faune benthique : répartition	90
4.6. Faune benthique : évolution saisonnière	92
4.7. Survie de la faune au marnage	95
4.7.1. Conditions d'assèchement	95
4.7.2. Mode de survie des larves de Chironomes	97
4.7.3. Mode de survie des Oligochètes	99
5. Peuplement piscicole	102
6. Annexes du lac	108
6.1. Plan d'eau d'Embrun	108
6.2. Bassin de compensation d'Espinasse	113
7. La Durance en aval du barrage	119
8. Conclusion - perspectives de recherche.	124

## 1. PREAMBULE

### 1.1. Objectifs de la recherche

Si l'étude du fonctionnement des lacs naturels a retenu l'attention de nombreux hydrobiologistes, celui de l'"écosystème artificiel" lac de barrage est très peu connu. Les retenues hydroélectriques possèdent un ensemble de caractéristiques différentes des lacs naturels. Parmi les paramètres considérés par les auteurs comme très importants on peut noter :

- "une histoire" extrêmement brève (de quelques dizaines d'années contre des milliers d'années pour les bassins naturels).
- un temps de renouvellement de l'ordre d'une centaine de jours au lieu de plusieurs années (155 jours à Serre-Ponçon).
- un marnage saisonnier d'une amplitude incomparable aux variations de niveau les plus importants des lacs naturels qui interdit le développement des hydrophytes dans la zone néritique (40-50 m à Serre-Ponçon).
- une eutrophisation extrêmement rapide dans de nombreux cas.

De plus, le lac de Serre-Ponçon possède l'originalité d'une double alimentation par deux rivières, la Durance et l'Ubaye. Il s'agit du plus grand lac de barrage français qui possède, à la fois, un plan d'eau fixe en amont et un bassin de compensation en aval.

L'étude pluridisciplinaire d'un premier cycle biologique annuel dans ce lac de retenue présente un triple intérêt :

1. Contribuer à la connaissance fondamentale du fonctionnement d'un exemple de ces écosystèmes artificiels de plus en plus répandus et dont l'implantation peut avoir des effets néfastes (cf. le barrage d'Assouan). Notre étude est une des premières en France qui prenne en compte, à la fois, les domaines pélagique et benthique, la physico-chimie, la microbiologie, le phytoplancton, le zooplancton, le benthos et les poissons.
2. Surveiller son état de trophie face à un développement touristique hivernal et estival dont les conséquences sont préoccupantes pour l'avenir du lac.

3. Effectuer un point zéro dans la perspective des aménagements hydroélectriques de la Durance et de l'Ubaye, en amont de Serre-Ponçon.

### 1.2. Situation de la retenue (fig. 1 p.6)

La retenue est installée au confluent de l'Ubaye et de la Durance, en aval d'Embrun. Elle sépare la Durance en deux parties très différentes :

- En amont, il s'agit d'une rivière longue de 75 km qui prend sa source au Montgenèvre. Sa largeur (50 m) et son débit (53,4 m<sup>3</sup>/s) à l'entrée du lac permet de la classer parmi les grandes rivières (classification de Huet). En dehors des gravières situées entre le Mont-Dauphin et Saint-Clément la Haute Durance n'est pratiquement pas aménagée. Briançon est la seule ville située sur son cours, l'usine d'aluminium de l'Argentière la seule industrie importante. A quelques kilomètres du lac, la rivière impétueuse coule dans un lit encaissé, elle a gardé tout son caractère sauvage. L'étude de l'impact du projet de barrage des Beaumes en a montré tout l'intérêt faunistique et ornithologique (1).

- En aval, au contraire, les aménagements hydroélectriques se succèdent jusqu'à son confluent avec le Rhône. L'essentiel du débit est détourné dans un canal de dérivation. La rivière n'est plus qu'un ruisseau alimenté par un débit réservé insuffisant, de 1,5 m<sup>3</sup> à Espinasse. La largeur de la vallée, à la mesure des crues mémorables qui sévissaient avant la construction du barrage, semble disproportionnée avec le filet d'eau qu'elle conduit au Rhône (2). Cette vallée n'est cependant pas dénuée d'intérêt floristique, avec le développement des ripisilves et faunistique, avec en particulier la nidification de nombreuses espèces d'oiseaux (3).

- En amont du barrage, l'Ubaye n'est qu'une moyenne rivière (25 m de large 24 m<sup>3</sup>/s de débit) également non aménagée. La vallée n'est pas industrialisée mais l'urbanisation s'y est développée depuis l'installation de plusieurs stations de ski (Complexe Barcelonnette - Pra-Loup). La pollution organique, moins diluée, semble plus importante qu'en Durance. L'étude d'impact des deux barrages prévue sur l'Ubaye nous apportera dès l'année prochaine toutes précisions utiles à ce propos (4).

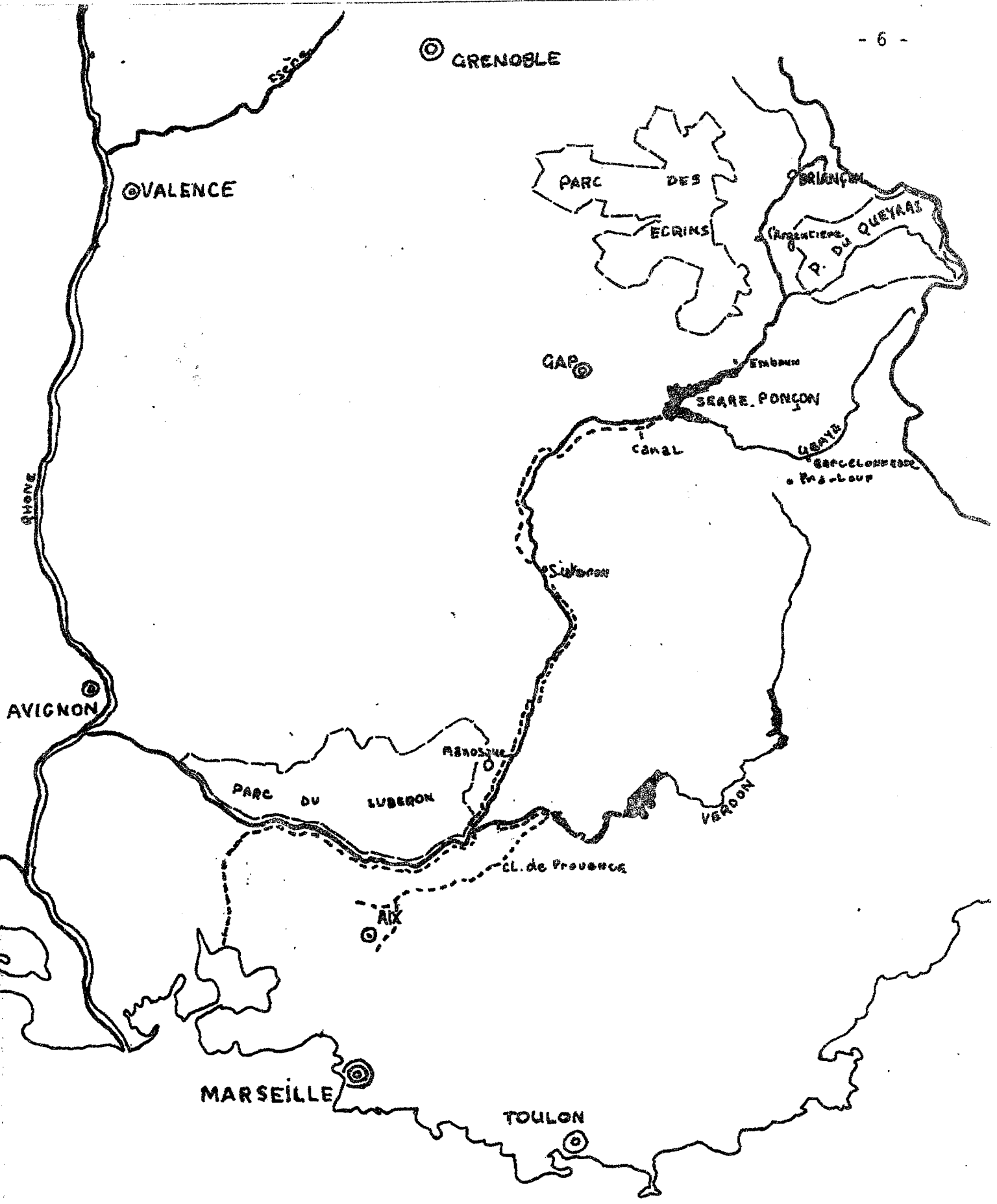


Fig. 1 - Le lac de Serre-Ponçon. Carte de situation (1/1.000.000)

### 1.3. Caractéristiques morphométriques de la retenue

Le tableau (fig.2 p.8 ) contient les valeurs des 22 paramètres abiotiques, concernant Serre-Ponçon, également utilisés pour les 175 retenues françaises dont nous avons réalisé la classification automatique (5).

La typologie établie à l'aide de ces 22 paramètres considérés dans la littérature comme déterminant le fonctionnement des retenues artificielles repose sur un traitement mathématique en 3 étapes :

- 1 analyse en composantes principales normées
- 1 analyse des correspondances multiples
- 1 classification automatique.

7 types de retenues ont ainsi été définies :

Les types T1 et T2 sont les retenues de plaine, édifiées au fil de l'eau, sur les grandes rivières. Les types T3 et T7 regroupent les réservoirs, généralement profonds, localisés sur le cours supérieur des cours d'eau. Les types T5 et T6 sont formés par des ensembles de lacs de barrage de taille moyenne situés à des altitudes modérées. Le type T4 est constitué par les plus grands aménagements hydrauliques (Serre-Ponçon, Sainte-Croix ..).

Serre-Ponçon se trouve dans le type 4 où il occupe le 12ème rang sur 19 retenues, par rapport au centre de gravité du type. La figure 3 p. 9 présente la courbe de superficie du plan d'eau et la courbe de capacité du bassin. La branche Durance est longue de 19 km, la branche Ubaye de 9 km.

### 1.4. Choix des stations (fig.4 p.10)

1.4.1. La qualité de l'eau, dont dépend le développement de la biocénose dans la retenue, est liée à celle des eaux affluentes. Aussi nous avons choisi une station en Durance, en aval d'Embrun, au dessus de la station d'enregistrement E.D.F. de la Chapière, une station dans l'Ubaye à Roche Rouse au niveau de la station d'enregistrement E.D.F.

		SERRE-PONCON
1	Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )	3580
2	Distance à la source (km)	75
3	Géologie du bassin versant (1=sedi.)	1
4	Situation géographique(5=z.medi.)	54
5	Type de régime du cours d'eau (5=pl.ni)	5
6	Altitude (m)	780
7	Profondeur maximale (m)	115
8	Surface du plan d'eau (ha)	2894
9	Type de barrage	1
10	Capacité de la retenue (M m <sup>3</sup> )	1272
11	Marnage (m)	58
12	Débit des affluents (m <sup>3</sup> )	77
13	Temps de renouvellement (j)	155
14	Niveau de la prise d'eau (m)	115
15	Volume de la tranche utile (M m <sup>3</sup> )	1050
16	Catégorie de l'usine	4
17	Fonction	12
18	Débit maximum turbinable (m <sup>3</sup> /s)	317
19	Puissance (M.V.A.)	360
20	Puissance maximale possible (MW)	-
21	Production en année moyenne (GW)	700
22	Agés en années	19

Fig.2 - Caractéristiques morphométriques de la retenue de Serre-Ponçon.

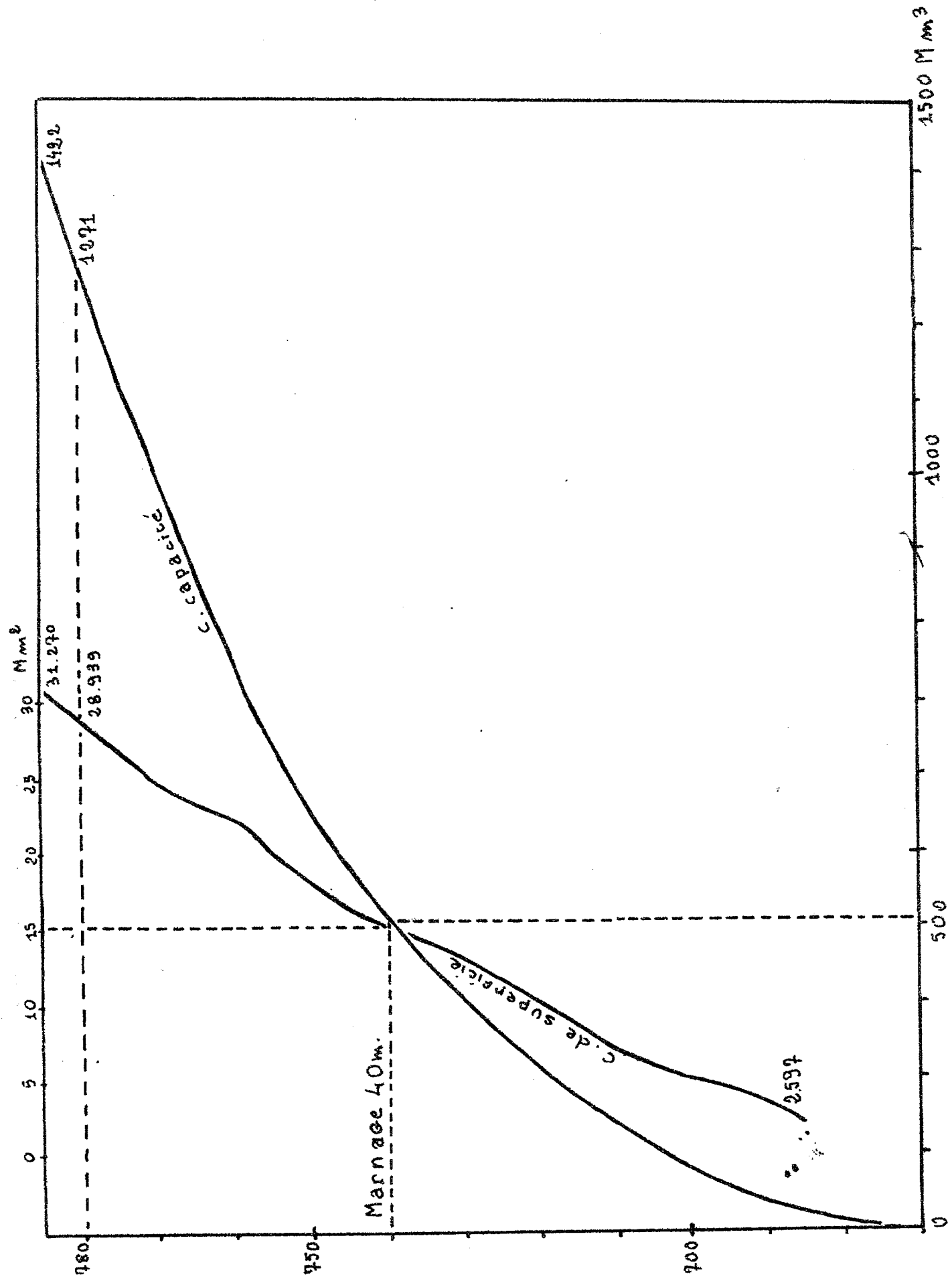


Fig.3 - Courbes de superficie et de capacité de la retenue de Serre-Ponçon

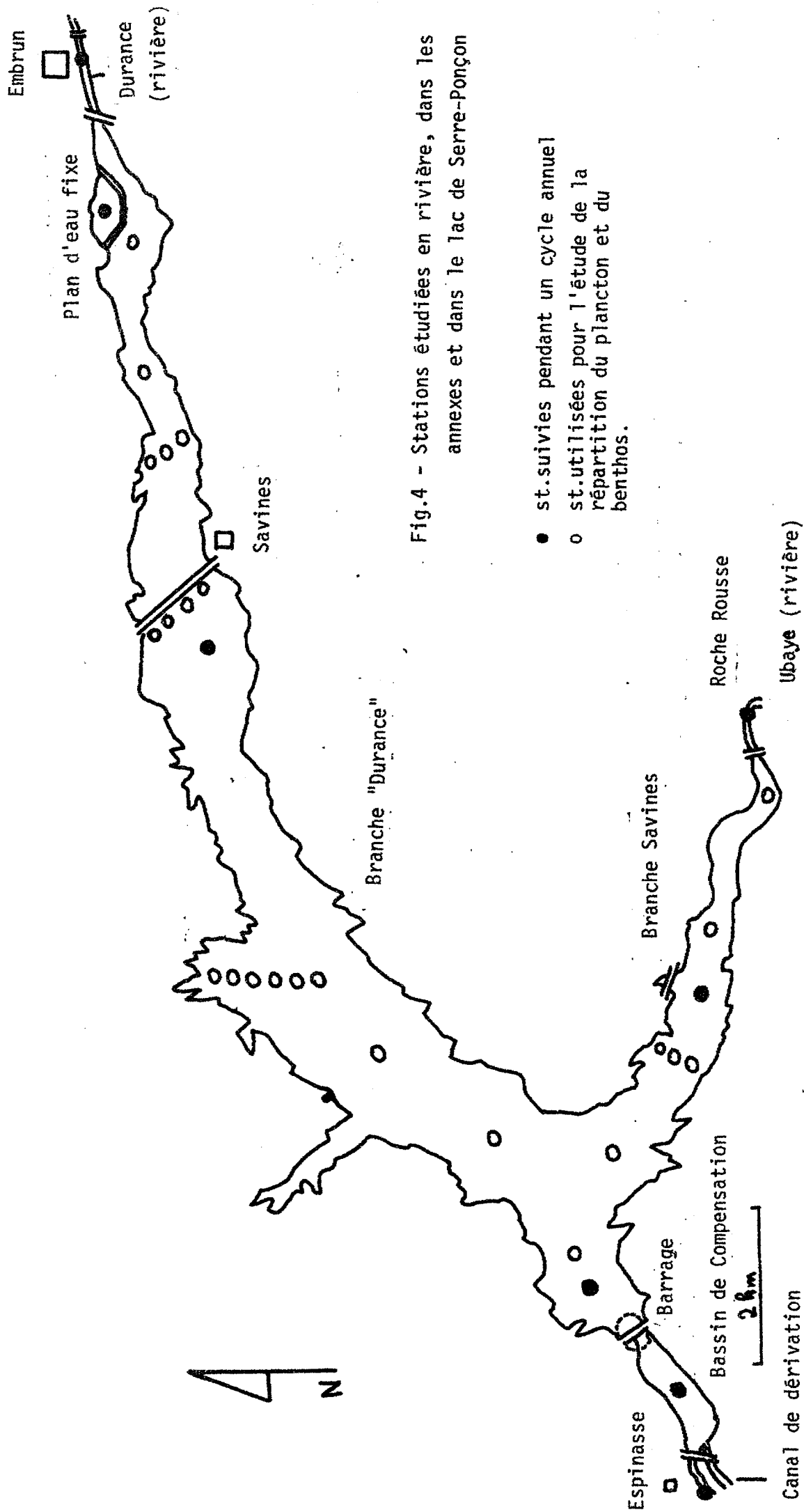


Fig.4 - Stations étudiées en rivière, dans les annexes et dans le lac de Serre-Ponçon

1.4.2. Dans la retenue, trois stations fixes suivies pendant le cycle annuel,

- l'une dans la branche Durance, à 200 m en aval du pont de Savines (St. "Savines"),
  - l'autre dans la branche Ubaye, en face du pont sur la N. 854 (St. "Ubaye").
- Dans ces deux stations situées dans l'axe de la retenue, la profondeur maximale atteint 40 mètres. Leur localisation permet de mesurer les différences éventuelles entre les deux branches du lac.
- La troisième dépasse 100 mètres de profondeur. Elle est située au niveau de la bouée centrale de la "barrière" qui limite l'accès au barrage, dans la zone de mélange des eaux provenant des deux branches du lac.
- Toujours dans le lac, d'autres stations ont été étudiées plus irrégulièrement
- 1 station après le haut fond situé en queue de retenue dans la branche Ubaye, où l'eutrophisation estivale atteint un niveau inquiétant.
  - 14 stations réparties sur toute la superficie du lac, pour étudier la répartition transversale et longitudinale de la faune.
  - Un nombre important de stations situées sur des transects transversaux comprenant des zones émergées et des zones immergées pendant l'hiver, pour étudier les conséquences du marnage sur la faune benthique.

1.4.3. Deux stations suivies pendant tout le cycle biologique, une dans le plan d'eau fixe d'Embrun par 7 mètres de fond, l'autre dans le bassin de compensation par 9 mètres de fond.

1.4.4. Une station dans la Durance, en aval du bassin de compensation, au niveau d'Espinasse, pour mesurer les conséquences du débit réservé sur la rivière.

#### 1.5. Déroulement de la recherche (fig.5 et 6 p. 12 et 13)

Les six campagnes de prélèvements prévues se sont déroulées de juin 1978 à juin 1979 (juin, août, novembre, février, avril, juin) il s'y est ajouté de nombreuses sorties pour diverses études spécifiques, en particulier celle des larves de Chironomes benthiques.

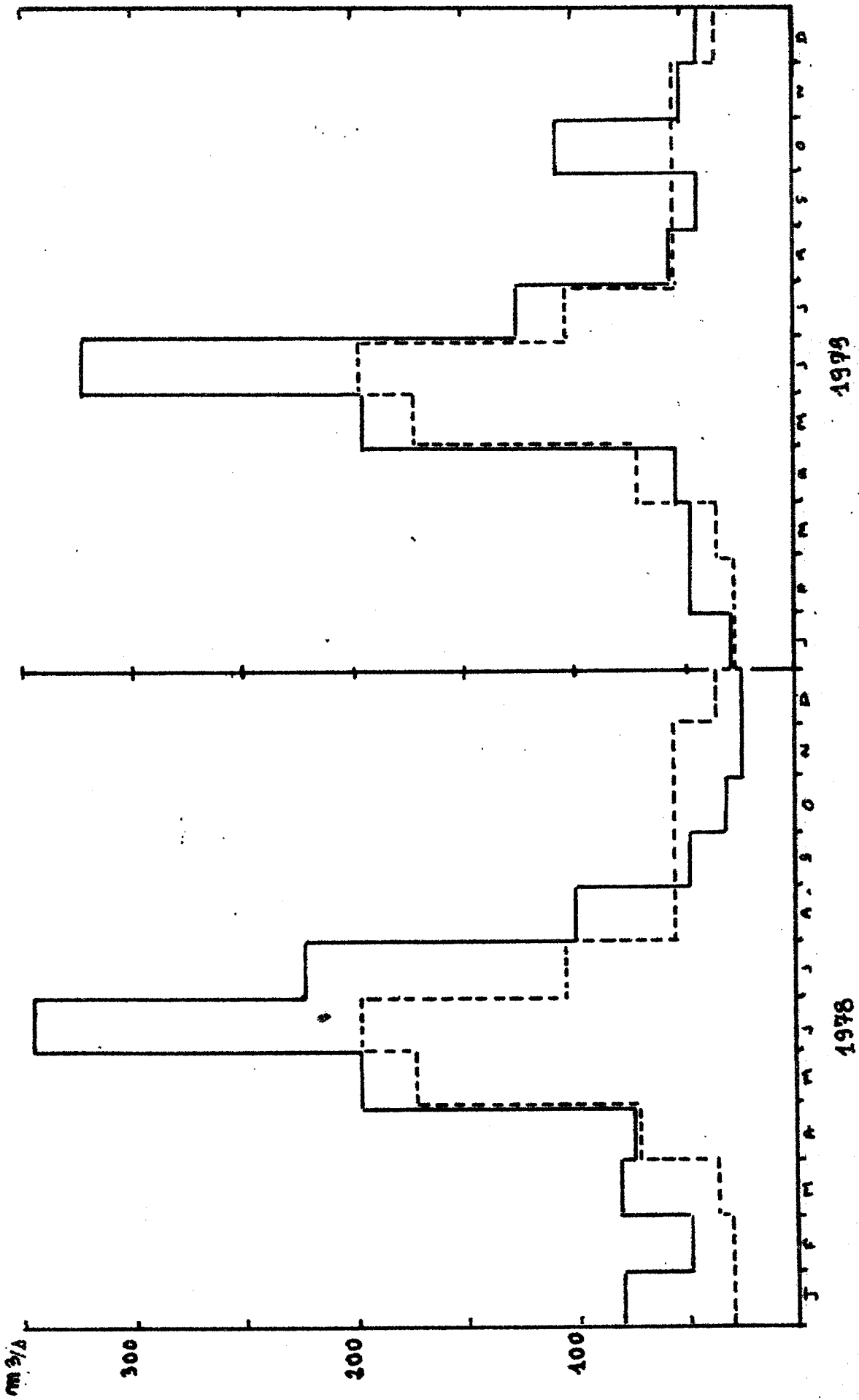
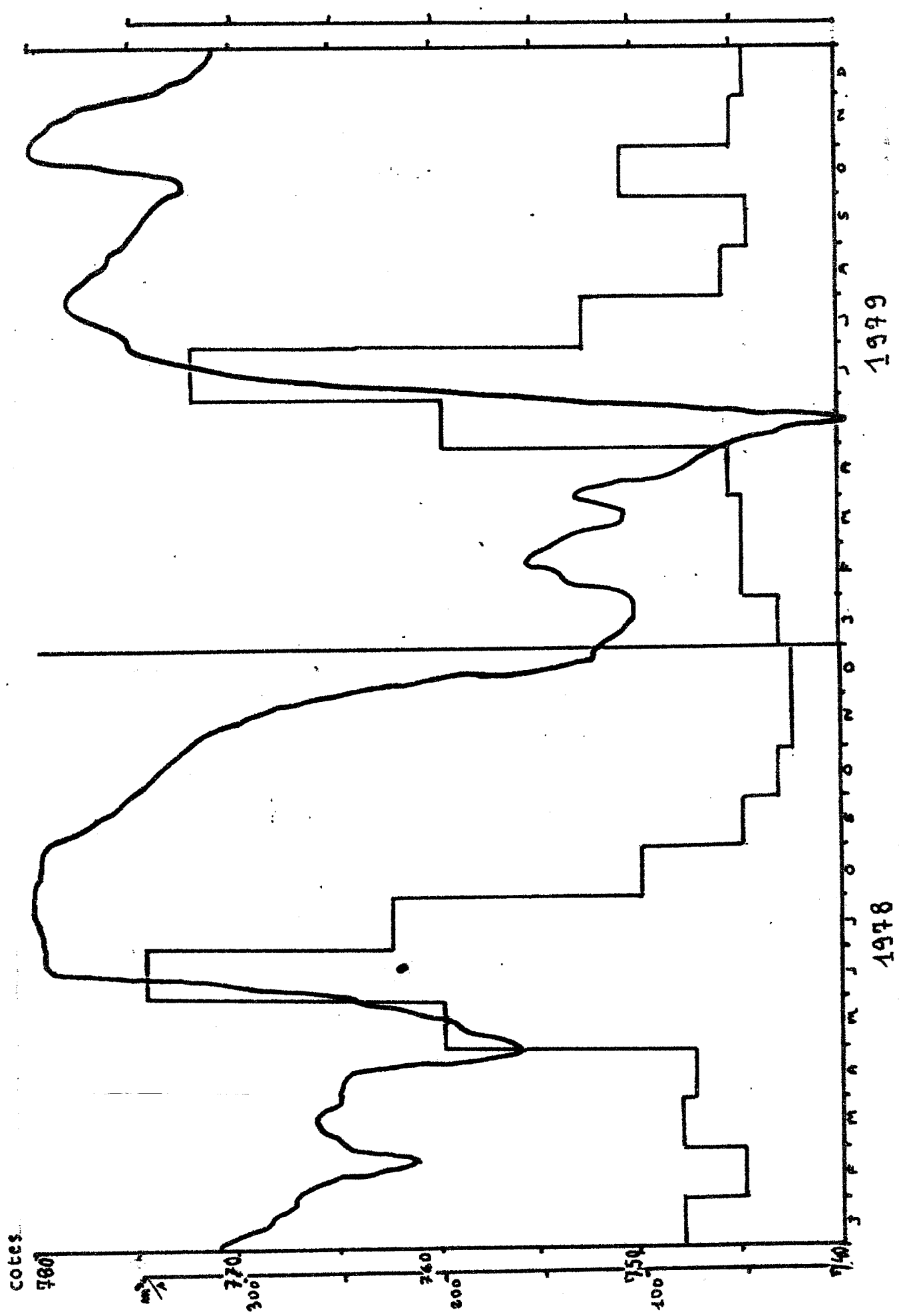


Fig.5 - Débits mensuels cumulés de la Durance et de l'Ubaye qui ont alimenté le lac de Serre-Ponçon en 1978 et 1979, en pointillé débits moyens



1979

1978

Fig.6 - Courbe de remplissage du lac de Serre-Ponçon en 1978-1979 ( en trait fin les débits cumulés de la Durance et de l'Ubaye).

Le cycle annuel considéré correspond à :

- un remplissage complet du lac lors de la crue de juin 1978 où les débits ont dépassé 350 m<sup>3</sup>/s (moyenne 200 m<sup>3</sup>/s).
- à un début de marnage, dès l'automne 1978, où les débits arrivant au lac ont été inférieurs à la moyenne.
- à un marnage très important en hiver (40 m) qui a été résorbé par la crue de mai-juin 1979. Fin avril-début mai, la superficie du plan d'eau était réduite de moitié (15 Mm<sup>2</sup> au lieu de 30) le volume d'eau stocké inférieur au 1/3 du volume normal (400 Mm<sup>3</sup> au lieu de 1500). Ces conditions de marnage nous ont empêchés d'effectuer tous les prélèvements prévus à cette date. Les autres campagnes se sont déroulées dans des conditions normales (y compris les difficultés et incidents matériels inhérents à des recherches sur un lac où les tempêtes sont fréquentes, avec des vagues de plus d'un mètre, des températures hivernales nettement inférieures à 0°).

## 1.6. Techniques et méthodes d'études

### 1.6.1. Mesures et prélèvements

Eau courante : thermomètre électrique Ysi (température); Moulinet Plastimo (vitesse du courant); Conductimètre Ysi (conductivité); Oxymètre Ysi (oxygène dissous); Surber, piochon, troubleau (indices biotiques).

Lac : sondeur Platimo (profondeur); thermistor Métrix (température) disque de Secchi (transparence); luxmètre à cellules immergeables Montedoro (courbe d'extinction); bouteille à clapet Hydro-Bios (eau pour la chimie, la microbiologie, le phytoplancton), benne d'Ekman-Birge (chimie, microbiologie des vases, faune benthique); Orange-peel (benthos des substrats grossiers) filet Clarke-Bumpus (zooplancton; vitesse du trait 3 noeuds, mesurée au lockmètre Plastimo; ouverture du filet 13 cm, vide de maille 70  $\mu$ ) filets maillants et tramails (poissons; vides de mailles 10, 27 et 50 mm).

### 1.6.2. Chimie des eaux

pH mètre Corning; oxydabilité au permanganate de potassium; alcalinité, chlorures, calcium par méthodes volumétriques; sulfates par méthode colorimétrique (valise Hach) nitrates phosphates, Chlorophylle (spectrophotomètre Cary), production primaire (compteur à scintillation liquide).

### 1.6.3. Traitement des échantillons

#### Bactériologie

Les échantillons d'eau et de vase ont été traités sur place dans un délai toujours inférieur à 3 heures.

L'étude des peuplements bactériens a été envisagée dans ses relations avec l'hydrologie et le phytoplancton. Les numérations directes ont été prises comme base de discussion, même si des numérations indirectes par culture (MPN) ont été réalisées en parallèle. L'estimation de l'activité est basée sur la vitesse de multiplication des germes et sur le nombre et l'activité des enzymes que ce peuplement fabrique avant d'avoir été modifié par culture. Cette activité a été considérée comme aussi importante que le nombre des bactéries.

#### Phytoplancton

L'inventaire a été établi à partir de prélèvements de 100 cc d'eau effectués aux profondeurs 0, 2,5, 5, 10,20 m et fond. La numération directe des cellules a été faite sur les échantillons de 100 cc d'eau. La quantité de Chlorophylle correspond à la filtration de 2 litres d'eau. L'immersion des bouteilles claires et foncées pour la mesure de la productivité primaire a été réalisée aux heures de plus grande luminosité, pendant 4 heures.

La qualité des résultats obtenus par la numération directe, pour la biomasse algale étant très supérieure à ceux obtenus par dosage de la chlorophylle, ces dosages, ainsi que les mesures de productivité au 14 C n'ont pas été interprétés dans l'étude de ce premier cycle.

#### Zooplancton

A la vitesse de 3 noeuds, le cable qui relie le filet Clarke-Bumpus au treuil du bateau fait un angle de 30° avec l'horizontale. Dans ces conditions la profondeur théorique du trait est égale à la moitié de la longueur immergée du cable. Mais le filet ne se maintient pas à une profondeur stable. Les prélèvements de zooplancton correspondent à une tranche d'eau dont l'épaisseur augmente avec la profondeur du trait (0-5m, 5-10m, 10-20m et au-delà).

Après essais, la durée du trait retenue (5') correspond à un parcours très long ( 500 m) qui permet d'amoindrir les conséquences de la répartition en essaim du zooplancton. Pour l'essentiel de l'étude, le parcours a été choisi dans la zone pélagique où le zooplancton présente une répartition horizontale relativement homogène, contrairement à ce qu'elle est dans la zone néritique (d'ailleurs difficile à délimiter).

La méthode mise au point par PONT ( 6 ) a été choisie pour le fractionnement des échantillons (erreur relative  $\pm 8,5\%$ ), la cuve de Dollfus pour le comptage des individus séparés en 4 classes de taille pour les Cladocères, en 6 classes d'âges pour les Copépodes (erreur relative  $\pm 10,75\%$ ). L'estimation de leur biomasse a été obtenus à partir des données de la littérature.

### Faune benthique

Une étude comparative de Milbrink et Wierderholm ( 7 ) a montré que la benne d'Ekman-Birge était l'une des plus efficaces pour obtenir le plus grand nombre d'individus par unité de surface dans les sédiments rencontrés (sables et argiles), même à de grandes profondeurs. De plus, son emploi généralisé permet de comparer les résultats obtenus par les différents auteurs. La surface d'échantillonnage est de 0,0225 m<sup>2</sup> sur 15 cm d'épaisseur; la reconversion en m<sup>2</sup> est obtenue en multipliant par 44,5. Des études quantitatives effectuées par Gagneur ( 8. ) ont montré que la majeure partie des animaux (90%) vivent dans les 10 premiers centimètres. Nos propres résultats corroborent ces observations. On a donc prélevé dans la couche superficielle 1 litre de sédiment à chaque opération

Dans les zones émergées, le sédiment durcit et il n'est plus possible d'utiliser la benne d'Ekman-Birge qui ne s'y enfonce pas. On prélève alors avec une pelle un même volume de sédiment, toujours dans la couche superficielle.

Le litre de sédiment retenu est trié afin de dénombrer les invertébrés qu'il contient. Pour identifier les espèces de Chironomides, il est nécessaire d'étudier les imagos. Différentes méthodes de capture ont été mises en œuvre :

- fauchage avec un filet entomologique dans les essais nuptiaux se formant au-dessus et aux abords du lac,
- piège lumineux constitué par un tube fluorescent alimenté par une batterie de 12 volts. Les adultes attirés par la lumière sont directement recueillis dans une cuvette remplie d'alcool à 70°,
- élevage des larves récoltées,
- masses d'émergence de type Mac Caudey ( 9 ) .

Utilisées notamment par Laville ( 10 ), ces nasses se présentent comme un cône de gaze en nylon de 280 micromètres de vide de maille, haut de 42 cm et d'une surface de base de 0,25 m<sup>2</sup>. Le cône se termine par un flacon de matière plastique renversé et vissé, de 500 ml de contenance et de 6 cm de diamètre à son ouverture. La base des pièges est maintenue horizontale à l'aide de trois plombs.

Les prélèvements ramenés au laboratoire sont placés dans un réfrigérateur à 8°C. Dans ces conditions, le tri sur le vivant reste possible pendant plusieurs semaines.

## 2. QUALITE DES APPORTS

### 2.1. La Durance

#### 2.1.1. Régime hydraulique

Le bassin versant a une superficie de 2270 km<sup>2</sup> à la station de jaugeage de la Clapière située à l'entrée de la retenue (fig.7 p.18) le régime hydraulique de la rivière est de type nival. Il résulte de l'altitude élevée du bassin versant (2130 m en moyenne).

La courbe des débits mensuels calculée à la Clapière (fig.8 p.19) montre que le régime est caractérisé par une période unique de crue en mai-juin et une période d'étiage en hiver de décembre à février. En été, les débits sont encore soutenus. En amont du barrage, l'importance des débits et le profil en travers de la rivière font de la Durance une grande rivière dans la classification de Huet.

#### 2.1.2. Les apports solides

Le bassin versant comprend des terrains calcaires contenant souvent une forte proportion d'éléments friables, ce qui explique l'importance des apports solides estimés à 200.000 m<sup>3</sup> dont :

- 60.000 m<sup>3</sup> composés de matériaux grossiers en provenance des dépôts glaciaires qui se déposent en queue du lac quand la vitesse du courant diminue,
- 140.000 m<sup>3</sup> composés de particules fines provenant de l'érosion des marnes et des schistes. Ces limons restent en suspension et se déposent plus en avant, ou sont transportés jusqu'au barrage sous forme d'un courant de densité.

Entre le Pont de la Clapière et le cône de déjection du Boscodon 40.000m<sup>3</sup>/ d'éléments grossiers sont prélevés par les ballastières.

Une part importante de ces apports solides sont amenés au lac pendant la crue printanière.

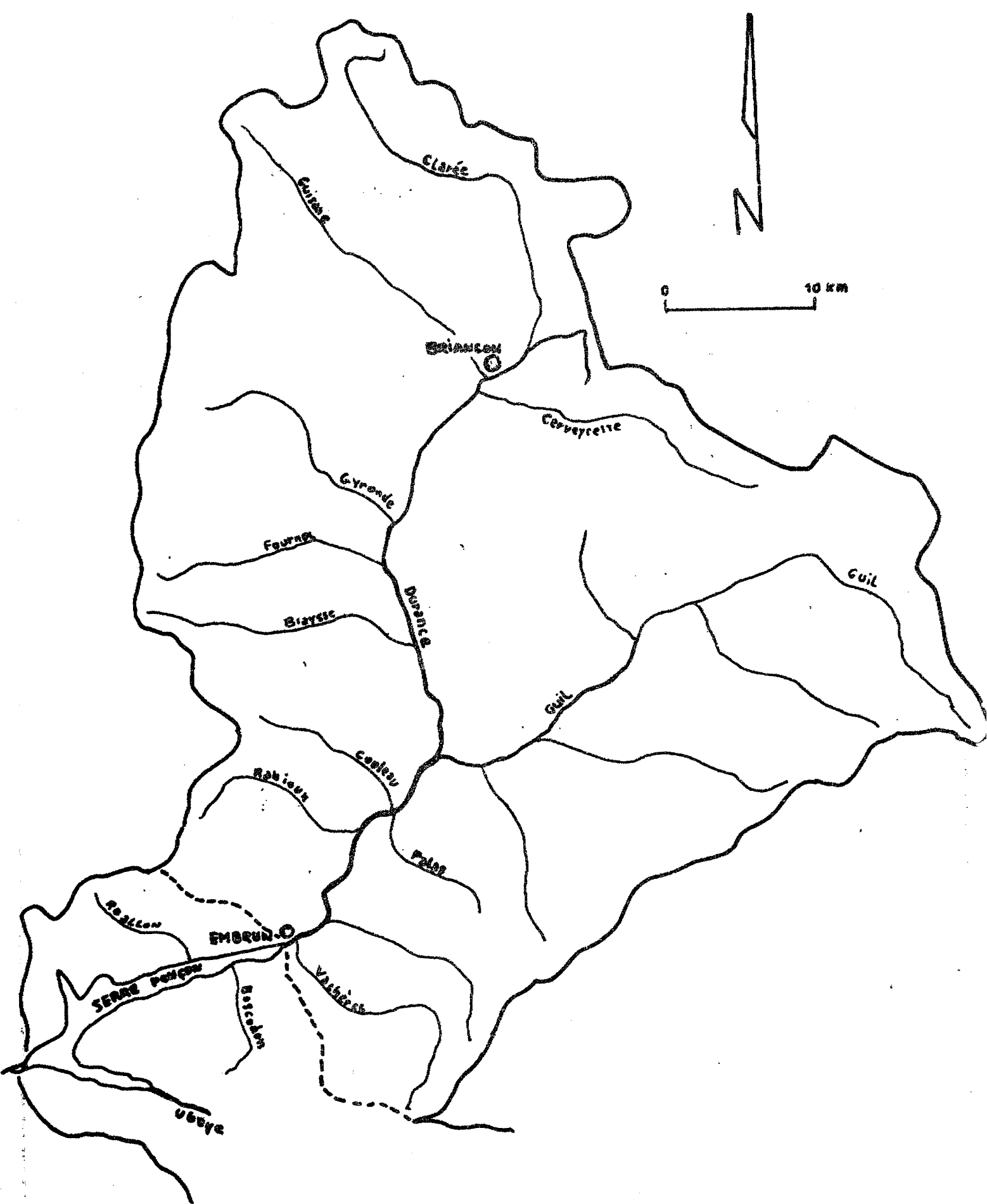
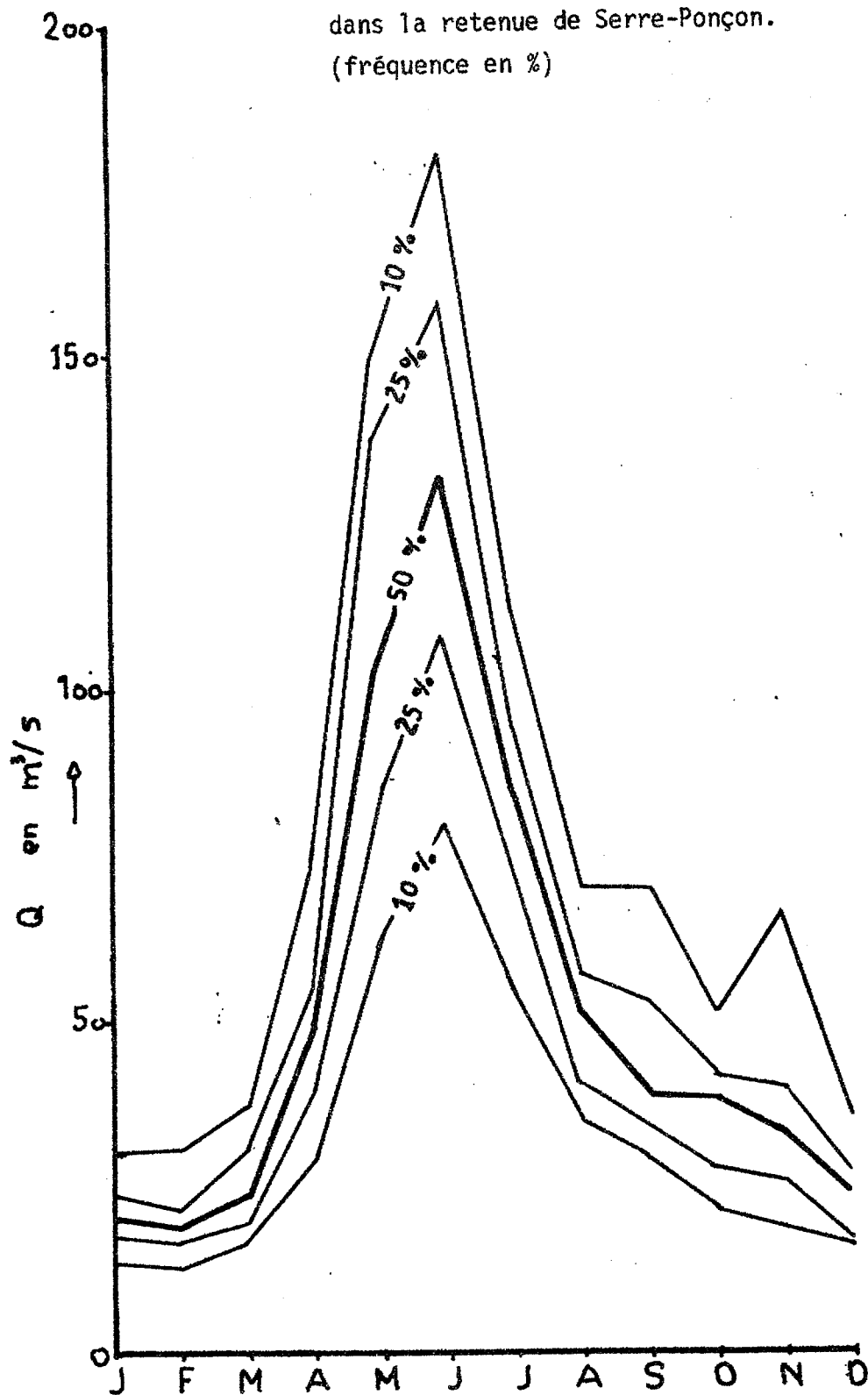


Fig.7 - Le bassin versant de la Durance de la source à la retenue de Serre-Ponçon.

Fig.8 - Courbes des débits mensuels de la Durance à son entrée dans la retenue de Serre-Ponçon.  
(fréquence en %)



N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	MODULE
36,7	24,4	22,0	21,2	26,1	49,8	107,3	133,7	85,6	50,5	43,9	39,4	53,4

La granulométrie des fonds, à dominance rocheuse, va des blocs aux sables dans le faciès lotique, de loin le plus étendu. Les supports sont à priori favorables à l'installation d'invertébrés caractéristiques du rhithron et à celle de frayères à truites. La vitesse élevée du courant (150 cm/s) empêche le dépôt des éléments fins dans la rivière.

### 2.1.3. Qualité physico-chimique des eaux (fig.9 et 10 p.21)

A l'entrée du barrage les températures moyennes journalières de l'eau de la Durance sont fraîches. Elles varient entre 3 et 12°. Les températures maximales instantanées ont été de 16°7 en août 1976, de 15° pendant la période d'étude.

Les concentrations en oxygène dissous mesurées sont toujours proches de la saturation. Maximales en hiver (12 mg/l) elles demeurent élevées en été et en automne et peuvent être considérées comme caractéristiques d'une excellente zone à Salmonidés.

Les valeurs de la conductivité témoignent d'une forte minéralisation caractéristique des régions calcaires : dureté totale et calcique élevées (classe 7 selon Nisbet et Vernaux, 11). De ce fait les pH sont très tamponnés.

Les valeurs de l'alcalinité sont caractéristiques, elles aussi, d'eaux productives. Il n'y a pas de pollution, ni par les chlorures, malgré la proximité de la ville d'Embrun (10 mg/l), ni par le fluor, malgré la proximité de l'usine d'aluminium en amont de l'Argentière (concentration < 0,1 mg/l).

Les phosphates ne sont présents durant la majeure partie de l'année qu'à l'état de traces. Les teneurs en orthophosphates sont encore très faibles en été (0,02 mg/l). Les nitrates sont mieux représentés (0,3 mg/l) mais les nitrites et l'azote ammoniacal sont pratiquement absents.

### 2.1.4. Les indices biotiques (fig.13 p.27 et 14 p.28)

Les indices biotiques dans le faciès lotique sont bons toute l'année. La valeur la plus élevée (10) qui correspond au maximum possible, a été trouvée l'été. La valeur la moins élevée, encore excellente (8) correspond à l'étiage hivernal. On retrouve des résultats aussi bons dans des stations situées en Durance plus en amont, à une dizaine de kilomètres de la queue de la retenue.

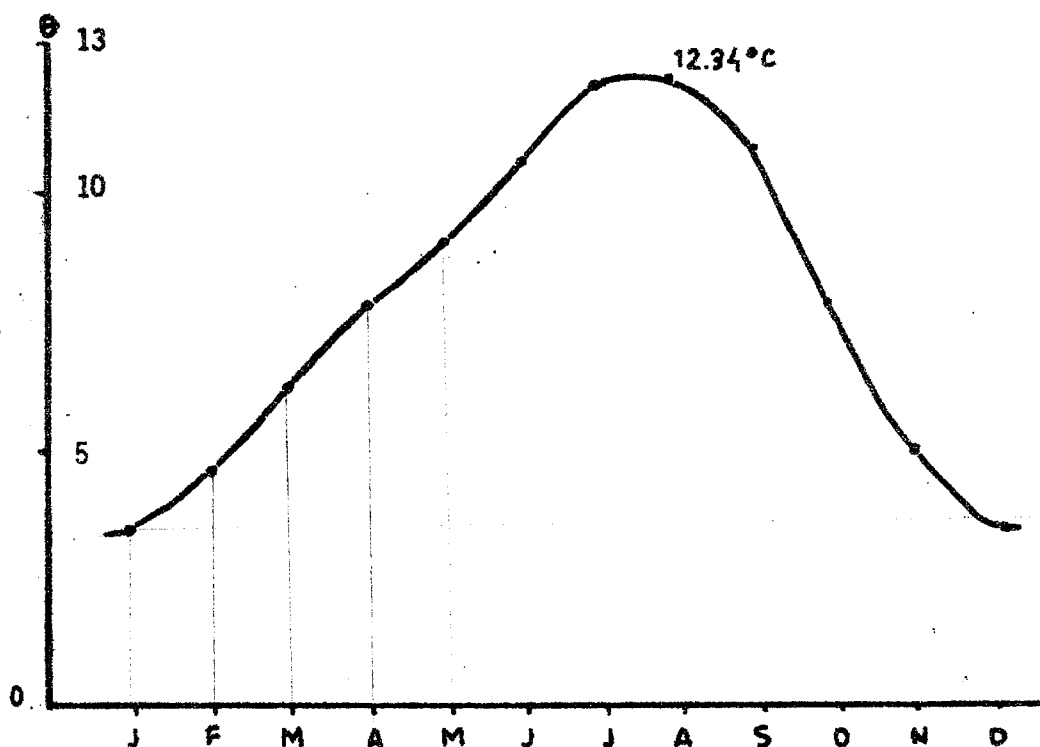


Fig. 9 - Températures moyennes des eaux de la Durance à l'entrée de la retenue de Serre-Ponçon.

	Valeurs minimales	Valeurs moyennes	Valeurs maximales	Unités
Température	5	10	15	°C
Vitesse du courant	130	165	200	cm/s
Oxygène dissous	9,3	10,5	12,8	mg/l
Conductivité	340	352	365	Mmhos/cm/cm <sup>2</sup>
pH	7,7	7,75	7,8	
Alcalinité	120	142	165	(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) mg/l
Dureté totale	140	230	320	(Ca,Mg) mg/l
Dureté calcique	100	160	220	(Ca <sup>++</sup> ) mg/l
Chlorures	10	10,5	11	(Cl <sup>-</sup> ) mg/l
Phosphates	traces	-	0,02	(PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) mg/l
Nitrates	0,4	0,3	0,2	(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) mg/l

Fig. 10 - Valeurs minimales, moyennes et maximales des paramètres physico-chimiques mesurés dans l'eau de la Durance en amont de Serre-Ponçon, pendant la période d'étude.

Le maintien des indices très élevés en lotique toute l'année traduit bien la qualité et la stabilité des peuplements rhéophiles installés sur les substrats rocheux.

En faciès lentique, les indices sont moins bons (5-8). Là encore, l'indice minimal a été relevé pendant l'étiage hivernal. Ces indices doivent être considérés comme peu significatifs de l'état biologique de la rivière :

- le faciès lentique est très peu représenté dans la Durance près de la retenue; les secteurs d'eau calme sont, de plus, très instables d'une saison à l'autre.
- Aucun paramètre physique et chimique ne vient confirmer une éventuelle mauvaise qualité de l'eau.

Il convient donc de considérer avant tout les indices obtenus en faciès lotique.

A l'étiage d'hiver, la situation dans l'affluent des Vachères qui se jette dans la Durance à 1 km du lac est moins bonne du fait de l'augmentation de la charge organique en provenance de la station de ski des Orres. Mais, pour l'instant, cette pollution a peu de répercussion sur la rivière.

#### 2.1.5. Le peuplement piscicole

L'évaluation de la densité du peuplement piscicole a été faite à partir de 3 pêches en mars 1979 (méthode triple catch). Un nombre important de truites fario ont été capturées (251) plus une anguille mais aucun des Cyprinidés abondant dans le lac.

A cette période on a estimé la population à 150-200 truites sur une bande de 5 à 7 m de large et 100 m de long, ce qui correspond aux résultats obtenus par les garde-pêches. Comme le suggère l'excellente qualité des eaux et la richesse du peuplement d'invertébrés, la Durance est donc une excellente rivière à truite où la reproduction est active.

## 2.2. L'Ubaye

### 2.2.1. Régime hydraulique (fig.11 et 12 p.24 et 25 )

Le bassin versant a une superficie de 946 km<sup>2</sup> à la station de Roche Rousse, située à l'entrée de la retenue. Le régime hydraulique de la rivière est de type nival, comme celui de la Durance, et pour les mêmes raisons (altitude élevée du bassin versant).

La courbe des débits mensuels calculée à Roche Rousse a la même allure que celle calculée pour la Durance :

- période de crue unique en mai juin (60 m<sup>3</sup>/s)
- période d'étiage de décembre à février (7 m<sup>3</sup>/s)
- débits soutenus en été (25 m<sup>3</sup>/s)

L'Ubaye, près du lac, est à la limite de la définition d'une grande rivière.

### 2.2.2. Les apports solides

La matière géologique du bassin versant est marno-calcaire mais les superficies des calcschistes et des terres noires très friables sont relativement plus étendues que dans le bassin versant de la Durance, aussi les apports solides seraient de l'ordre de 1.000.000 de m<sup>3</sup> dont l'essentiel composé de particules fines (5 fois plus que la Durance, pour un débit 2 fois moins important). Mais seulement 3 à 400.000 m<sup>3</sup> se déposent dans le lac, le reste étant évacué par les vidanges de fond et les turbines du barrage.

La granulométrie des fonds, dans l'Ubaye, est, comme en Durance, à dominance rocheuse. Le faciès lentique occupe une superficie réduite par rapport au faciès lotique où le courant élevé empêche le dépôt des éléments fins. Ainsi on rencontre essentiellement des éléments grossiers, des blocs aux sables, caractéristiques de la zone du rhithron.

### 2.2.3. Qualités physico-chimiques de l'eau

A Roche Rousse, 500 m en amont de la queue du lac, les températures sont identiques à celles mesurées sur la Durance, à la Clapière (3° en hiver, 12° en été) et donc très favorables à l'essor d'une population de truites, d'autant plus que la concentration en oxygène dissous se

Fig. 11 - Le bassin versant de l'Ubaye

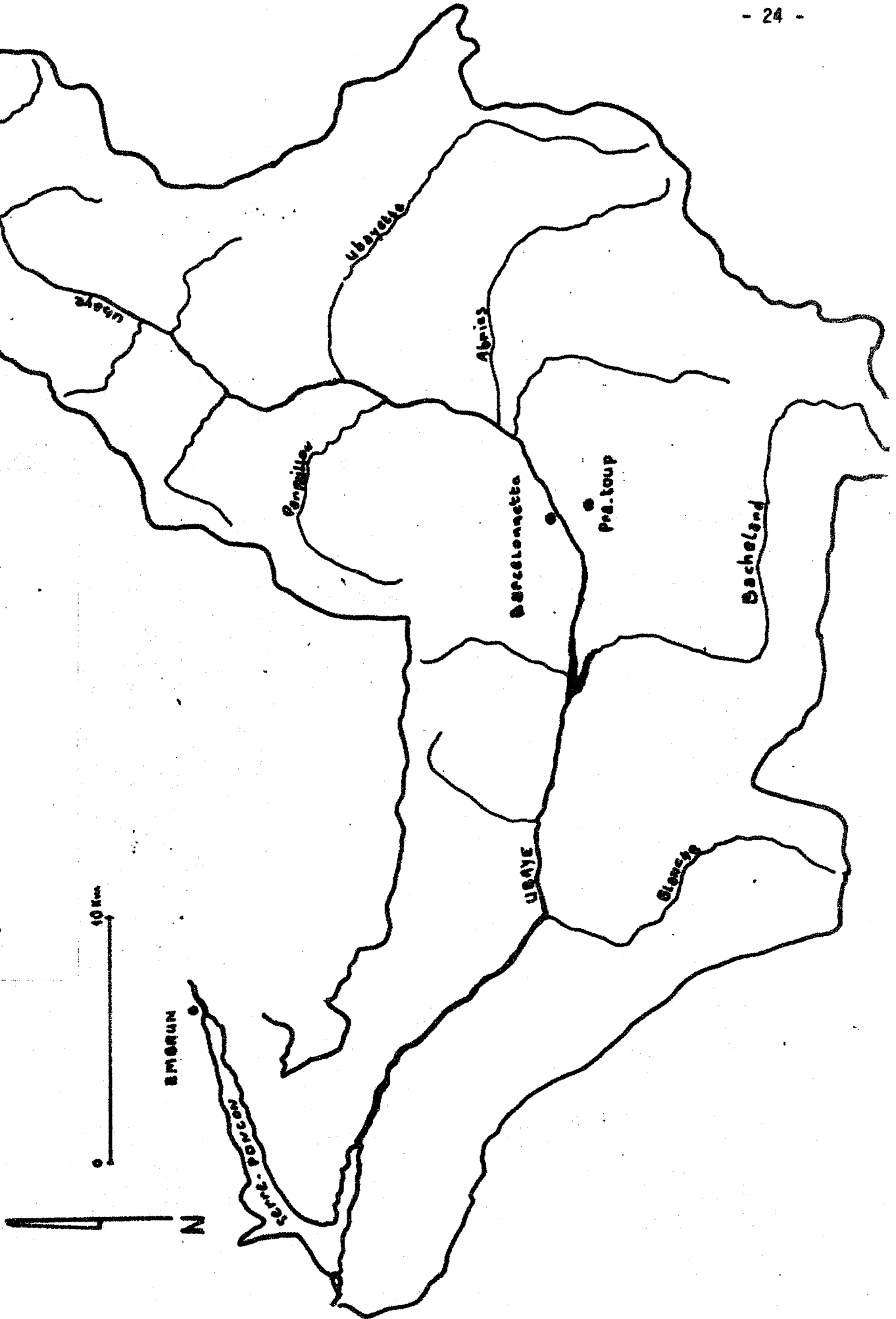
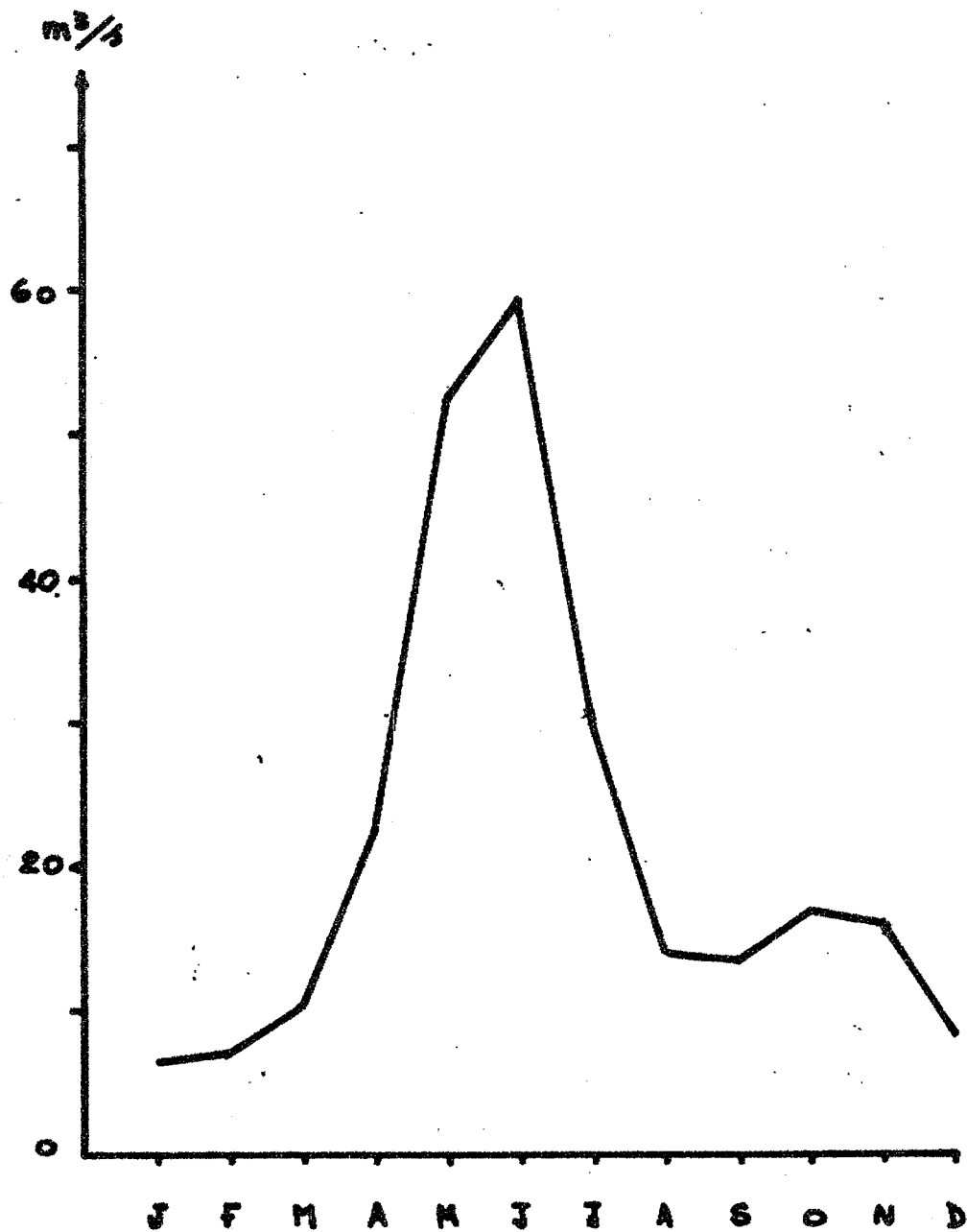


Fig.12 - Courbe des débits mensuels de l'Ubaye  
à son entrée dans la retenue de Serre-Ponçon.



J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MODULE
6,5	7,1	10,5	22,4	52,5	59,5	30,3	14,0	13,4	16,9	16,1	7,9	21,5

maintient autour des valeurs à saturation pendant toute l'année.

Les autres caractéristiques physico-chimiques sont également très semblables à celles des eaux de la Durance à Embrun :

- conductivité élevée ( 300  $\mu$ mhos/cm)
- absence d'azote ammoniacal et de nitrites
- faibles teneur en phosphates (< 0,01)

Par contre les teneurs en nitrates sont 2 fois plus élevées (0,5-1 mg/l).

#### 2.2.4. Les indices biotiques (fig.13 et 14 p.27 et 28 )

Ils sont proches du maximum en faciès lotique et lentique même en période d'étiage hivernal à Roche Rousse mais aussi dans les stations situées plus en amont (9-10). Les groupes faunistiques caractéristiques des eaux courantes, comme les Plécoptères sont bien représentés dans l'Ubaye (5 espèces). Comme en Durance, le faciès lentique est peu étendu et difficile à délimiter.

#### 2.2.5. Le peuplement piscicole

Le nombre de truites pêchées à Roche Rousse est peu élevé (15) pour un effort de pêche comparable à celui effectué en Durance, mais la pêche a été faite vers la fin de la période de fraie, en janvier. Les truites étaient concentrées, à cette date, en amont, près de Barcelonnette. En dehors de l'hiver, il est très vraisemblable que les truites soient réparties sur tout le cours de la rivière. L'Ubaye est donc, comme la Durance une excellente rivière à truites, où la reproduction est active. 10 chabots ont été également capturés à Roche Rousse.

En définitive, la Durance et l'Ubaye, qui alimentent la retenue de Serre-Ponçon, sont de bonnes rivières à truites. Malgré une charge très importante en matériel en suspension pendant la crue printanière la qualité physico-chimique et biologique des eaux est encore excellente.

	ST: DURANCE		ST: UBAYE	
	en clair	en code	en clair	en code
Catégorie piscicole	Salmonidé	1	Salmonidé	1
Largeur de la rivière	50 m	5	30 m	3
Zone écologique	Hyporithron	2-3	Hyporithron	2-3
Altitude	800	080	800	080
Nature géologique	-	-	-	-
- du bassin versant	Marno-calcaire	1	Marno-calcaire	1
- du lit de la rivière	"	1	"	1
Granulométrie dominante	Blocs cailloux	1-2	Cailloux galets	2
faciès lotique	sablon	5	sablon	5
"  lentique	gravier	3	gravier	3
Granulométrie accessoire	sable	4	sable	4
Nature de la couverture végétale	algues	3	algues	3
dominante en lotique	algues	3	algues	0
"  lentique				
Importance de la couverture				
végétale en % de la surface du	10-40%	10-40%	20-80%	20-80%
fond				
vitesse du courant				
en lotique	130-200cm/s	130-200	100-150cm/s	100-150
en lentique	0-10 "	0-10	0-10 "	0-10
Profondeur en lotique	10-80 cm	10-80	10-50 cm	10-50
"  lentique	20-100 "	20-100	10-20 "	10-20
Ensoleillement moyen	dégagé	4	dégagé	4
Couleur	incolore		incolore	
	jaune-gris	0-04	vert	0-03
Groupe faunistique le				
plus élevé en faciès lotique	plécoptère		plécoptère	
"  lentique	plécoptère		plécoptère	
Nbre total d'unités systématique				
en faciès lotique IC	8-17	8-10	10-15	9
en faciès lentique, I L	5-13	5-8	8-13	8-9

Fig.13 - Etude ponctuelle de la qualité biologique des eaux

- de la Durance (Station d'Embrun)
  - de l'Ubaye (Station de Roche Rousse)
- à l'entrée de la retenue de Serre-Ponçon.

		Station Durance		Station Ubaye	
		lotique	lentique	lotique	lentique
Algues	Lemania	x	x	x	
	Cladophora	x			
	Diatomées	x			
Plécoptères	Protonemura	x		x	
	Leuctra	xxx		x	x
	Brachyptera	x		x	x
	Perla	x		x	
	Capnia			x	x
Trichoptères	Drusus	x	x		x
	Rhyacophila	x		x	
Ephémoptères	Rhitrogena	xx		x	
	Baetis	xxx		x	
Coléoptères	Halipius	x			
Diptères	Simulidae	xx			
	Orthocladinae	xxx	x	x	x
	Diamesinae	x	x	x	x
	Prodiamesinae			x	
	Tanytarsiens	x	x		
	Tanypodinae		x		
	Chironomiens	x	x		
	Limnolindae				x
	Empididae				x
	Ceratopogonidae				x
	Blepharoceridae	xx			x
	Doliconodidae				x
Oligochètes	Tubificidae	x	x		
	Naiadidae	xx	x		
	Enchybidae				x
Mollusques	Limnea				x
Hydracariens		x		x	
Nématodes		x			

Fig.14 - Liste faunistique des genres récoltés aux stations d'Embrun (Durance) et de Roche Rouse (Ubaye)

### 3. LE DOMAINE PELAGIQUE

#### 3.1. Evolution saisonnière

##### 3.1.1. La crue du printemps 1978 (campagne de juin)

###### 3.1.1.1. Physico-chimie (fig.15 à 17, p.51 à 53 )

Le 12 juin 1978 la crue de la Durance et de l'Ubaye vient d'avoir lieu, le lac est presque plein (à 2m,5 de la côte 780) après la période de marnage hivernal (fig.6 p.13).

La température est déjà élevée dans l'air (moyenne de juin 13° à la station météorologique d'Embrun). L'eau de surface s'est réchauffée (13-15°) tandis que l'eau du fond est de l'eau de crue (9-10° en-dessous de 10 m à Savines, de 5m à Ubaye et de 20 m au barrage).

Le pH est peu différent dans les trois stations où l'écart surface-fond ne dépasse pas 0,3 (Savines : 7,9-7,6 mg/l; Barrage : 7,6-7,5; Ubaye : 7,6-7,5). La teneur en bicarbonates est élevée (Savines:150-130 mg/l; Barrage : 170-160 ; Ubaye : 150-160). En effet, pour des valeurs de pH comprises entre 4,8 et 8,3 la forme bicarbonate prédomine dans les équilibres acide carbonique - bicarbonates - carbonates. Dureté calcique et totale exprimées en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  sont également élevées dans les trois stations (respectivement 170 et 200 mg/l), ce qui explique la stabilité du pH, puisque dans les régions calcaires l'ensemble des réactions eau carbonates insolubles -  $\text{CO}_2$  dissous - bicarbonates solubles aboutit à des milieux tamponnés.

En relation avec la crue, les teneurs en matières en suspension apportées par la Durance et l'Ubaye sont très élevées jusqu'au barrage, comme en témoigne la faible transparence (Secchi:2,5 m dans les 3 stations).

Les teneurs en  $Cl^-$  sont faibles (3,5 mg/l), nettement en dessous des teneurs indicatrices d'une pollution urbaine ou industrielle. Le milieu est bien oxygéné dans les 3 stations (81-91% de la saturation). Les teneurs très élevées au niveau du fond (86%) correspondent à des conditions de stockage des nitrates et phosphates dans le sédiment. Il est probable que le relargage du phosphore et de l'azote minéralisé pendant l'hiver est relativement peu important : E.THOMAS (12 a montré qu'il était de 1 à 2% pour le phosphore en milieu aérobie et de 8 à 25% en milieu anaérobie. D'ailleurs les teneurs en  $N.NO_3$  et  $P.PO_4$  sont relativement peu élevées ( $N.NO_3$  de l'ordre de 1-1,5 mg/l;  $P.PO_4$  : 0,1-0,5 mg/l). Le rapport  $\frac{N}{P}$  est voisin de 10 dans la tranche d'eau donc favorable à la production primaire.

### 3.1.1.2. Bactériologie (fig.18 à 20 p.54 à 56 )

Le nombre de germes est élevé à Savines, en surface et au fond, avec un minimum situé à 5 m. Il est trois fois plus faible, en surface et au fond, à Ubaye et Barrage, mais le maximum est à 5 m dans ces deux stations.

L'activité bactérienne, basée sur la vitesse de multiplication des germes est faible dans les trois stations, de la surface au fond. Elle est probablement limitée par la température encore peu élevée. Par contre, l'activité enzymatique est importante, avec un maximum à 10 m de profondeur.

### 3.1.1.3. Phytoplancton (fig. 18 à 21 p.54 à 57 )..

A Savines, la population phytoplanctonique a déjà commencé à se multiplier, au moins en surface ( $0,38.10^6$  cellules/l avec une biomasse de 0,37 mg/l).

Les espèces présentes sont :

Diatomées : *Asterionella formosa* (dominante), *Fragilaria crotonensis*

Dinoflagellés : *Ceratium hirundinella*

On a une concentration élevée en nutriments et... un rapport  $\frac{N}{P}$  favorable ( $N.NO_3$  : 1 mg/l;  $P.PO_4$  : 0,1 mg/l;  $\frac{N}{P} = 10$  ). La population n'a pas fini sa croissance et n'est constituée que d'espèces dites oligotrophes.

Les quantités d'azote et de phosphore sont plus élevées à Ubaye qu'à Savines. La population phytoplanctonique est également deux à trois fois plus dense. Le nombre de cellules atteint  $1,4 \cdot 10^6/l$ , la biomasse étant de 1,25 mg/l au maximum.

Les espèces présentes sont :

Diatomées : *Asterionella formosa* (dominante), *Fragilaria crotonensis*,  
*Synedra acus*.

Dinoflagellés : *Ceratium hirundinella*, *Peridinium tabulatum*.

Chlorophycées : *Pandorina morum*.

Dans cette station l'enrichissement en substances nutritives est plus important qu'à Savines et la population phytoplanctonique réagit, mais l'espèce dominante est la même.

La concentration en azote (1,1 à 1,5 mg/l) et en phosphore (0,2 à 0,5 mg/l) est élevée près du barrage avec un rapport  $\frac{N}{P}$  faible. Sous l'influence de la rivière Ubaye, l'enrichissement en phosphore est très net. La population phytoplanctonique a augmenté par rapport à Savines, mais elle n'est pas aussi développée qu'à Ubaye ( $1,1 \cdot 10^6 C/l$  pour une biomasse de 1,1 mg/l).

Les espèces présentes sont :

Diatomées : *Asterionella formosa* (dominante), *Fragilaria crotonensis*

Dinophycées : *Peridinium tabulatum*

Chrysophycées : *Mallomonas caudata*.

Le fait à signaler est l'antagonisme très net entre les populations bactériennes et phytoplanctoniques. A Savines, la profondeur de 5 m correspond au maximum de phytoplancton et au minimum des bactéries. Le maximum d'activité enzymatique se situe à 10 m, c'est-à-dire au niveau où le phytoplancton diminue. C'est également à ce niveau que le rapport  $\frac{N}{P}$  est le plus élevé, la consommation du phosphate étant ici vraisemblablement de nature bactérienne. On observe le même phénomène au Barrage, à 5 m de profondeur, et à Ubaye où il est moins net, mais où le maximum bactérien se situe également au-dessous du maximum du phytoplancton.

#### 3.1.1.4. Le zooplancton (fig.22 à 25 p.58 à 61)

En juin, le développement du phytoplancton décrit ci-dessus a déjà permis l'essor des populations zooplanctoniques dont l'évolution saisonnière a été suivie à la station située près du barrage. L'effectif total est élevé, 18.300 individus/m<sup>3</sup>, pour une biomasse de 1.200 mg/m<sup>3</sup>. L'essentiel du peuplement est assuré par une seule espèce de Crustacé, le Cladocère *Daphnia hyalina* avec 15.500 individus/m<sup>3</sup> représentant une biomasse de 1.010 mg/m<sup>3</sup> dont les 3/4 de juvéniles et le dernier quart de femelles parthénogénétiques. Les Rotifères et les Ostracodes habituellement présents dans les lacs mononictiques de la région, sont rares ou absents. Les Copépodes, autres Crustacés souvent dominants, sont représentés par l'espèce de Calanide *Acanthodiptomus denticornis* (1500 ind./m<sup>3</sup>) et un Cyclope *Cyclops vicinus vicinus* (1300 ind/m<sup>3</sup>). Pour ces deux espèces, les stades jeunes sont également les plus nombreux.

La répartition verticale est la même pour l'espèce de Cladocère et les deux espèces de Copépodes : la majorité des individus se tient entre 2,5m et 15 m de profondeur dans la mi-journée; mais toute la colonne d'eau est colonisée par les zooplanctonites encore nombreux à 30 m.

#### 3.1.2. La période estivale (campagne d'août 1978).

##### 3.1.2.1. Physico-chimie (fig. 15 à 17, p.51 à 53 )

Le lac est plein depuis la fin juin et le niveau reste élevé jusqu'en novembre (fig.6 p. 13).

Au Barrage, la température baisse régulièrement de 18,5° en surface à 12,5° à 10m, soit moins d'un degré par mètre. Puis elle remonte à 13° au fond. Phénomène tout à fait remarquable, il n'y a donc pas de véritable thermocline, puisque la thermocline correspond à une tranche d'eau où la température change d'un degré tous les mètres. La situation est peu différente à Savines mais la température décroît de 20,5° à 16° de la surface à 15 mètres de profondeur, soit 0,3 degré par mètre. Ensuite elle se maintient à 12° jusqu'au fond. Dans la branche Ubaye, la température passe de 19,5° à 15,5° à 15 m, soit 1/4 de degré par mètre. Elle est de 13°

à 35 mètres. Entre 5 et 10 m la baisse de température est plus rapide ( $0,5^{\circ}$ ) qu'aux deux autres stations. Le lac n'est donc pas nettement stratifié en été comme c'est le cas pour les lacs naturels de la région et les retenues hydro-électriques du Verdon que l'on peut ranger ensemble dans la catégorie des lacs monomictiques chauds de 2ème ordre (une période de stratification estivale, une période de mélange de l'automne au printemps).

Il conviendrait de vérifier si cette situation se renouvelle d'année en année. Elle pourrait résulter, en partie, de l'existence de courants de fond importants dus à la double alimentation par la Durance et l'Ubaye, mais aussi de l'action des vents dominants du sud-ouest et du nord-est qui soufflent dans l'axe de la vallée d'Embrun.

Pour les raisons évoquées précédemment, les valeurs du pH varient peu (7,8-7,9) entre la surface et le fond, dans les trois stations où elles sont les mêmes. Les teneurs en bicarbonates ont légèrement baissé au Barrage et à l'Ubaye (comme celles de la dureté calcique et de la dureté totale dans les 3 stations, ce qui peut correspondre à la transformation d'une partie du bicarbonate soluble en carbonate insoluble qui sédimente. En effet, l'activité photosynthétique élevée à cette période consomme du  $CO_2$ , d'où une évolution de l'équilibre bicarbonates-carbonates vers les carbonates.

Depuis juin, les matières en suspensions apportées par la crue ont sédimenté. La transparence est, de ce fait, plus élevée, malgré le développement du phytoplancton (6,6 m à Savines, 6,4m à Ubaye et 7,2 m au Barrage). Au Barrage et à l'Ubaye, les quantités de matières en suspension augmentent de la surface au fond ( de 30 à 40 mg/l). La transparence est par contre très faible en queue de la branche Ubaye (0,6m), après la zone de haut-fond déjà signalée et en relation avec l'explosion phytoplanctonique qui s'y manifeste à cette période.

Avec l'afflux des touristes, la concentration en  $Cl^-$ , sans être inquiétante (entre 7 et 9 mg/l), a plus que doublé depuis juin dans les trois stations.

Le milieu demeure très bien oxygéné de la surface au fond. Dans les premiers mètres, l'augmentation importante de la densité phytoplanctonique s'accompagne d'une sursaturation en oxygène dissous (110% dans les 10 premiers

mètres à Barrage et Ubaye, 102% à Savines). Puis, les concentrations baissent pour atteindre un minimum élevé quand l'activité photosynthétique décroît et le processus de la minéralisation commence à se manifester (85% après 20 mètres). Il est intéressant de constater qu'au niveau du fond, sur toute la surface du lac, la teneur élevée en oxygène dissous limite le relargage des phosphates et de l'azote à partir des vases, à un moment où un apport de nutriments contribuerait au développement de l'eutrophisation.

En août, on observe une importante chute de la concentration en  $N.NO_3$ . Elle est, en moyenne, de 0,23 mg/l à Savines, 0,26 mg/l à Barrage, 0,17 mg/l à Ubaye, dans les 15 premiers mètres, ceci en relation avec le développement du phytoplancton dans les couches les plus éclairées. La concentration en  $N.NO_3$  des couches d'eau plus profondes est par contre peu modifiée par la consommation qu'en fait le phytoplancton devenu plus rare (de 0,4 à 0,7 mg/l). Dans la zone euphotique, on constate également une chute des teneurs en  $P.PO_4$  toujours en relation avec la densité élevée en cellules phytoplanctoniques : la concentration dans les 3 stations est inférieure au seuil de détection ( $< 0,001$  mg/l). Le léger pic de concentration de  $P.PO_4$  à 2,5 m peut être corrélié avec une diminution de la biomasse phytoplanctonique et une augmentation de l'activité bactérienne localisée à ce niveau.

#### 3.1.2.2. Bactériologie (fig. 19 à 20 p. 54 à 56)

A Savines, le nombre de germes a diminué depuis juin, mais reste du même ordre de grandeur ( $10^6$  cellules/ml) avec un minimum à 2,5m. Cette situation est paradoxale si l'on en croit les données de la littérature, une forte augmentation de la matière organique devant s'accompagner d'une augmentation du nombre de germes. Il s'agit ici d'un antagonisme avec les populations phytoplanctoniques prospères en août.

La station Ubaye est également appauvrie par rapport à juin et caractérisée par une forte densité bactérienne au niveau du fond. La station la plus pauvre, avec également une augmentation du nombre de germes dans les couches profondes est celle située près du barrage.

En ce qui concerne l'activité bactérienne, elle a été profondément modifiée, par rapport à juin, dans les stations de Savines et Barrage : elle a augmenté (la multiplication bactérienne est rapide) et s'est

diversifiée (le nombre d'enzymes détectables est plus élevé). A Savines, l'activité bactérienne est moins forte et le maximum est situé plus bas (de 20 à 40 m). Là encore, on observe une dépendance étroite vis à vis du phytoplancton : la population bactérienne est limitée dans les couches de surface par le phytoplancton actif, et reprend en dessous de la couche euphotique.

A Ubaye, l'activité est très inférieure à celle des autres stations ce qui indique, là encore, une nette tendance à l'eutrophisation.

### 3.1.2.3. Phytoplancton (fig.18 à 21 p.54 à 57)

La forte consommation du phosphore et de l'azote mentionnée précédemment, avec un rapport  $\frac{N}{P}$  proche de 40, correspond à une population phytoplanctonique qui a décuplé à Savines ( $3,6 \cdot 10^6$  C/l) pour une biomasse de 1,8 mg/l, qui a seulement quintuplé du fait de l'apparition de petites espèces.

Les espèces présentes sont :

Diatomées : *Cyclotella comta* (sub dominante), *Fragilaria crotonensis*,  
*Synedra ulna*, *Nitzschia acicularis*, *Asterionella formosa*

Dinophycées : *Ceratium hirundinella*

Chrysophycées : *Chromulina* sp. (dominante), *Dinobryon sertularia*

Chlorophycées : *Chlorella vulgaris* (dominante)

Cryptophycées : *Rhodomonas* sp.

Spores de champignons :  $70 \cdot 10^6$  C/l de 0 à 10 m.

Au barrage, l'azote et le phosphore ont moins diminué que dans les autres stations ( $N \cdot NO_3$ , de 0,1 à 0,7 mg/l;  $P \cdot PO_4$ , de 0,01 à 0,04 mg/l), mais le rapport- $\frac{N}{P}$  atteint 110 à 40 m où se situe le maximum de l'activité bactérienne. La densité du phytoplancton est voisine de celle d'Ubaye ( $6,6 \cdot 10^6$  C/l, biomasse, 2,6 mg/l).

Les espèces présentes sont :

Diatomées : *Cyclotella comta* (sub dominante), *Fragilaria crotonensis*,  
*Nitzschia acicularis*, *Synedra ulna*, *Asterionella formosa*

Dinophycées : *Peridinium tabulatum*, *Ceratium hirundinella*,

Chrysophycées : *Chromulina* sp. (dominante), *Dinobryon sertularia*.

Chlorophycées : *Chlorella vulgaris* (sub dominante), *Pandorina morum*

Cryptophycées : *Rhodomonas* sp.

Spores de champignons : uniquement à 5 m.

L'effet antagoniste des deux populations s'est accentué par rapport à juin, en particulier à Savines et Barrage. Au-dessous de la zone euphotique, l'activité bactérienne est importante et provoque une augmentation du phosphore. Ce phénomène n'apparaît pas à Ubye, où le maximum de phytoplancton à 2,5 m correspond au maximum de l'activité bactérienne, bien que le nombre de germes ne soit pas sensiblement modifié. C'est le seul signe qui pourrait indiquer une eutrophisation en cours dans cette station, avec une diminution de l'activité planctonique. Au fond, par contre, le nombre de germes augmente et le rapport  $\frac{N}{P}$  très élevé traduit la consommation du phosphore par cette population bactérienne.

À Ubye, azote et phosphore ont diminué, en particulier le phosphore ( $N.NO_3$ , 0,1-0,6 mg/l;  $P.PO_4$ , 0,01 mg/l). Le rapport  $\frac{N}{P}$  varie de 23 à 90 selon le niveau. Ce rapport très élevé au fond correspond à une consommation bactérienne ( $2,75 \cdot 10^6$  C/ml). La population phytoplanctonique atteint  $6,5 \cdot 10^6$  C/l (4 fois plus qu'en juin) et la biomasse 3,6 mg/l (3 fois plus qu'en juin).

Les espèces présentes sont :

Diatomées : *Fragilaria crotonensis*, *Nitzschia acicularis*, *Asterionella formosa*, *Synedra ulna*, *Cyclotella comta* (sub dominante).

Dinophycées : *Peridinium tabulatum*, *Ceratium hirundinella*, *Gymnodinium* sp.  
*Peridinium* sp.

Chrysophycées : *Dinobryon sertularia* (dominante)

Chlorophycées : *Chlorella vulgaris* (sub dominante), *Eudorina elegans*,  
*Carteria klebsii*, *Pandorina morum*,

Cryptophycées : *Rhodomonas* sp. (sub dominante)

Flagellés incolores : *Hexamitus fusiformis*, *Cercobodo agilis*

Ce sont les mêmes qu'à Savines, mais certaines, *Rhodomonas*, *Fragilaria* y sont plus abondantes, de plus les *Peridinium* indicateurs d'eutrophisation apparaissent.

#### 3.1.2.4. Le zooplancton (fig. 22 à 25 p. 58 à 61 )

La prolifération du phytoplancton n'est pas suivie, en août, par une augmentation de zooplancton dont les effectifs ont baissé depuis juin (10.300 ind/m<sup>3</sup> contre 18.300). Cette baisse concerne deux espèces (*D.hyalina* : 6600 ind/m<sup>3</sup>, 460 mg/m<sup>3</sup> et *C.vicinus vicinus* 300 ind/m<sup>3</sup>, 8 mg/m<sup>3</sup>). Par contre les effectifs de *A.denticornis* ont presque doublés, grâce à l'éclosion de nombreux nauplii pour atteindre 2700 ind/m<sup>3</sup>. Les Rotifères, absents, sont abondants en août. Mais la taille des Rotifères étant réduite comparée à celle du Cladocère et des Copépodes (même pour *Asplanchna* sp., l'espèce la plus grande) leur apport à la biomasse n'est pas considérable (24 mg/m<sup>3</sup> pour 700 ind/m<sup>3</sup>). Au total, la biomasse a relativement baissé davantage que les effectifs. entre les mois de juin et d'août.

La répartition verticale du zooplancton correspond à celle de la biomasse phytoplanctonique et présente un maximum entre 5 et 10 m (comme c'était déjà le cas au printemps).

#### 3.1.3. L'automne (campagne de novembre 1978)

##### 3.1.3.1. Physico-chimie (fig.15 à 17 p. 51 à 53 )

La masse d'eau est déjà mélangée. En particulier la courbe de température est parfaitement orthograde (12°5 de la surface du fond, au

Barrage et à l'Ubaye). A Savines, au niveau du fond, on constate les effets du refroidissement de la Durance (11°). Il en est de même pour le pH au Barrage (7,9 de la surface au fond). Par contre les valeurs du pH sont plus variables dans les 10 premiers mètres à Savines et Ubaye où elles atteignent leur maximum annuel (8,2).

Les sursaturations en oxygène dissous constatées en août dans les dix premiers mètres, sont résorbées. La courbe est encore clinograde à Ubaye (102-84%), légèrement hétérograde positive à Savines (88-91%) et au Barrage (87-90%).

Dans la masse d'eau à Ubaye et Savines on retrouve les teneurs basses du printemps pour le  $Cl^-$  (respectivement 3 et 4 mg/l). Par contre, en surface, dans les trois stations et jusqu'au fond du Barrage, les teneurs en  $Cl^-$  sont plus élevées (6 mg/l).

C'est en novembre qu'on relève les concentrations les plus faibles de l'année en bicarbonates (120 mg/l). Dans les trois stations, la situation est nettement orthograde pour les bicarbonates mais aussi pour la dureté calcique (140-150 mg/l), la dureté totale (190-200 mg/l) et les matières en suspension (24-35 mg/l).

En novembre, les eaux sont bien mélangées puisqu'on observe une distribution verticale homogène des différents paramètres évoqués ci-dessus. Il en résulte que les éléments nutritifs mobilisés dans les eaux profondes pendant l'été se répartissent dans toute la masse d'eau. Les réserves de nitrates et de phosphates des niveaux supérieurs épuisées par la

consommation estivale du phytoplancton commencent à se reconstituer. Dans les trois stations, les concentrations moyennes atteignent 0,7 mg/l pour les nitrates, 0,075 pour les phosphates. A 10 mètres, une augmentation de  $P.PO_4$  se produit, simultanément à une augmentation du nombre et de l'activité des bactéries.

### 3.1.3.2. Les bactéries (fig. 18 à 20 p.54 à 56 )

Le nombre de germes en surface a peu varié à Savines et Ubaye. Mais il diminue fortement à partir de 2,5 m de profondeur. Au Barrage, on observe un maximum à 10 mètres. Dans les trois stations, l'activité bactérienne a diminué et la tranche d'eau apparaît homogène du point de vue vitesse de croissance et activité enzymatique.

### 3.1.3.3. Le phytoplancton (fig. 18 à 21 p.54 à 57 )

A Savines, l'azote et le phosphore ont des concentrations qui ont très nettement augmenté depuis août ( $N.NO_3$  de 0,55 à 0,75mg/l,  $P.PO_4$  de 0,05 à 0,09 mg/l  $\frac{N}{P}$  de 7 à 18). Cette augmentation des teneurs en nutriments traduit une diminution de l'activité phytoplanctonique, bien que la biomasse soit maximum ( $1,3.10^6$  C/ml, biomasse de 2,7 mg/l), et une diminution de la consommation bactérienne dont l'activité a diminué.

Les espèces présentes sont :

Diatomées : *Fragilaria crotonensis* (abondantes), *Cyclotella comta* (sub dominante), *Asterionella formosa* (sub dominante), *Synedra ulna*, *Nitzschia acicularis*.

Dinophycées : *Peridinium tabulatum*, *Ceratium hirundinella*

Chrysophycées : *Chromulina* sp. (dominante), *Dinobryon sertularia*,  
*Mallomonas acaroides*

Chlorophycées : *Pandorina morum*

Cryptophycées : *Rhodomonas* sp. (sub dominante).

Les espèces sont les mêmes qu'en août, mais le peuplement est maintenant dominé par *Fragilaria*, *Chromulina* et *Cyclotella*.

A Ubaye, comme à Savines, la forte diminution de la population phytoplanctonique ( $0.9 \cdot 10^6$  C/l, biomasse 1,85 mg/l) a pour conséquence une augmentation importante du phosphore et de l'azote ( N.NO<sub>3</sub> 0,4 à 0,7 mg/l; P.PO<sub>4</sub> 0,07 à 0,09 mg/l).

Les espèces présentes sont :

Diatomées : *Fragilaria crotonensis* (dominante), *Asterionella formosa* (sub dominante), *Cyclotella conta* (sub abondante), *Nitzschia acicularis*,  
*Nitzschia sigmoidea*, *Synedra ulna*, *Navicula* sp.

Dinophycées : *Peridinium tabulatum*, *Gymnodinium* sp.

Chrysophycées : *Mallomonas acaroides*, *Kephyrion cylindricum*

Chlorophycées : *Eudorina elegans*, *Pandorina morum*.

Cryptophycées : *Rhodomonas* sp. (sub dominante).

Le phytoplancton s'est donc appauvri, depuis août, encore plus qu'à Savines avec la disparition des Chrysophycées. Ces faits sont relativement discrets mais traduisent cependant un comportement physiologique altéré depuis le mois d'août.

En novembre, au Barrage comme dans les autres parties du lac, on observe une augmentation des nutriments, surtout du phosphate, par rapport au mois d'août (azote 0,55 à 0,78 mg/l, phosphate de 0,07 à 0,085 mg/l,  $\frac{N}{P}$  de 11 à 14,5). Là encore, il s'agit d'une diminution de l'activité phytoplanctonique, soit que le nombre des cellules végétales ait diminué (surface), soit qu'elles se trouvent dans une zone où la lumière n'arrive pas : le maximum de cellules est à 100 m de fond, avec  $0,8 \cdot 10^6$  C/l et une biomasse importante qui n'est plus fonctionnelle (1,9 mg/l).

Les espèces présentes sont :

Diatomées : *Fragilaria crotonensis* (dominante), *Cyclotella comta* (sub dominante)  
*Asterionella formosa*, *Synedra ulna*, *Nitzschia acicularis*,  
*N. sigmoidea*.

Dinophycées : *Peridinium tabulatum*

Chrysophycées : *Kephyrion spirale*

Chlorophycées : *Pandorina morum*, *Eudorina elegans*, *Scenedesmus abundans*

Cryptophycées : *Rhodomonas* sp.

Depuis le mois d'août les Dinophycées et les Chrysophycées ont disparu.

La période automnale est donc caractérisée par une augmentation de la concentration en nutriments due à la diminution de l'activité phytoplanctonique, la biomasse reste importante. Les espèces dominantes sont les Diatomées.

Les phénomènes d'antagonisme entre peuplement bactériens et phytoplanctoniques sont encore apparents.

#### 3.1.3.4. Le zooplancton (fig.22 à 25 p.58 à 61)

Malgré une biomasse phytoplanctonique encore importante les populations du zooplancton ont très nettement regressé depuis l'été (effectif total 2350 ind/m<sup>3</sup> pour une biomasse 300 mg/m<sup>3</sup>). La dominance du Cladocère D.hyalina sur les deux espèces de Copépodes se maintient (1700 ind/m<sup>3</sup> contre 650). Les Rotifères ont disparu. La biomasse a relativement moins baissé que l'effectif total. En effet, on rencontre, à cette date, un maximum d'adultes chez les trois espèces. La répartition verticale est plus homogène dans la mesure où la densité a chuté entre 5 et 15 m.

#### 3.1.4. L'hiver ( campagne de février et d'avril 1979)

##### 3.1.4.1. Physico-chimie (fig.15 à 17 p.51 à 53 )

Les deux faits nouveaux, les plus importants depuis novembre sont, d'une part, la baisse du niveau - Le marnage atteint en effet 18 m en février, d'autre part, la baisse de la température (5-6°). Comme en novembre, la masse d'eau est homogène, même si elle est réduite de 30%. On a ainsi, dans les trois stations, des courbes orthogrades ou faiblement hétérogrades pour la température et les bicarbonates (donc les pH). La concentration moyenne de HCO<sup>3-</sup> a encore baissé depuis novembre au Barrage (168 mg./l en juin, 122 mg/l en novembre, 105 mg/l en février) et à Savines (139 mg/l en juin, 117 mg/l en novembre, 97,6 mg/l en février). Au Barrage et à l'Ubaye, les valeurs des duretés calcique et totale sont comparables à celles enregistrées en novembre (respectivement 140-160 mg/l et 180-200 mg/l). La dureté totale est plus élevée, au fond, à Savines (250 mg/l).

Comme en août, l'afflux touristique dû aux skieurs a provoqué cette fois une augmentation plus marquée encore de la concentration en  $\text{Cl}^-$  qui dépasse 10 mg/l dans les trois stations et atteint 14 mg/l dans la branche Ubaye du lac.

L'augmentation de la concentration des nitrates et des phosphates constatée à l'automne par rapport à l'été semble se stabiliser en hiver. L'oxygénation élevée des fonds (70%) maintient le relargage à partir des vases à un niveau bas. Les nitrates, dont la concentration varie de 0,65 à 1,1 mg/l, ont peu augmenté. Les phosphates (0,01 à 0,03 mg/l) sont en diminution, sauf au fond où l'on observe une nette remontée des teneurs, en particulier à Ubaye. Le rapport  $\frac{\text{N}}{\text{P}}$  est plus élevé qu'en novembre. Il varie de 22 à 54.

#### 3.1.4.2. Les bactéries (fig. 18 à 20 p.54 à 56)

Les nombres de germes sont relativement peu élevés en février et comparables à ceux enregistrés en novembre. Comme pour les paramètres physico-chimiques, les courbes surface-fond montrent que l'activité de multiplication des bactéries est faible dans tout le lac. A Savines et davantage encore à Ubaye, le nombre de germes présente un pic à 5 m et au fond, c'est-à-dire à 20 m de profondeur, compte tenu du marnage. Au Barrage, le léger pic à 2,5 m correspond à une diminution de la population phytoplanctonique à ce niveau.

#### 3.1.4.3. Phytoplancton (fig.18 à 20 p.54 à 57)

Le nombre et la biomasse des cellules phytoplanctoniques chute en hiver dans les trois stations. A Savines, la concentration ne dépasse pas  $0,5 \cdot 10^6$  C/l et la biomasse 0,14 mg/l. La consommation par le phytoplancton

peut difficilement expliquer la diminution des phosphates dans cette station. Cette consommation pourrait être d'origine bactérienne, au moins dans la masse d'eau (relations inverses entre peuplement bactérien et concentration en phosphates). Dans la couche profonde on observe une augmentation du nombre de germes et une augmentation des phosphates; on pourrait admettre qu'il y a libération d'origine bactérienne à partir des sédiments et que le rôle des bactéries est différent dans la zone planctonique et dans la zone benthique. Cette hypothèse demande à être confirmée au cours de l'étude d'un prochain cycle annuel.

Les espèces présentes sont :

Diatomées : *Cyclotella comta* (dominante) *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Synedra ulna*, *S. acus*, *Nitzschia acicularis*.

Chrysophycées : *Chromulina* sp.

Le peuplement est donc représenté par des diatomées, mais l'espèce dominante est *Cyclotella comta* au lieu *Fragilaria crotonensis*.

A Ubaye les espèces présentes sont :

Diatomées : *Cyclotella comta*, *Asterionella formosa*, *Synedra ulna*, *S. berolinensis*, *Fragilaria crotonensis*, *Nitzschia acicularis*, *Navicula* sp.  
*Nitzschia* sp.

Dinophycées : 1 sp. non déterminée, *Ceratium hirundinella*

Chrysophycées : *Chromulina* sp.

Le peuplement est donc différent de celui de Savines : ce sont les Chrysophycées qui dominent avec Chromulina. Il faut signaler encore l'abondance de Fragilaria sp. en queue de la branche Ubaye.

Au Barrage, la relation phosphates-phytoplancton est directe c'est-à-dire que ces deux paramètres ont le même profil et feraient penser à une limitation par le phosphate. La relation bactéries-phosphates est inverse : le pic de bactéries à 2,5 correspond au minimum des phosphates : il y aurait donc une consommation bactérienne qui limiterait le développement planctonique.

#### 3.1.4.4. Le zooplancton (fig. 22 à 25 p.58 à 61)

Les effectifs ont encore baissé depuis novembre (1030 ind/m<sup>3</sup>). Les Copépodes dont la densité s'est maintenue sont plus nombreux en février que le Cladocère dont l'effectif a fortement baissé (de 1600 ind/m<sup>3</sup> en novembre à 460 ind/m<sup>3</sup> en février). Les Rotifères sont pratiquement absents (20 ind/m<sup>3</sup>). La biomasse a baissé encore davantage : en effet, pour les trois espèces, les effectifs comprennent plus de la moitié de nauplii dont la masse est très petite par rapport à celle des adultes. La répartition verticale présente un pic à 7,5m.

#### 3.1.4.5. Avril 1979

Le marnage est très élevé (30 m). Il découvre en partie la zone des vases, interdisant la mise à l'eau des bateaux et du matériel de mesure et de prélèvement. L'étude de la seule station de Savines, avec un équipement allégé, permet cependant de constater que l'état du lac n'a pas fondamentalement évolué depuis le mois de février : à Serre-Ponçon, le 5 avril on est toujours en hiver.

La distribution de la température est encore orthograde (4,5° à 3,3° de 0 à 15 m, distance surface-fond, compte-tenu du marnage). La résistivité croît de 350 µmhos/cm<sup>2</sup> en surface à 400 au fond, soit des valeurs plus

élevées qu'en février. La répartition verticale de l'oxygène dissous est également orthograde et très proche de la saturation jusqu'au fond (95%).

Les concentrations en phosphates et nitrates ont, par contre, fortement augmenté ( $N.NO_3$  1,15 à 1,45 mg/l,  $P.PO_4$  0,03 à 1 mg/l,  $\frac{N}{P} = 17$  à 47 ). Cette augmentation provient du fond, sous l'influence des bactéries dont le nombre est très élevé à partir de 10 m et jusqu'au fond. Au contraire, en surface, le nombre de germes a peu augmenté depuis le mois de février.

L'activité bactérienne (vitesse de multiplication des cellules et activité enzymatique) plus élevée qu'en février, est du même ordre de grandeur qu'en novembre.

Les numérations phytoplanctoniques indiquent un peuplement équivalent à celui de février ( $0,5 \cdot 10^6$  C/l) avec une légère augmentation de la biomasse (0,58 mg/l).

Les espèces présentes sont :

Diatomées : *Cyclotella comta* (dominante) *Asterionella formosa*, *Eragilaria crotonensis*, *Diatoma vulgare*, *D. elongatum*, *Navicula* sp.  
*Synedra acus*.

Dinophycées : *Ceratium hirundella*, *Gymnodinium* sp.

Chrysophycées : *Mallomonas caudata*, *Chromula* sp.

Chlorophycées : *Carteria klebsii*, *Pandorina morum*

Cryptophycées : *Rhodomonas* sp.

Il y a donc eu une évolution depuis février : les Dinophycées et les Chlorophycées apparaissent et la dominance des Cyclotella s'installe.

### 3.1.5. La crue du printemps 1979 (campagne du 11 au 17 juin)

#### 3.1.5.1. Physico-chimie (fig.15 à 17 p.51 à 53)

La crue est plus tardive qu'en 1978. Elle est également plus brutale. La campagne de prélèvement se situe au paroxysme de cette crue, dans une phase moins avancée de l'évolution du lac, après la période de mélange hivernal, qu'en juin 1978. Le marnage résiduel est de 12 m. Cependant, la température des eaux est plus élevée en surface que l'année précédente à la même date (18° à Savines, 17° à Ubaye et 16° au Barrage). La tranche d'eau superficielle est plus chaude mais le gradient thermique élevé entre 0 et 5 m fait, qu'après 10 m, les températures sont comparables d'une année à l'autre (9-10°). Le pH des eaux de surface atteint 8,3 à Savines contre 7,9 et 8 au Barrage et Ubaye. En profondeur, on rencontre de l'eau de crue (7,7 < pH < 7,9). Comme en juin 78, et pour les mêmes raisons, la transparence est faible dans les branches Durance et Ubaye (disparition du disque de Secchi à 2 m). Près du Barrage, une partie du matériel en suspension a sédimenté et la transparence augmente (Secchi : 3,80m). Le printemps correspond à une période de faible fréquentation touristique entre les saisons d'hiver et d'été. On retrouve des teneurs en Cl<sup>-</sup> voisines de 3 mg/l caractéristiques d'une absence de pollution urbaine ou industrielle.

Une panne d'oxymètre nous a empêché de mesurer les concentrations en oxygène dissous, vraisemblablement comparables à celles de juin 78 (80-90% de la teneur à saturation ?).

Les concentrations en bicarbonates ont nettement augmenté depuis février, mais n'ont pas encore atteint leur niveau du printemps 1978. De même, les valeurs des duretés calcique et totale sont moins élevées que l'année précédente en relation avec le fait que les prélèvements n'ont pas été effectués au même moment de la mise en eau (en particulier à Savines et Ubaye).

Au Barrage, les teneurs en nitrates sont anormalement plus faibles que dans les deux autres stations (B: 0,1-0,2 mg/l, U:0,6-1,5 mg/l, S:0,7-1 mg/l). Une prochaine année, il serait intéressant de suivre l'évolution des nitrates pendant toute la période de la mise en eau, du début à la fin de la crue pour déterminer la part des apports extérieurs (il serait alors indispensable d'effectuer des dosages répétés en rivière), celle de la dilution due au remplissage du lac et celle des relargages en provenance du fond, pour comprendre comment le stock de nutriments se constitue dans l'eau avant la période estivale.

Les teneurs en phosphates comparables dans les trois stations (0,02-0,006) sont plus élevées qu'en juin 1978, en particulier à Savines et Ubaye, sans doute en relation avec le retard dans le remplissage du lac. Là encore, une étude très suivie pendant toute la crue serait très utile à la compréhension de l'établissement des conditions estivales dans l'ensemble du lac.

Les rapports  $\frac{N}{P}$  varient de 0,1 à 4 au Barrage, de 10 à 24 à Savines et de 13 à 24 à Ubaye.

### 3.1.5.2. Les bactéries (fig.18 à 20 p.54 à 56)

Depuis l'hiver, la population bactérienne de surface a peu changé à Savines et Ubaye. La population de la couche profonde atteint le chiffre record de  $5 \times 10^6$  C/ml à 20 m à Savines. On retrouve une courbe assez caractéristique de l'Ubaye avec un maximum situé à 5 m. Au Barrage, la densité bactérienne identique à celle de juin 78 a triplé entre 5 et 20 m depuis février. Dans les trois stations la vitesse de multiplication est faible mais l'activité enzymatique a fortement augmenté, surtout à Savines entre 5 et 20 m.

### 3.1.5.3. Le phytoplancton (fig.18 à 21 p.54 à 57)

Le phytoplancton est à son minimum à Savines et Barrage, bien que les nutriments soient présents à des concentrations peu différentes de celles rencontrées en juin 1978 (respectivement  $0,07 \cdot 10^6/l$  et  $0,04 \cdot 10^5/l$ ). Mais la population n'a pas encore poussé. A Ubaye, on trouve une situation un peu plus avancée : le nombre de cellules atteint  $0,1 \times 10^6$  mg/l. Cependant la population comprend seulement des Cyclotella résidus de la population hivernale.

### 3.1.5.4. Le zooplancton (fig.22 à 25 p.58 à 61)

Bien que la population du phytoplancton soit extrêmement peu développée au Barrage les zooplanctontes sont beaucoup plus nombreux qu'en hiver avec un effectif total de 14.400 ind/m<sup>3</sup> et une biomasse de 586 mg/m<sup>3</sup>. Cette densité est obtenue malgré un recul de la population du Calanide A.denticornis (200 ind/m<sup>3</sup>) mais grâce à l'essor du Cyclopite C.vicinus vicinus (3400 ind/m<sup>3</sup>) et surtout à celui du Cladocère D.hyalina qui retrouve sa position d'espèce largement dominante (10.700 ind/m<sup>3</sup>). Le nombre élevé

des stades jeunes chez ces deux espèces rend compte du démarrage d'une nouvelle génération.

Il est intéressant de constater que l'essor du zooplancton avait précédé celui du phytoplancton en 1978. Lors d'une sortie préliminaire à l'étude, en mars 1978, l'effectif était déjà de 20.100 ind/m<sup>3</sup>. Cette observation pose le problème des relations trophiques phytoplancton-zooplancton qu'il serait nécessaire de préciser par l'étude de contenus stomacaux (dans la mesure où deux des trois espèces abondantes sont réputées être phytoplanctonophages). L'essor du Cyclopite, réputé carnivore (ce qui devra être confirmé dans le cas présent) serait corrélié avec celui de la population de Daphnies. Les Rotifères sont toujours aussi peu représentés (40 ind/m<sup>3</sup>).

La répartition verticale du zooplancton est différente de juin 1978: on rencontre deux pics de densité l'un à 2,5 m l'autre en profondeur, à 30 m.

### 3.2. Discussion : établissement d'un premier cycle annuel (fig. 26 à 28 p. 68 à 70)

La crue du printemps et l'épuisement des nutriments à l'automne marquent la séparation entre deux "saisons" bien distinctes dans le cycle annuel des paramètres essentiels à la vie du lac.

Au contraire, pour d'autres paramètres les variations saisonnières sont plus faibles. Ainsi, pour le pH, dans les stations Savines, Ubaye et Barrage, les valeurs moyennes annuelles se situent entre 7,8 et 8 avec des variations de faible amplitude. On sait que dans les régions

Fig.15 - Evolution des paramètres physico-chimiques à 0, 2,5m,5m,10m,20m et au fond à la station de Savines, de juin 1978 à juin 1979

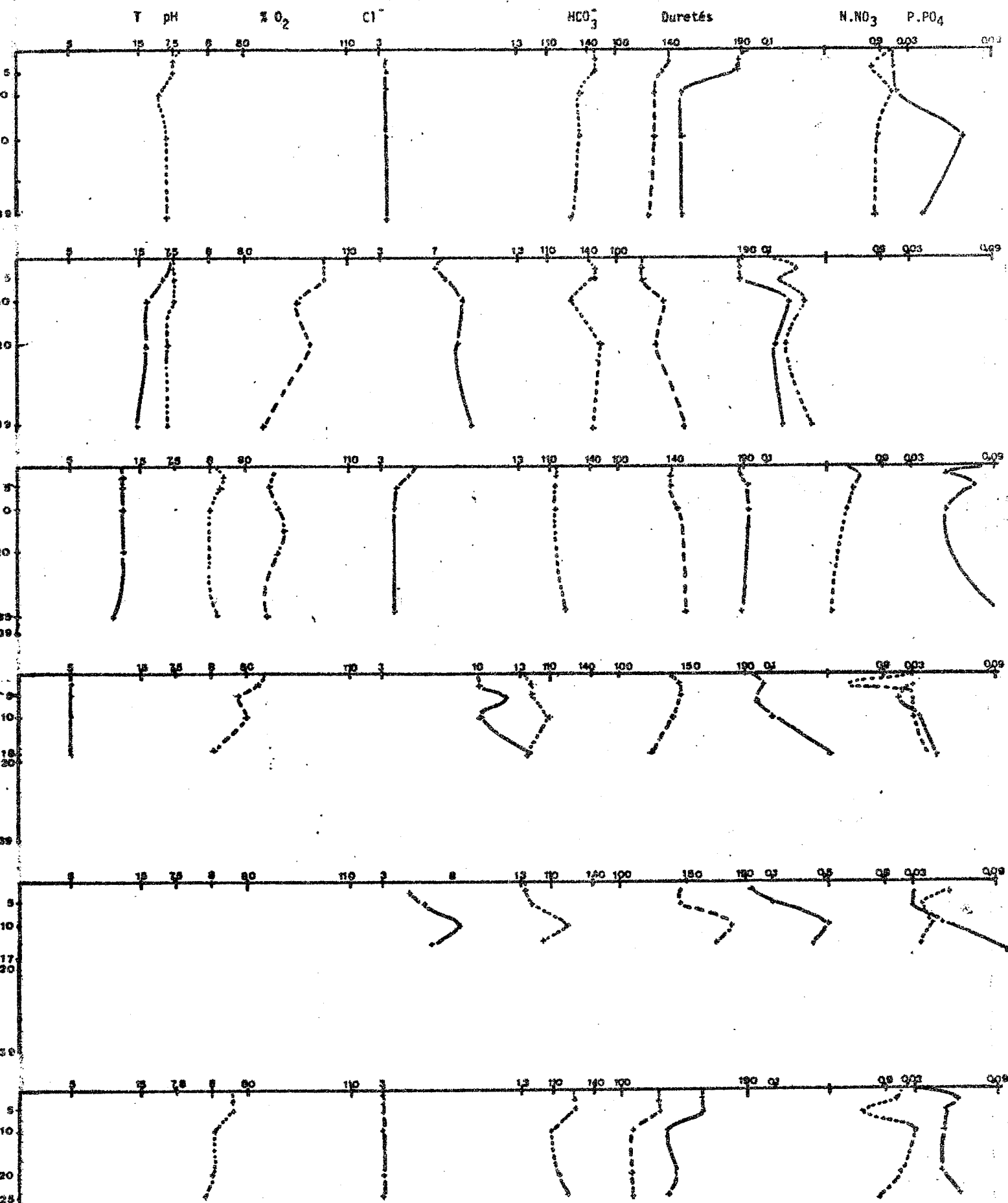


Fig.16 - Evolution des paramètres physico-chimiques à 0,2,5m,5m,10m,20m et au fond à la station Barrage, de juin 1978 à juin 1979

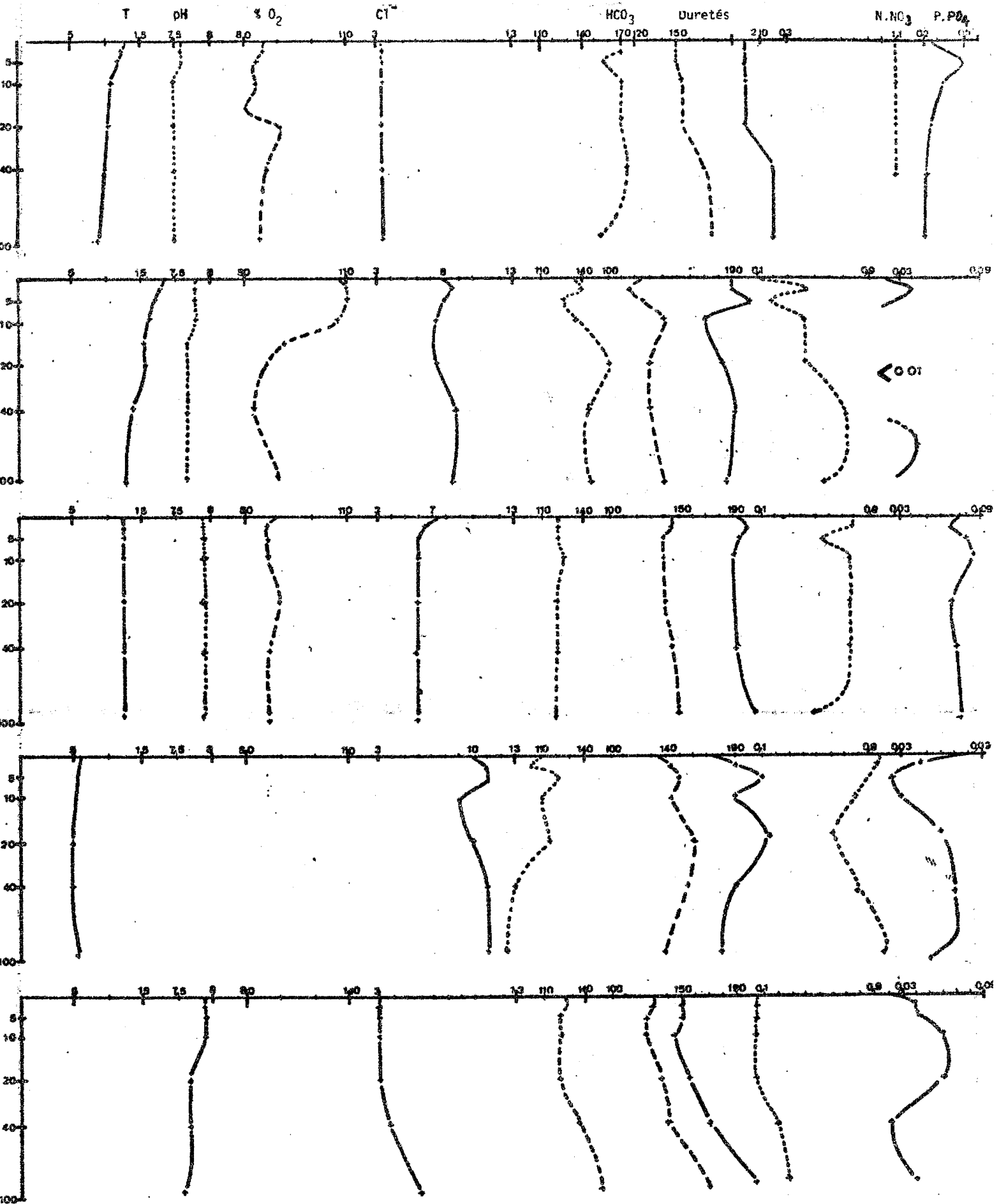
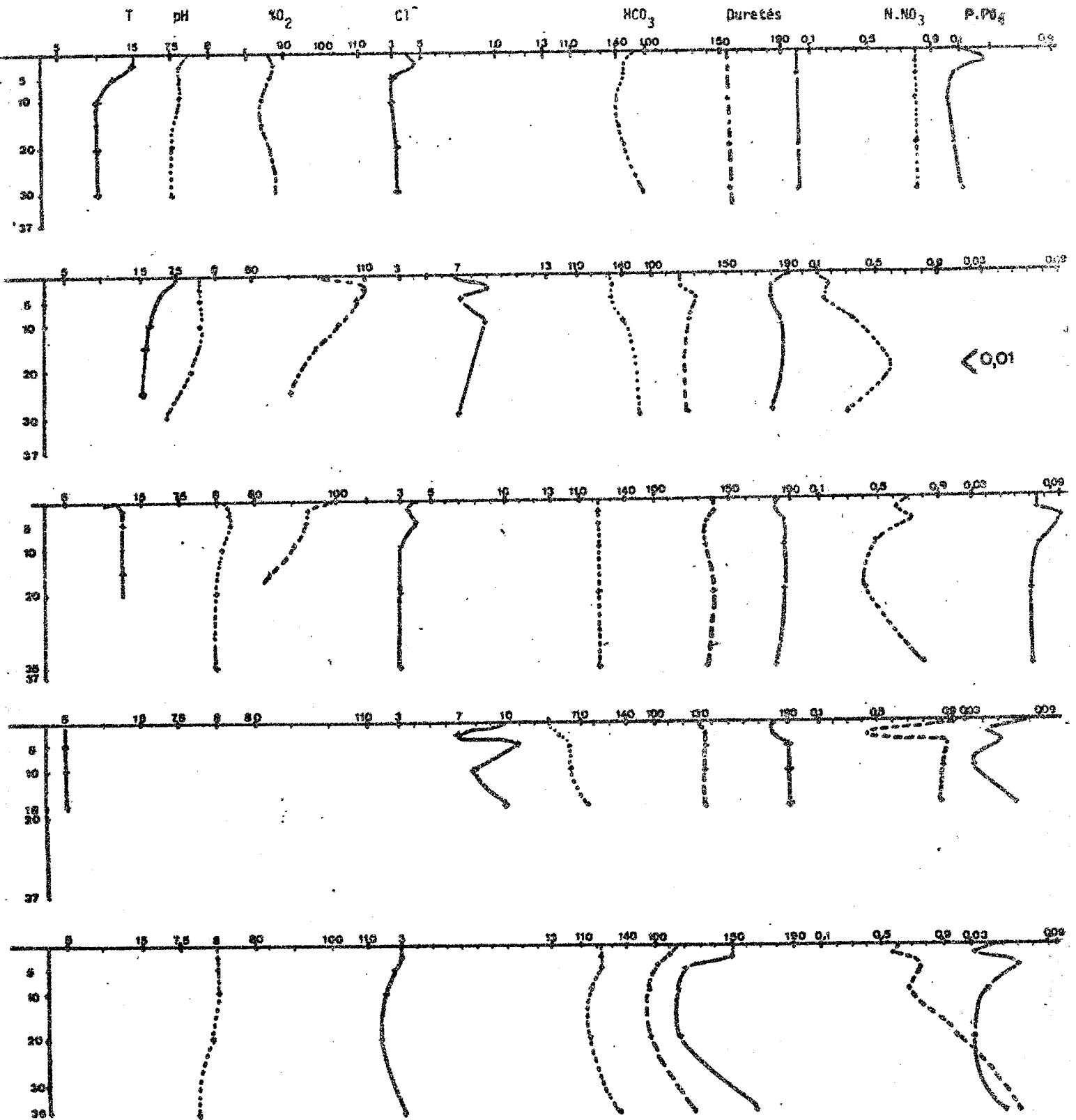


Fig.17 - Evolution des paramètres physico-chimiques à 0,2,5m,5m,10m,20m et au fond à la station Ubaye, de juin 1978 à juin 1979



M P N : / num.directe / vit.multipl. / act.enzym. / nombre de cell./L / biomasse mg/L

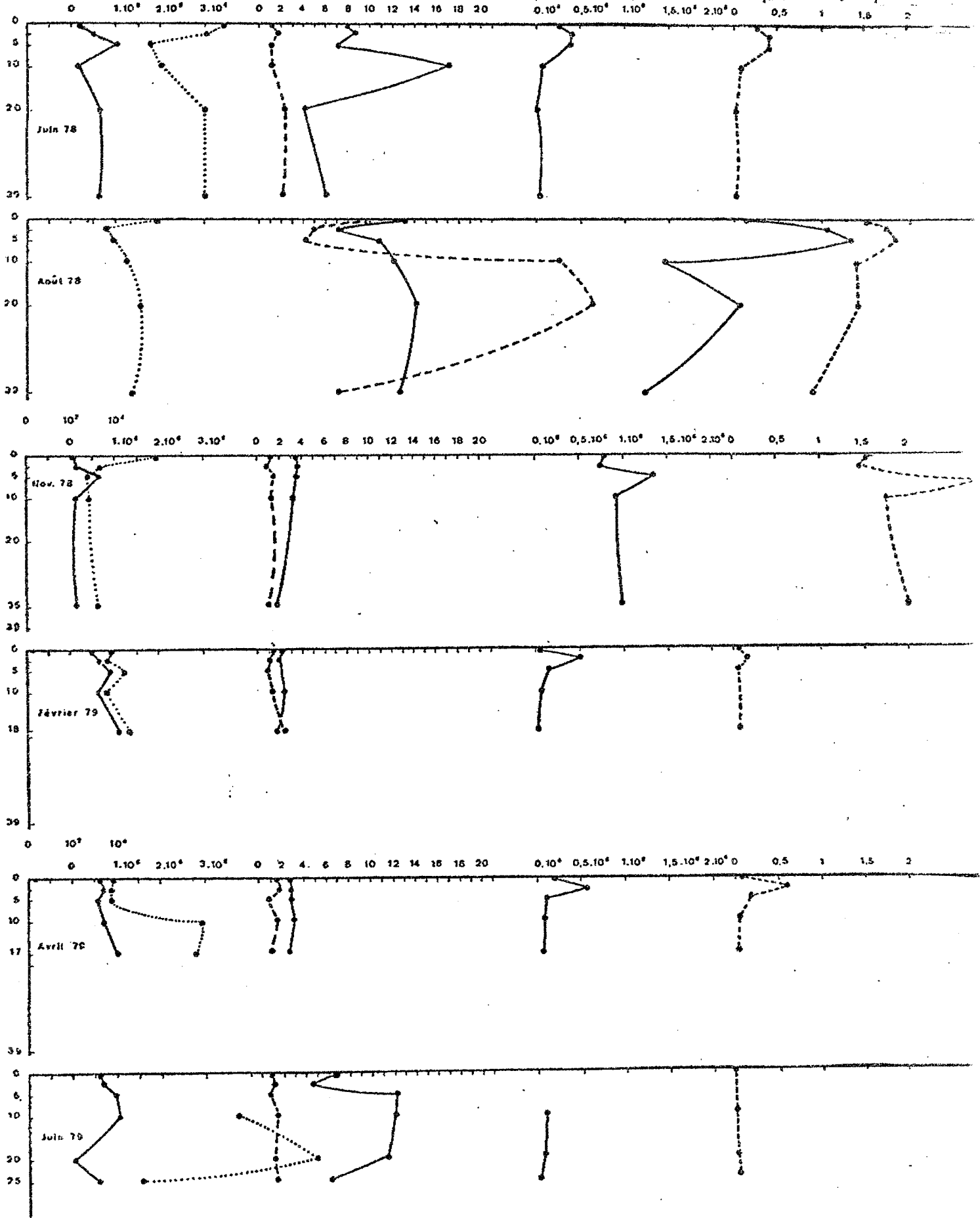


Fig.18 - Evolution des populations de bactéries et du phytoplancton à 0, 2,5m, 5m, 10m, 20m et au fond à la station de Savines de juin 1978 à juin 1979.

Bactéries

Phytoplancton

M P N /num.directe/ vit.multiplication

nombre de cell./L/ biomasse mg/L

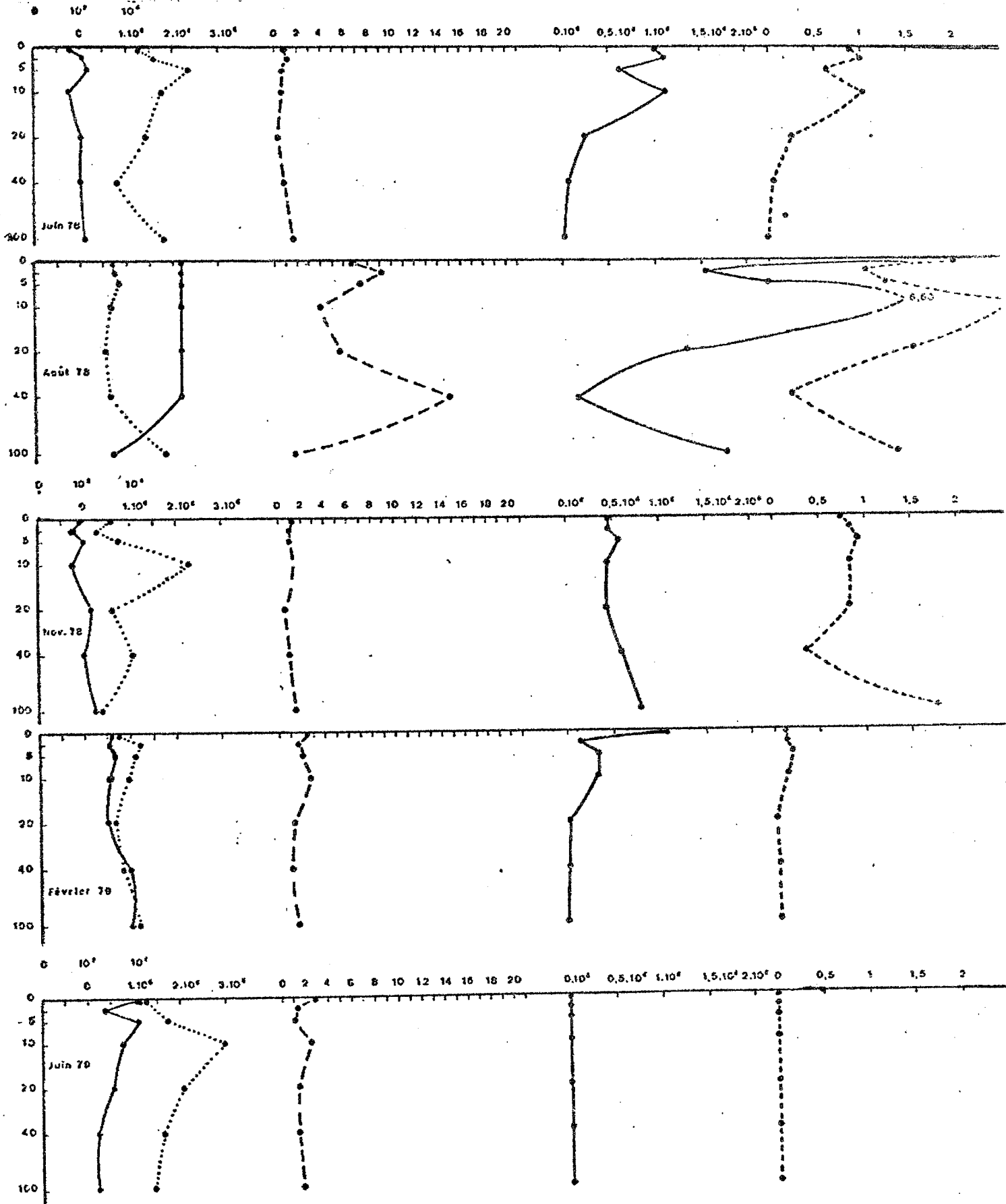


Fig.19 - Evolution des populations de bactéries et du phytoplancton à 0, 2,5m, 5m, 10m, 20m et au fond à la station Barrage de juin 1978 à juin 1979.

Bactéries

Phytoplancton

M P N/num.directe/ vit.multiplication

nombre de cell./L/biomasse mg/l

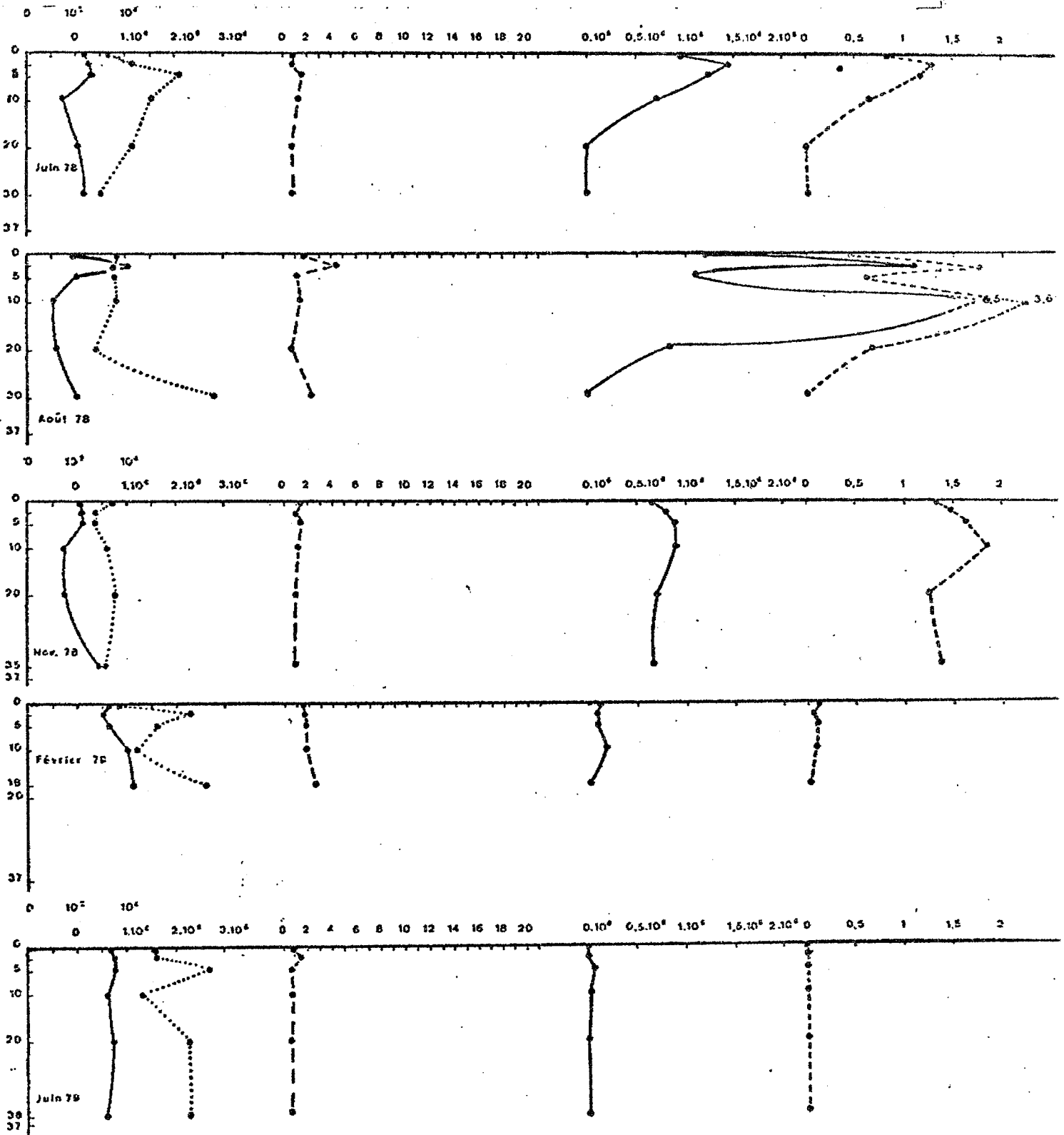


Fig.20 - Evolution des populations de bactéries et du phytoplancton à 0, 2,5m, 5m, 10m, 20m et au fond à la station Ubaye de juin 1978 à juin 1979

Espèces	juin 78					août 78					Nov.78					Fév.79					juin 79					
	S	U	B	PE	C	S	U	B	PE	C	S	U	B	PE	C	S	U	B	PE	C	S	S	U	B	PE	C
<u>atomées</u>																										
atomia vulgare										+																
terionella formosa	++	+++	+++		+	+	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
ciotella comta				++		++	++		++																	+++
agilaria crotonensis	+	+	+			+	+	+		+	+++	++	++		++	+	+	+			+	+	+			+
elongatum															+					+						
vicula spp.				++											+					+					+	
tzschia acicularis				++		+	+	+	+	+	+	+	+	++		+	+	+	+	+					+	+
signoidea																										+
spp																										+
inedra ulna						+	+	+			+	+	+			+	+	+						+	+	
acus		+																								+
berolinensis										+										+						
<u>nophycées</u>																										
irratium hirundinella	+	+		+		+	+	+	+		+								+	+	+					+
mnodinium sp.				+					+			+							+		+		+			+
ridinium tabulatum		+	+				+	+	+		+	+													+	+
inconspicuum										+																+
sp.								+											+	+						
bipes																										+
<u>rysophycées</u>																										
romulina sp.				+		+++	+++	+++	+++		++					+++	+	+			++	+				
nobryon stipitatum										+																+
nobryon sertularia						+	+	+			+															+
phyrion ovale										+					+					+						+
spirale										+					+					+						
cylindricum										+		+			+											
iononas acaroides											+	+														
caudata			+																							+
sp.															+					+						
<u>lorophycées</u>																										
arteria klebsii								+																		+
llorella vulgaris				+		+++	+++	+++																		
adorina elegans										+		+	+													+
adorina morum		+					+	+			+	+	+		+				+		+					+
enedesmus abundans										+		+	+		+										+	+
ucigenia rectangularis												+														
<u>pyptochycées</u>																										
odomonas sp.						+	+	+	+		+	+	+		+				+		+					+
palatinum																										+
lagellés incolores																										
arcobodo agilis								+											+							
amitus fusiformis								+																		
<u>ampignons (snares)</u>																										
						+		+	+										+							
<u>iliés</u>																										
odonella				+		+	+	+			+	+							+	+	+					
yclidium												+	+	+					+							
laucoma						+	+	+	+		+	+							+				+			
ilteria		++				+	+	+	+		+	+							+	+	+		+		+	+
<u>otifères</u>																										
spadella patella																										+
ilicottia longispina		+		+						+	+		+													+
eratella cochlearis																										+
erians										+									+							+
innularia sp. (Diatomée)																										+
rosigma acuminatum (Diatomée)																										+
<u>aphnies</u>																										
aphnia hyalina (larves)				+		+	+	+																		
osmina longirostris												+														
<u>ivers</u>																										
arve crustacé							+		+																	
ediastrum boryanum (Chlorophycée)																										+
hlorogonium elongatum																			+	+						
elosira italica (Diatomée)										+																+
enedesmus armatus (Chlorophycée)										+					+											+
uglena Ind.																										
<u>nanoflagellés</u>																										
nkistodesmus (Chlorophycée)												+														

Fig.21 - Nannoplancton récolté aux stations de Savines (S), du Barrage (B), de l'Ubaye (U), du plan d'eau (PE) et du Bassin de compensation (C) de juin 1978 à juin 1979 (Phytoplancton en particulier).

Espèces	Dates	6.78	8.78	11.79	2.79	6.79	7.79
D. hyalina		15500 1010	6600 464	1600 203	460 24	10700 535	12200 1422
A. denticornis		1500 143	2700 83	550 86	450 39	200 14	6100 197
C. vicinus		1300 66	300 7,5	100 7,8	100 1,8	3400 37	1500 39
Rotifères		0 0	700 24	0 0	20 0,6	40 1,5	90 3
Total		18300 1230	10300 580	2250 300	1030 65	14340 586	19890 1662

Fig.22 - Evolution du nombre des zooplanctontes sur toute la colonne d'eau à la station du Barrage de juin 1978 à juin 1979.

1ère ligne : densités (nb ind/m<sup>3</sup>) 2ème ligne : biomasses (mg/m<sup>3</sup>)



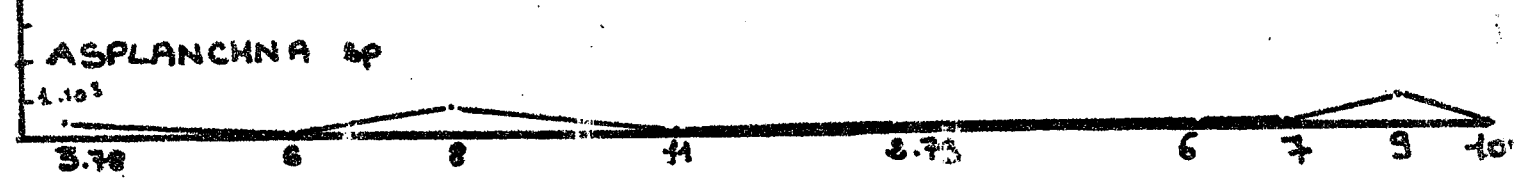
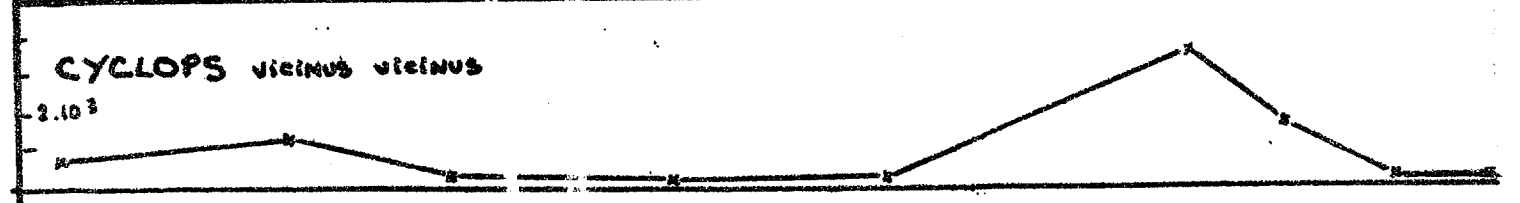
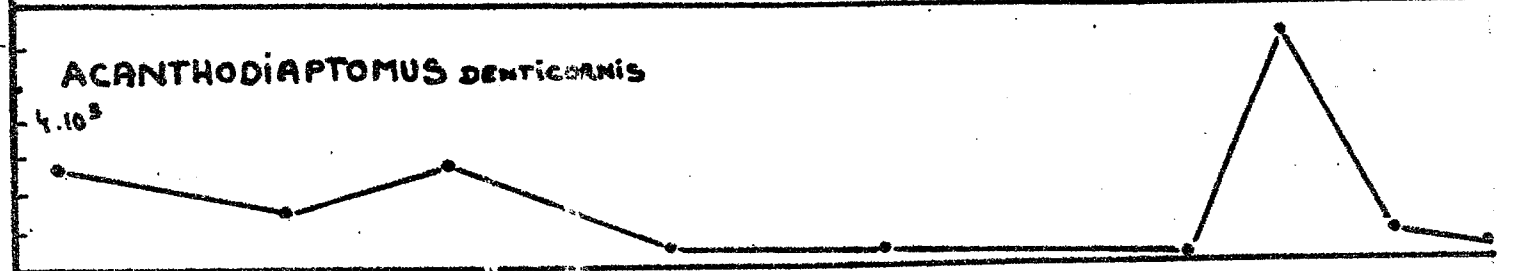
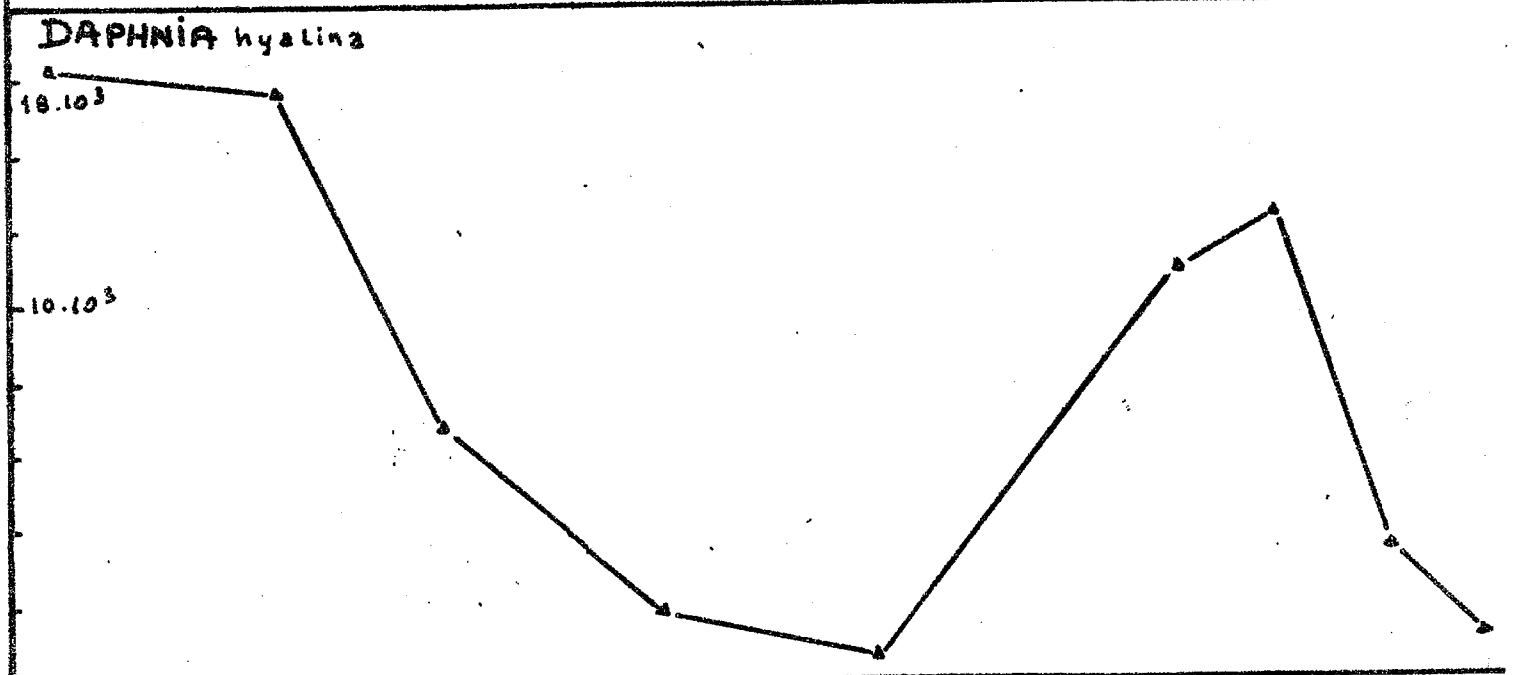
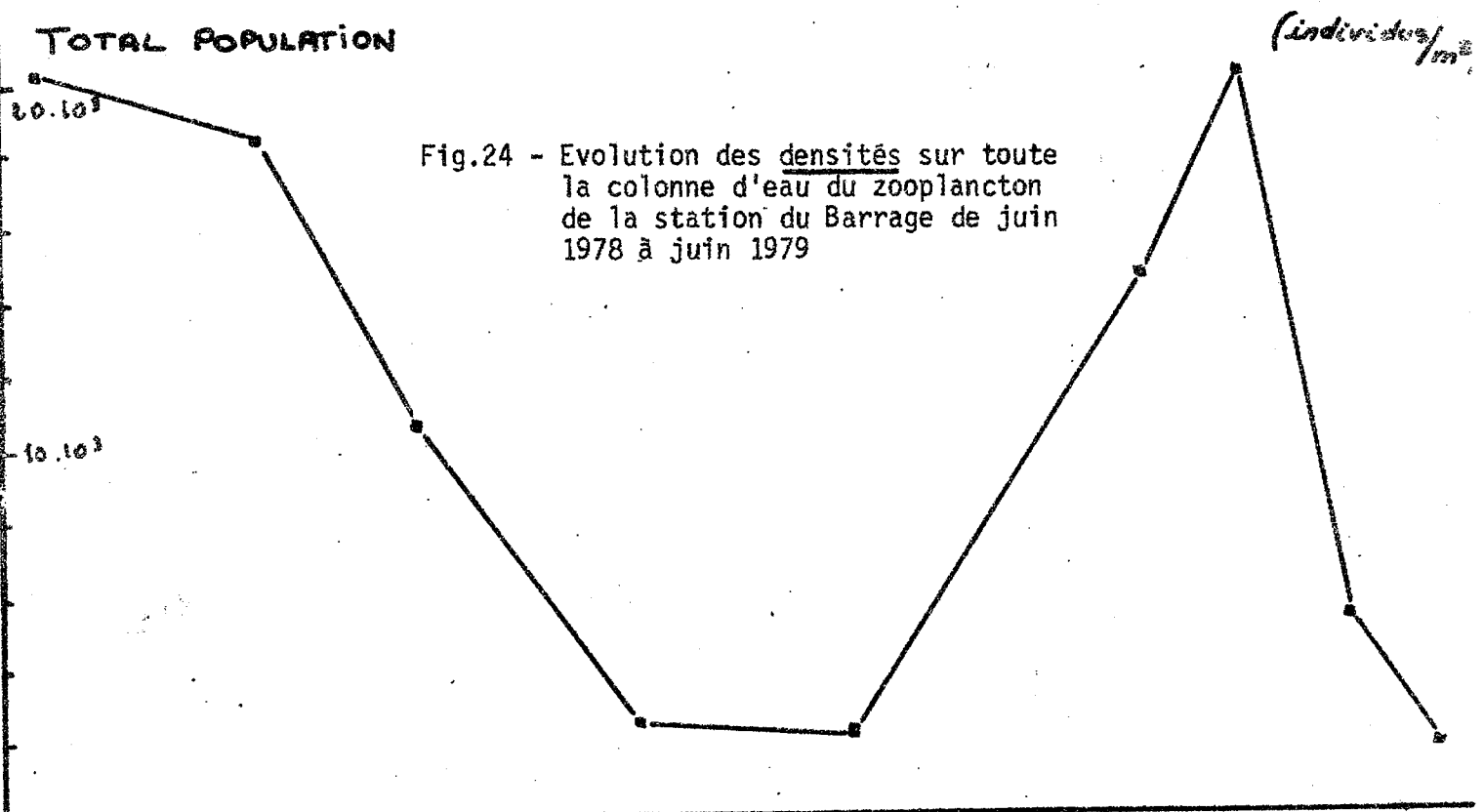
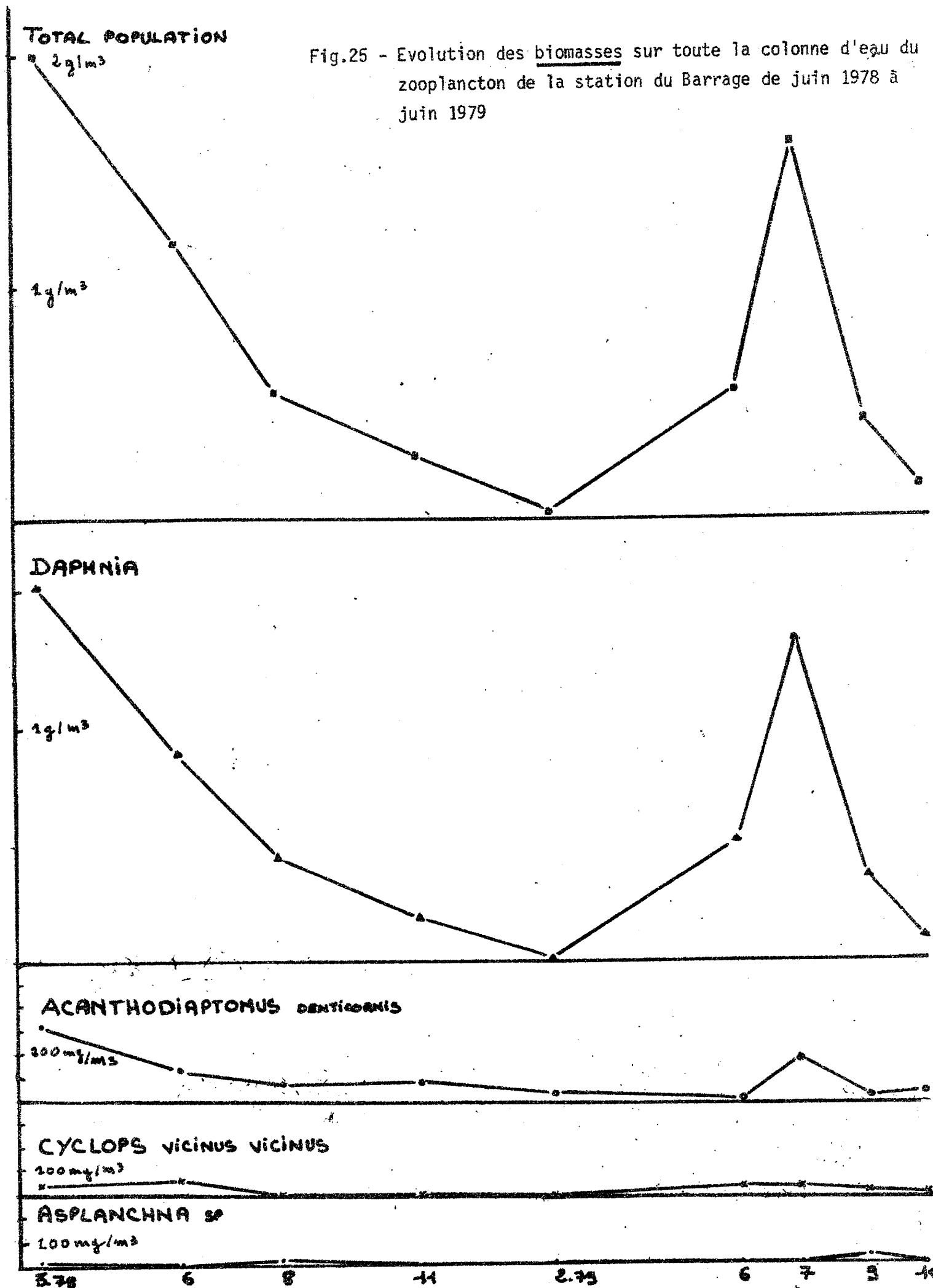


Fig.25 - Evolution des biomasses sur toute la colonne d'eau du zooplancton de la station du Barrage de juin 1978 à juin 1979



calcaires, l'ensemble des réactions du système eau-carbonates insolubles -  $\text{CO}_2$  dissous - bicarbonates solubles donne lieu à des milieux relativement tamponnés, donc des pH stables et favorables au développement d'organismes vivants.

De même pour l'oxygène dissous, les teneurs sont élevées toute l'année et correspondent à des conditions biologiques favorables. La décomposition du sédiment ayant lieu en milieu aérobie on peut penser que le relargage du phosphore et de l'azote est peu important. Ce point capital pour apprécier l'évolution du lac, à moyen terme, vers un état eutrophe, devra faire l'objet d'une étude chimique de l'interface eau-sédiment.

### 3.2.1. Caractéristiques de la période hivernale :

Pendant la saison froide, d'octobre à mai, la masse d'eau est bien mélangée. La répartition verticale des températures est orthograde de l'automne au printemps. Les écarts thermiques sont faibles de la surface au fond, même si la température moyenne dans la colonne d'eau diminue de novembre à février de  $12,5^\circ$  à  $5^\circ$ , pour remonter à  $10^\circ$  avant la crue.

Les valeurs de la dureté calcique et de la dureté totale exprimées en mg/l de  $\text{CaCO}_3$  sont très élevées pendant la période froide en relation avec la nature géologique du bassin versant (140 mg/l et 190 mg/l).

La concentration en  $\text{Cl}^-$  est faible (3-4 mg/l) en dehors des mois de forte fréquentation de skieurs. En février, on note une très nette augmentation (10-12 mg/l) dans l'ensemble du lac, signe d'un début de pollution encore sans gravité.

D'une façon générale les teneurs en nitrates et en phosphates augmentent de l'automne au printemps. Les valeurs moyennes pendant la longue période de mélange des eaux sont du même ordre dans les trois stations, respectivement :

- 0,71, 0,77, 0,95 mg/l à Barrage, Ubaye et Savines pour  $N.NO_3$
- 0,056, 0,057 et 0,053 à Barrage Ubaye et Savines pour  $P.PO_4$ .

Le nombre de germes est peu élevé en plein hiver (sauf à Ubaye), période où l'activité enzymatique et de multiplication sont les plus réduites. Quand on s'avance vers le printemps, le nombre de bactéries augmente vers 5 m de profondeur à Ubaye vers 10 m au Barrage et dans les couches inférieures à Savines. Au moment de la crue, la densité des germes atteint son maximum annuel à Savines et au Barrage. Au total, pendant la période de mélange l'activité bactérienne est assez importante pour assurer une minéralisation active.

Les biomasses et les numérations des cellules du phytoplancton indiquent une population (dominée par les genres Fragilaria et Cyclotella) encore relativement importante en novembre, après le mélange des eaux. Mais, dès cette période, la consommation des nutriments par le phytoplancton peut être ralentie, en particulier près du Barrage où la plus grande biomasse se situe en-dessous de la zone euphotique et n'est donc plus fonctionnelle. En plein hiver, le phytoplancton représenté par le genre Cyclotella est réduit, comme il l'est encore au printemps avec les espèces Asterionella et Fragilaria. L'essor du phytoplancton démarre en juin avec la fin de la crue. Ce développement tardif peut résulter de plusieurs facteurs :

- la température encore basse des eaux de surface
- l'importance des matières en suspension qui limite la photosynthèse
- le broutage du zooplancton qui malgré un certain démarrage de la

population phytoplanctonique maintient les effectifs et la biomasse de cette dernière à un niveau très bas.

Pendant l'hiver, le zooplancton comme le phytoplancton est très réduit. Les effectifs sont faibles avec de nombreux stades jeunes dont le développement très long à des températures voisines de 5°, explique une biomasse excessivement petite. La baisse des effectifs concerne les deux espèces de Copépodes (A.denticornis et C.vicinus vicinus) mais davantage encore le Cladocère D.hyalina. Les Rotifères sont pratiquement absents.

### 3.2.2. Caractéristiques de la période estivale

La crue de juin remplit le lac à raison de près d'un 1/2 mètre par jour pendant deux mois. La Durance et l'Ubaye apportent, pendant la crue, une quantité énorme de matières en suspension. Il se forme une véritable barrière de bois flotté dans le lac à mi distance de la branche Durance et de la branche Ubaye. Puis tous ces débris dérivent près des berges où ils restent stockés..

Les vents dominants et les courants provoqués par le débit important des 2 rivières qui alimentent le lac diminuent la stabilité de la colonne d'eau pourtant profonde en été (115 m. près du Barrage). La température en surface peut dépasser 20° mais elle baisse régulièrement jusqu'à 20 mètres de profondeur sans qu'une véritable thermocline s'installe: le lac de Serre-Ponçon est donc peu stratifié ce qui constitue sans doute son caractère le plus original dans la mesure où les autres lacs de barrages de la région sont nettement du type monomictique: chaud du 2ème ordre. Par ailleurs, cette particularité rend son étude, certes intéressante, mais aussi plus difficile.

En période estivale, des concentrations en  $N.NO_3$  de l'ordre de 0,26 mg/l alors que le  $P.PO_4$  n'est plus dosable et des rapports  $\frac{N}{P}$  élevés nous permettent de penser que le phosphore est l'élément limitant, comme dans beaucoup d'écosystèmes aquatiques. D'une part, il faudrait vérifier que les éléments autres que le phosphore et l'azote sont en quantités suffisantes pour que les apports de nitrates et de phosphates puissent provoquer une production de phytoplancton, la silice par exemple. Mais E. THOMAS a montré sur un échantillonnage de 40 lacs européens (Suisse, France, Allemagne, Autriche et Italie) que ces éléments autres que P et N n'étaient généralement pas des facteurs limitants.

D'autre part, nous n'avons considéré que les concentrations en  $P.PO_4$ , alors que les quantités de  $P.PO_4$  ajoutées journalièrement dans l'épilimnion sont d'une grande importance. Il est possible qu'un lac présente une teneur faible en  $P.PO_4$  mais montre une tendance à l'eutrophisation à cause d'apports journaliers importants, ce qui peut être le cas à Serre-Ponçon en juillet et en août.

Le nombre de germes est maximum en juin ( $10^6$  Cel/ml) mais l'activité bactérienne est la plus forte en août, où, précisément, les risques d'eutrophisation sont les plus élevés. Cependant l'activité estivale est considérablement réduite dans la branche Ubaye qui semble donc être le secteur le plus menacé par l'eutrophisation. Si l'on se base sur le seul peuplement bactérien on peut considérer que c'est un lac qui "tourne", et dont la situation est saine, excepté à Ubaye. Le fait que le phytoplancton arrive à "contenir" l'expansion du peuplement bactérien sans en diminuer la vitesse de multiplication et l'activité enzymatique dans la masse d'eau permet de penser que le cycle de la matière organique est loin d'y être freiné.

D'une façon générale, les paramètres chimiques étudiés ont un comportement analogue dans les trois stations durant la période estivale.

- Diminution de la dureté calcique qui peut être expliquée par une utilisation possible du phytoplancton et du zooplancton et une précipitation partielle des carbonates insolubles.

- Augmentation des chlorures, comme en février et pour les mêmes raisons, à savoir, une fréquentation touristique très importante dans tout le bassin versant, mais aussi, en été, aux abords immédiats des lacs.

- Chute importante de la concentration en nitrates (moins du tiers de ce qu'elle est en hiver) soit en moyenne, sur toute la colonne d'eau 0,26 mg/l à Barrage, 0,23 à Savines et 0,12 mg/l à Ubaye.

- Chute plus importante encore des phosphates dont les concentrations en août sont inférieures au seuil de dilution à Savines, Ubaye et dans les dix premiers mètres à Barrage ( 0,001 mg/l). Il semble que l'on puisse associer cette décroissance en  $P.PO_4$  des couches supérieures à la consommation par le phytoplancton et donc à une conversion en phosphore cellulaire .

Pour la suite de l'étude il serait important de séparer ces différentes formes sous lesquelles se trouvent les éléments nutritifs et en particulier le phosphore. Il serait également intéressant d'associer aux comptages des populations phytoplanctoniques, les déterminations des quantités de P-soluble réactif, P-Soluble, P-Total et en particulier des quantités de P-particulaire .

En dehors de cette hypothèse, il faut aussi envisager la possibilité de précipitation de composés inorganiques : co-précipitation de phosphates avec  $CaCO_3$  ou de l'hydroxyapatite comme c'est le cas par exemple dans le lac de Zurich.

En plein été, contrairement au reste de l'année où les numérations et les biomasses du phytoplancton montrent que le développement du phytoplancton est plutôt réduit, on dénombre jusqu'à  $6,6 \cdot 10^6$  Cel/l avec des biomasses de 3,6 mg/l. La biomasse la plus élevée a été observée à Ubaye, la moins importante à Savines. Les populations sont alors dominées par Chromulina, Chlorella.

Le fait que ces biomasses (dont l'importance pourrait traduire une eutrophisation en cours) soient manifestement à l'origine de la diminution estivale des nutriments, et en particulier du phosphore, montre que la consommation de ces nutriments par le phytoplancton est supérieure aux apports durant cette période critique. Cependant le peuplement bactérien pourrait être en compétition avec le phytoplancton pour les phosphates. L'exclusion des bactéries aux niveaux riches en phytoplancton limite vraisemblablement cette compétition. En particulier, elle ne se produit pas en août, période où les deux peuplements sont très abondants.

L'essor du zooplancton commence au printemps, avant la crue. 2 hypothèses peuvent être avancées à ce propos :

- il peut, en broutant le phytoplancton à cette période, être la cause du maintien des effectifs et des biomasses des cellules algales à un niveau très bas jusqu'au plein été.
- il peut se nourrir de bactéries dont la concentration est très élevée au printemps. L'utilisation des bactéries par le zooplancton est un problème peu étudié bien qu'il puisse s'avérer très important pour l'essor du zooplancton et par suite des poissons. Ce point mériterait toute notre attention lors du suivi d'un prochain cycle annuel.

Les effectifs très élevés en été de 2 espèces réputées phytoplanctophages D.hyalina et A.denticornis semblent contribuer, avec la baisse des

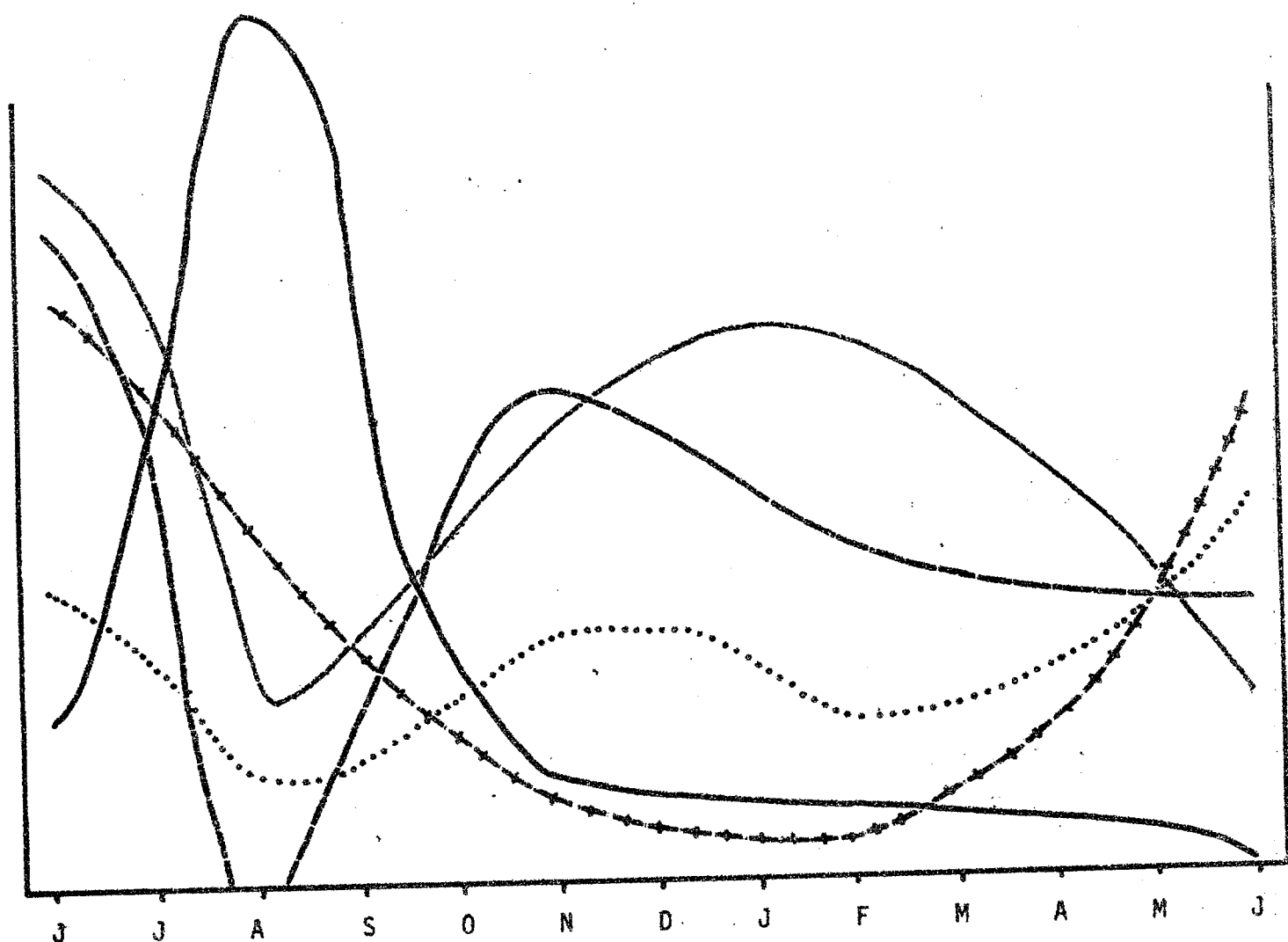


Fig.26 - Evolution saisonnière dans l'épilimnion des paramètres :  
nitrates (---) phosphates (— — —) bactéries (.....)  
phytoplancton (——) et zooplancton (+ + +)  
station : Barrage, de juin 1978 à juin 1979.

On peut remarquer la disparition des phosphates en été qui pourraient limiter l'essor du phytoplancton donc de l'eutrophisation.

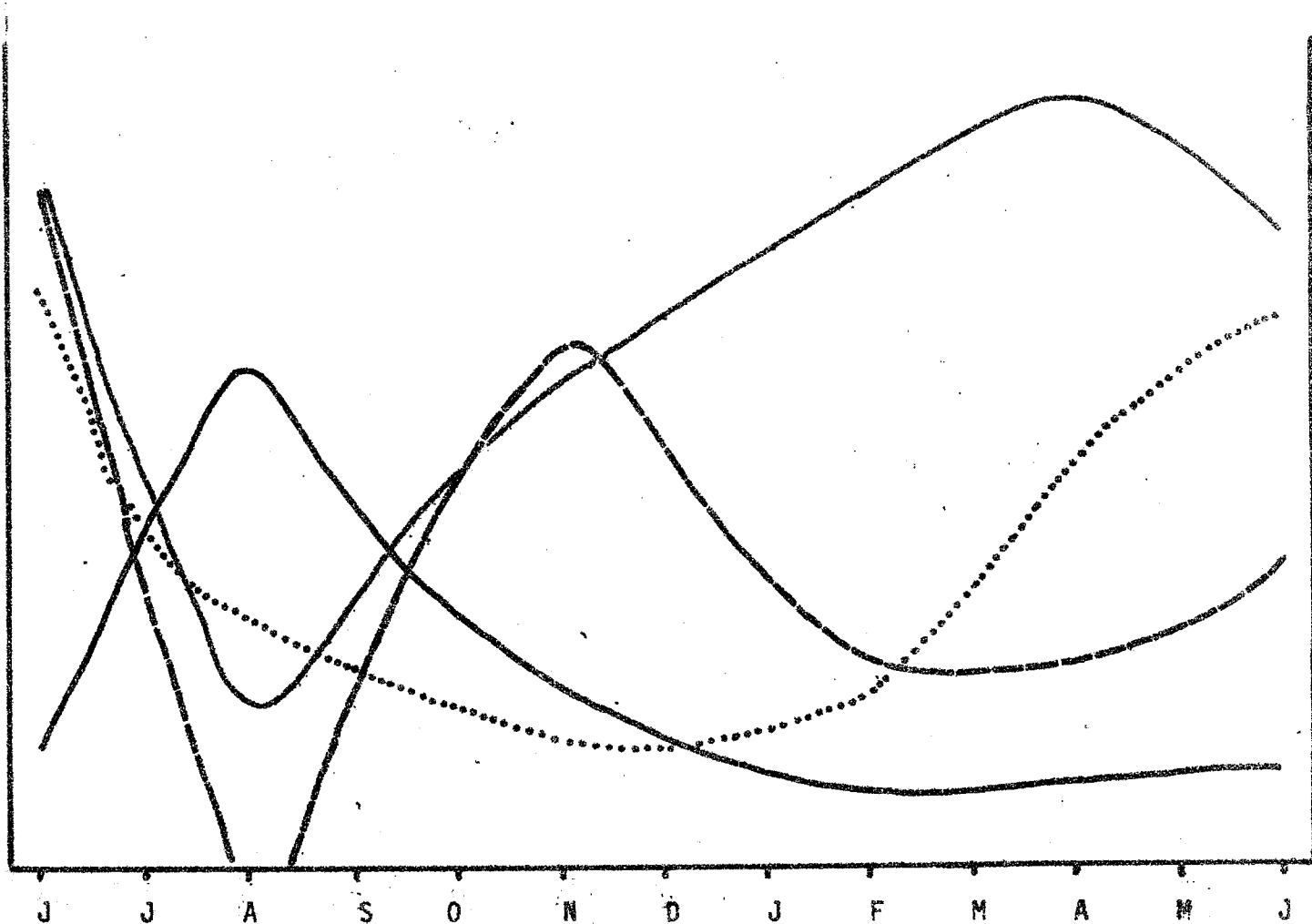


Fig.27 - Evolution saisonnière dans l'épilimnion des paramètres :  
nitrates (---) phosphates (— —) bactéries (.....)  
phytoplancton (——)  
station : Savines, de juin 1978 à juin 1979.

On peut remarquer la disparition des phosphates en été qui pourraient limiter l'essor du phytoplancton donc de l'eutrophisation.

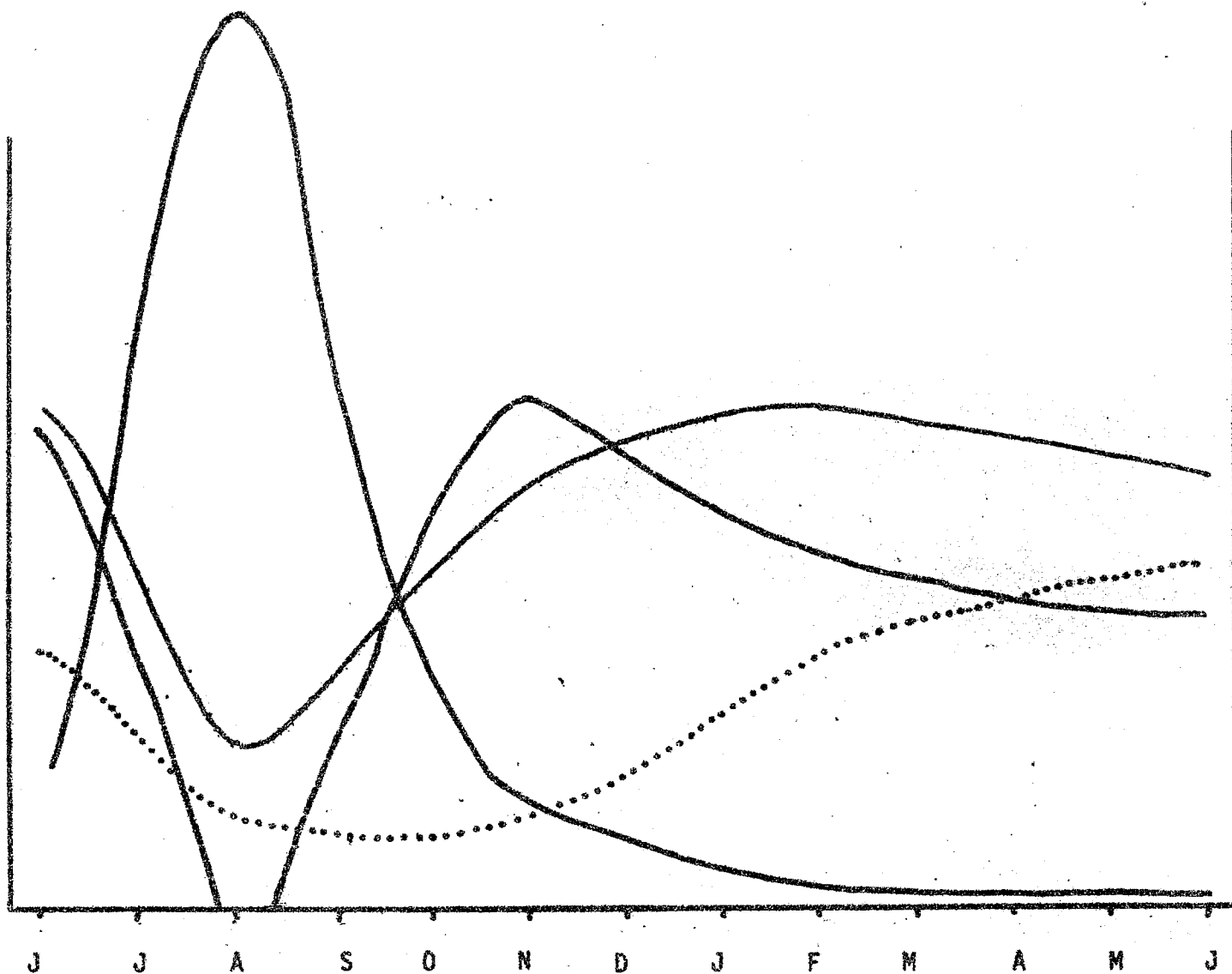


Fig. 28 - Evolution saisonnière dans l'épilimnion des paramètres :  
nitrates (-----) phosphates (———→) bactéries (.....)  
phytoplancton (———)  
station : Ubaye, de juin 1978 à juin 1979.

On peut remarquer la disparition des phosphates en été qui pourraient limiter l'essor du phytoplancton donc de l'eutrophisation.

nutriants, à limiter le "bloom algal", tout au moins dans la branche Durance du lac. Ceci, d'autant plus, que les températures élevées de la tranche d'eau superficielle permettent sans doute à plusieurs générations de se succéder au cours de l'été. Il sera nécessaire, pour s'en assurer, de mener une campagne plus longue avec des prélèvements rapprochés en août ou en septembre lors d'un prochain cycle annuel.

### 3.3. Répartition de la faune

Facile à récolter, le zooplancton est l'élément de la faune qui se prête le mieux à cette étude.

En juillet 1979, une série de prélèvements à plusieurs profondeurs a été réalisée dans 15 stations réparties dans les deux branches du lac. L'étude de ces échantillons qui s'ajoute à celle des prélèvements réalisés pour suivre le cycle annuel a permis d'obtenir deux résultats essentiels qui montrent :

- l'identité du peuplement zooplanctonique de Serre-Ponçon avec celui de nombreux autres lacs de barrage et, au contraire, sa particularité comparé au zooplancton des lacs naturels.
- l'existence d'un domaine néritique différencié du domaine pélagique.

#### 3.3.1. Inventaire faunistique

Sur toute la superficie du lac on retrouve toujours le même lot réduit d'espèces

Crustacés. Cladocères

*Daphnidae* : *Daphnia hyalina* var. *lacustris* (SARS)

*Bosminidae* : *Bosminia longirostris* var. *similis* (LILLJEBORG)

*Chydoridae* : *Alona affinis* (LEYDIG)

*Chydorus sphaericus* (O.F.MULLER)

La détermination des Cladocères du genre Alona pose certains problèmes selon les critères retenus :

- ciliature au niveau de la griffe du post-abdomen : celle-ci est nettement présente pour tous les individus observés, ce qui permet de les attribuer à l'espèce affinis.

- pores céphaliques : leur disposition est semblable à celle observée pour l'espèce quadrangularis. Il sera donc nécessaire de faire une analyse statistique sur un lot plus important d'individus.

#### Crustacés-Copépodes

*Diaptomidae* : *Acanthodiaptomus denticornis* (WIERZESKI, 1887)

*Cyclopidae* : *Cyclops vicinus vicinus* (ULIANINE, 1875)

*Macrocyclops albidus* (JURINE, 1920)

*Eucyclops serrulatus* (FISCHER, 1851)

Le Cyclops a été rapporté à l'espèce vicinus après l'établissement du diagramme obtenu par la mesure de 20 paramètres sur 10 femelles, et la comparaison de ce diagramme avec ceux réalisés par différents auteurs (fig.29 p.

Rotifères : *Asplanchna* sp

*Kellicottia longispina*

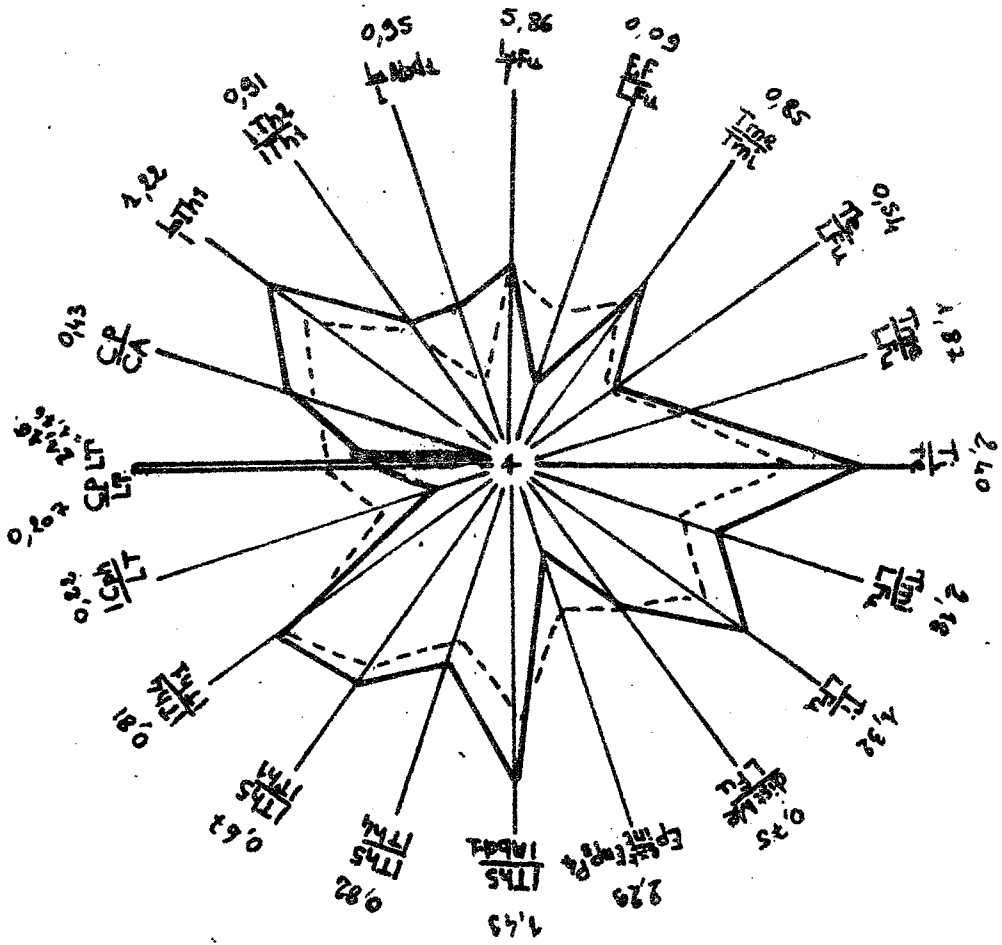
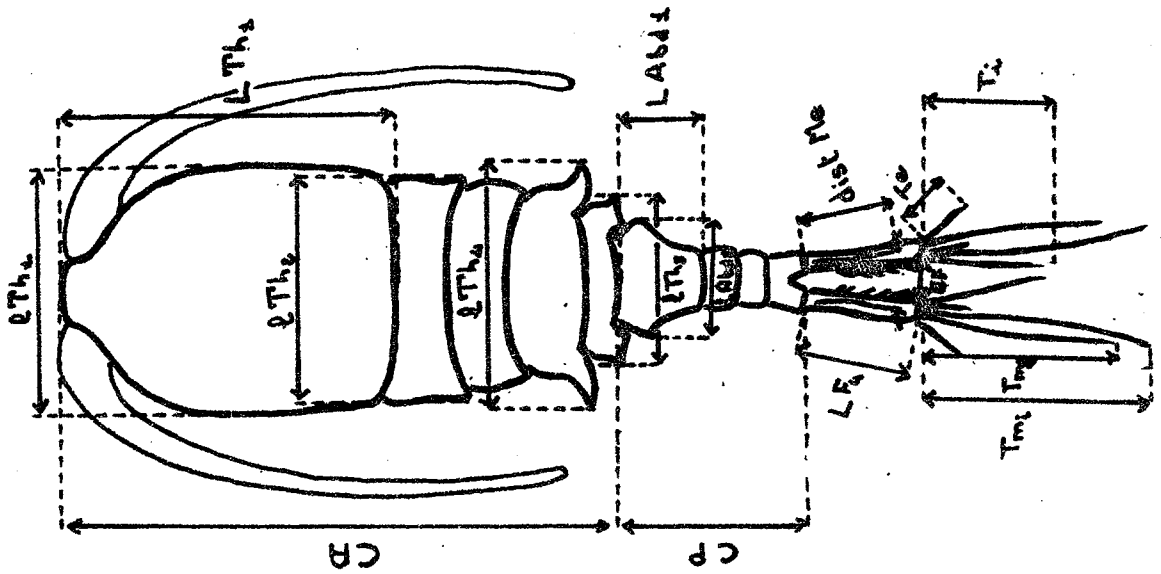
*Polyarthra vulgaris*

*Lepadella patella*

*Keratella cochlearis*

Fig.29 - A . Paramètres mesurés pour déterminer *Cyclops vicinus vicinus*

B . Diagramme correspondant à la population de Serre-Ponçon (—) et au type (----)



Sur toute la superficie du lac, les 3 espèces dominantes sont les mêmes que pendant toute l'année près du barrage :

*D. hyalina* assure 45 à 80% du peuplement

*A. denticornis* " 5 à 50% "

*C. vicinus vicinus* " 3 à 20% "

Les Rotifères ne sont bien représentés qu'en été.

### Autres organismes

Sporadiquement on a récolté des larves et des nymphes de Chironomides et leur exuvies, des larves et des nymphes d'Hydracariens du genre Arrhenurus. Les ciliés relativement bien représentés n'ont pas été étudiés.

### 3.3.2. Répartition transversale

Les 9 prélèvements effectués le long de 3 transects, 2 dans la branche Durance (2-3-4 et 5-6-7, fig.30 et 31 p.76 et 77) 1 dans la branche Ubaye (st.12-13-14) aboutissent à différencier deux domaines dans la masse d'eau, selon leur richesse en zooplancton.

1°) Le domaine pélagique qui peut être défini comme la zone centrale de la vallée, correspondant aux parties les plus profondes et dont le substrat n'est jamais émergé. La majorité du zooplancton est récoltée dans ce domaine.

2°) Le domaine néritique est moins facile à cerner. Il correspond à des zones où le fond est en pente douce et peut donc être délimité, à ces endroits, par la ligne de rupture de pente qui correspond plus ou moins à la superficie découverte par le marnage. Dans les zones abruptes, le domaine néritique est inexistant. Ici la densité des animaux planctoniques est toujours très faible.

Une différence semble exister entre les deux rives du lac, dans la branche Ubaye et dans la branche Durance : la densité est toujours supérieure en rive droite, sans qu'il soit possible d'expliquer ce phénomène.

La station 3 est remarquable par :

- la densité très importante des animaux récoltés
- le nombre très élevé des Rotifères dans les prélèvements d'été
- la proportion de Cyclopidés beaucoup plus grande que pour les autres stations, en été comme en hiver.

### 3.3.3. Répartition longitudinale

Si l'on considère l'effectif global de toutes les espèces, deux zones se différencient dans les 2 branches du lac avec :

- une forte densité en queue du lac, à l'arrivée des rivières, en relation avec une biomasse algale plus importante en été, surtout dans la branche Ubaye (4,64 mg/l)
- une densité qui diminue quand on se rapproche du barrage où la phytomasse est < à 2,7 mg/l

Si l'on considère la proportion des différentes espèces composant le peuplement on constate qu'elle est de plus en plus stable tout au long de l'année vers le barrage.

- En été, les Rotifères présentent un net gradient de densité du barrage à la queue du lac : leurs effectifs faibles près du barrage augmentent de plus en plus vers l'amont. Ce gradient est plus large dans la branche Durance où les Rotifères sont dominants au niveau du plan d'eau.

# DENSITÉS

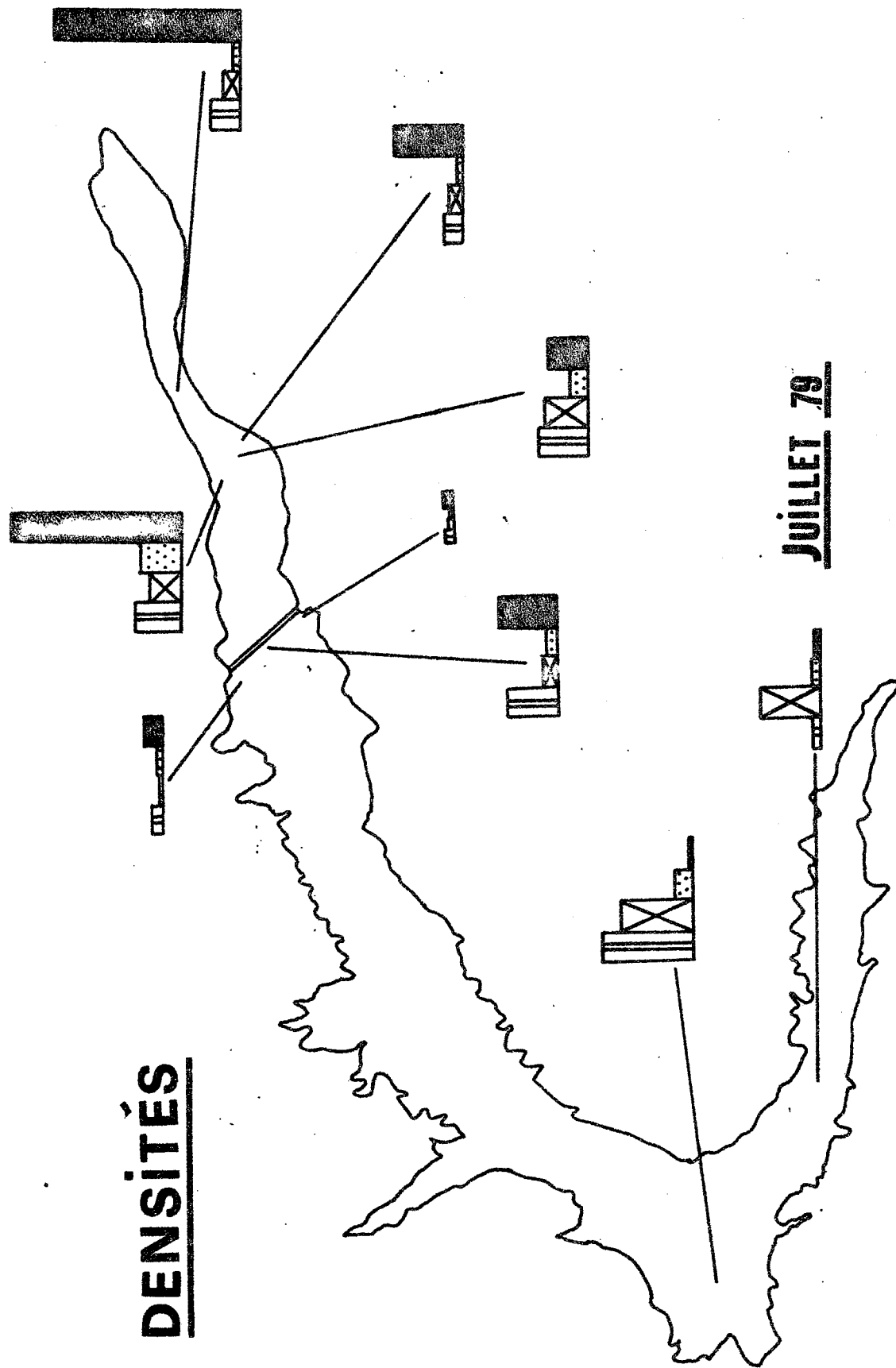


Fig. 30 - Répartition horizontale du zooplancton. Dans chaque station,

- de gauche à droite : Daphnia hyalina, Acanthodiptomus denticornis,

Cyclops vicinus vicinus, Asplanchna sp. En hauteur,  $1 \text{ cm} = 5 \times 10^3$  individus/m<sup>3</sup>.

# BIOMASSES

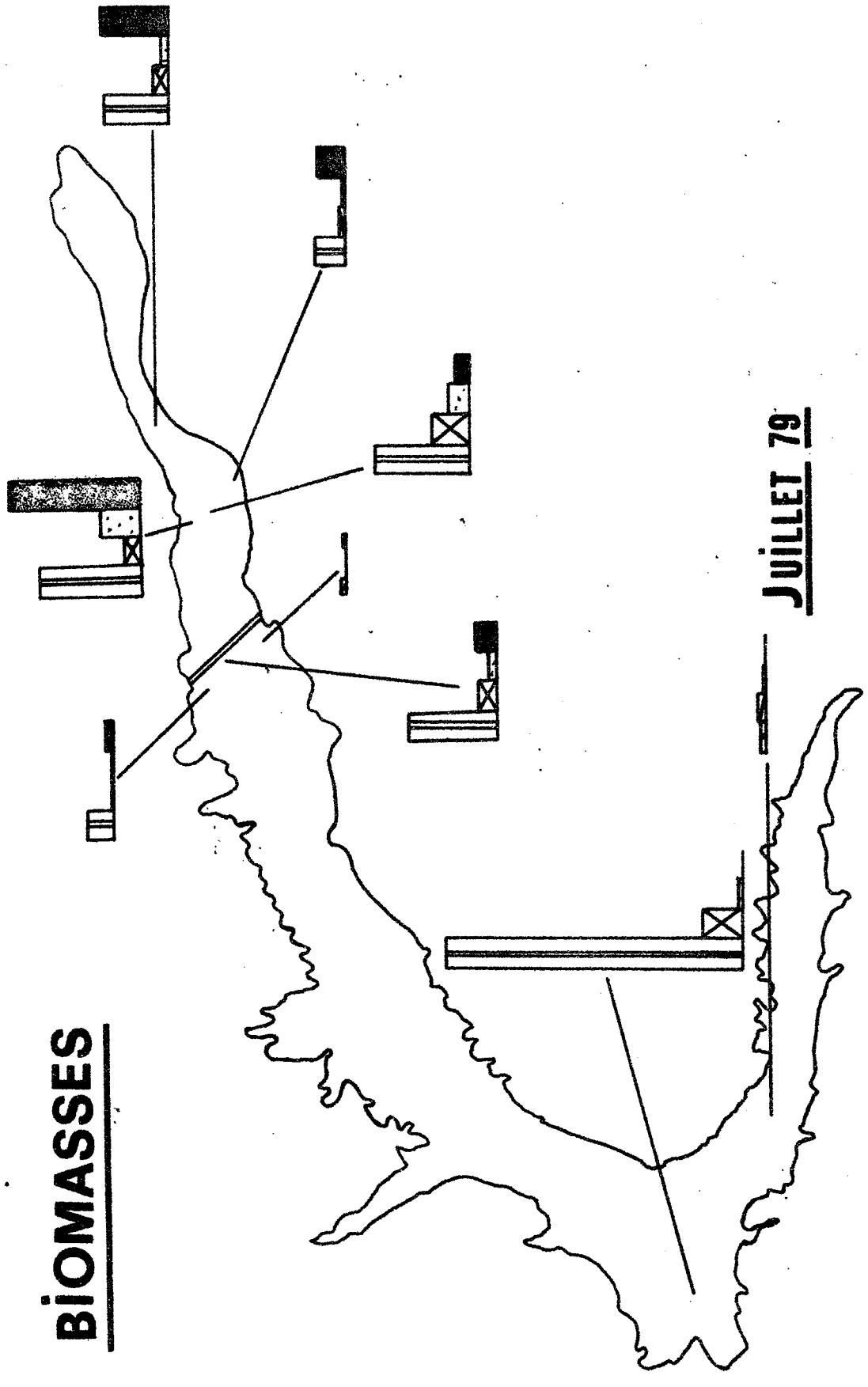


Fig. 31 - Répartition horizontale des biomasses. Dans chaque station,  
- de gauche à droite : *Daphnia hyalina*, *Acanthodiptomus denticornis*,  
*Cyclops vicinus vicinus*, *Asplanchna* sp. En hauteur, 1 cm = 2.10<sup>3</sup> mg/m<sup>3</sup>

- Au contraire les Daphnies sont toujours plus nombreuses près du barrage.

Il serait intéressant de préciser si l'existence de ces deux gradients inverses résulte de la concurrence trophique entre ces espèces herbivores.

La petite taille des Rotifères ne leur permet pas, malgré leur forte densité estivale, de jouer un rôle primordial dans la biomasse du zooplancton. Cependant leur temps de développement très rapide (environ une semaine) laisse à penser que leur rôle dans le réseau trophique en été peut être important en particulier en queue de la branche Durance.

#### 3.3.4. Esquisse du cycle biologique des espèces dominantes

*Daphnia hyalina* (fig.31 p.80)

On peut distinguer plusieurs générations parthénogénétiques. Une génération d'automne dont les stades juvéniles présentent leur maximum en août et se développent en femelles jusqu'en novembre. Ces femelles donnent naissance, dès la fin de l'hiver, à plusieurs générations de printemps dont les stades juvéniles se succèdent de février à juin, pour engendrer un maximum d'adultes en juillet.

*Acanthodictyomus denticornis* (fig.32 p.81)

L'existence de plusieurs générations qui se chevauchent dans le temps est confirmée par la présence de deux catégories d'individus, au niveau des adultes et des copépodites IV et V:

- ceux de grande taille dont le développement lent (3 mois) s'est effectué pendant l'hiver
- ceux de plus petite taille dont le développement estival est rapide (1 mois).

La longévité importante des adultes (1 an) ne permet pas une distinction nette des générations. Il semble que la ou les générations d'été, dont les stades nauplii apparaissent en août, se développent très rapidement pour donner un maximum d'adultes en novembre. Ces adultes, très abondants jusqu'en mars avril, produisent la génération d'hiver. Les nauplies qui naissent jusqu'au mois de juin se développent pour donner des adultes nombreux, de la fin du printemps jusqu'en août.

*Cyclops vicinus vicinus* (fig.33 p.82)

Comme pour les deux autres espèces on peut distinguer une génération d'automne de nauplii éclos en août qui se développent rapidement. Les adultes abondent en novembre. Ils se reproduisent en hiver pour fournir une génération de printemps dont les nauplii nombreux jusqu'en juin arrivent aux stades adultes pendant l'été.

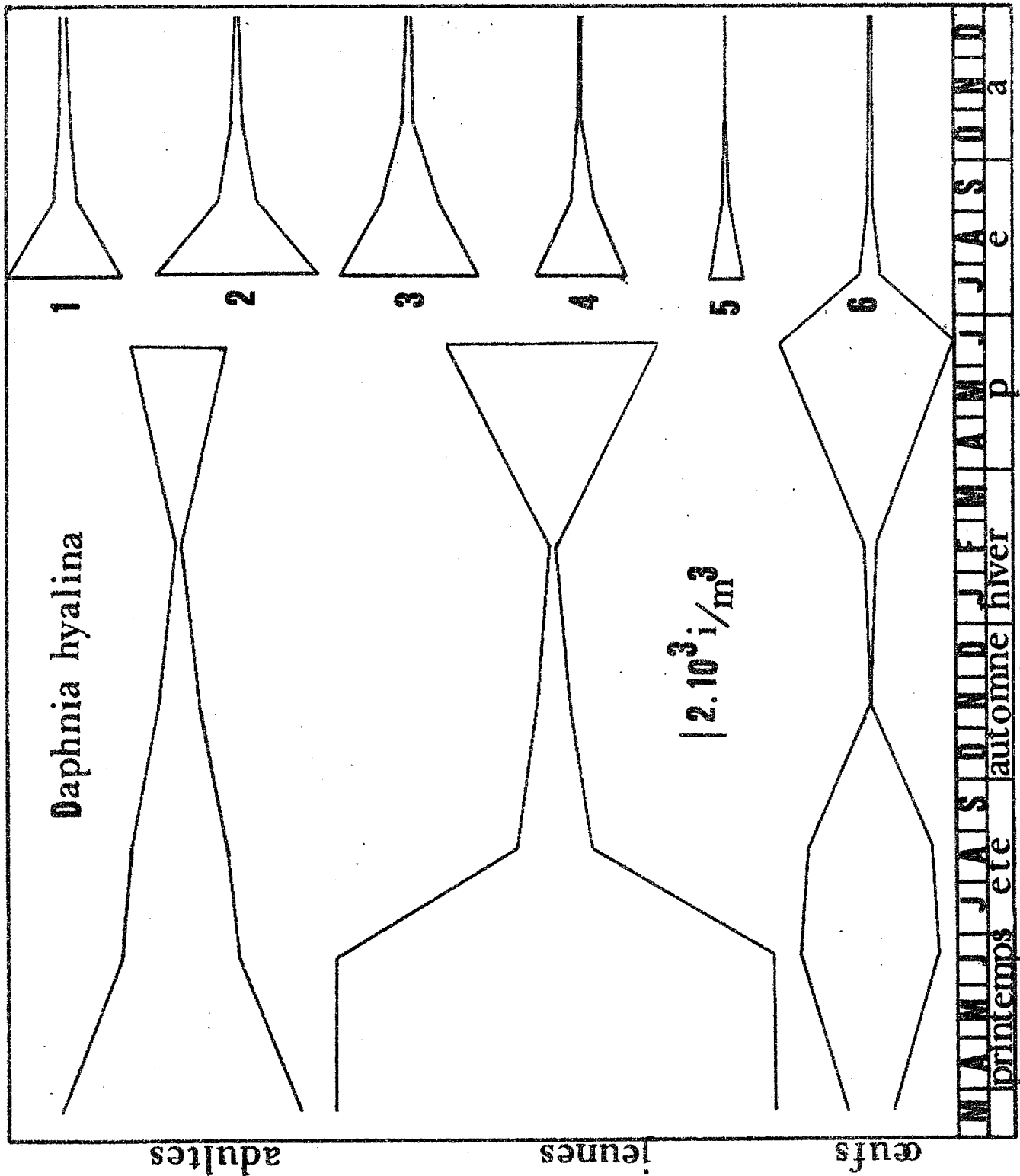


Fig.31 - Cycle biologique



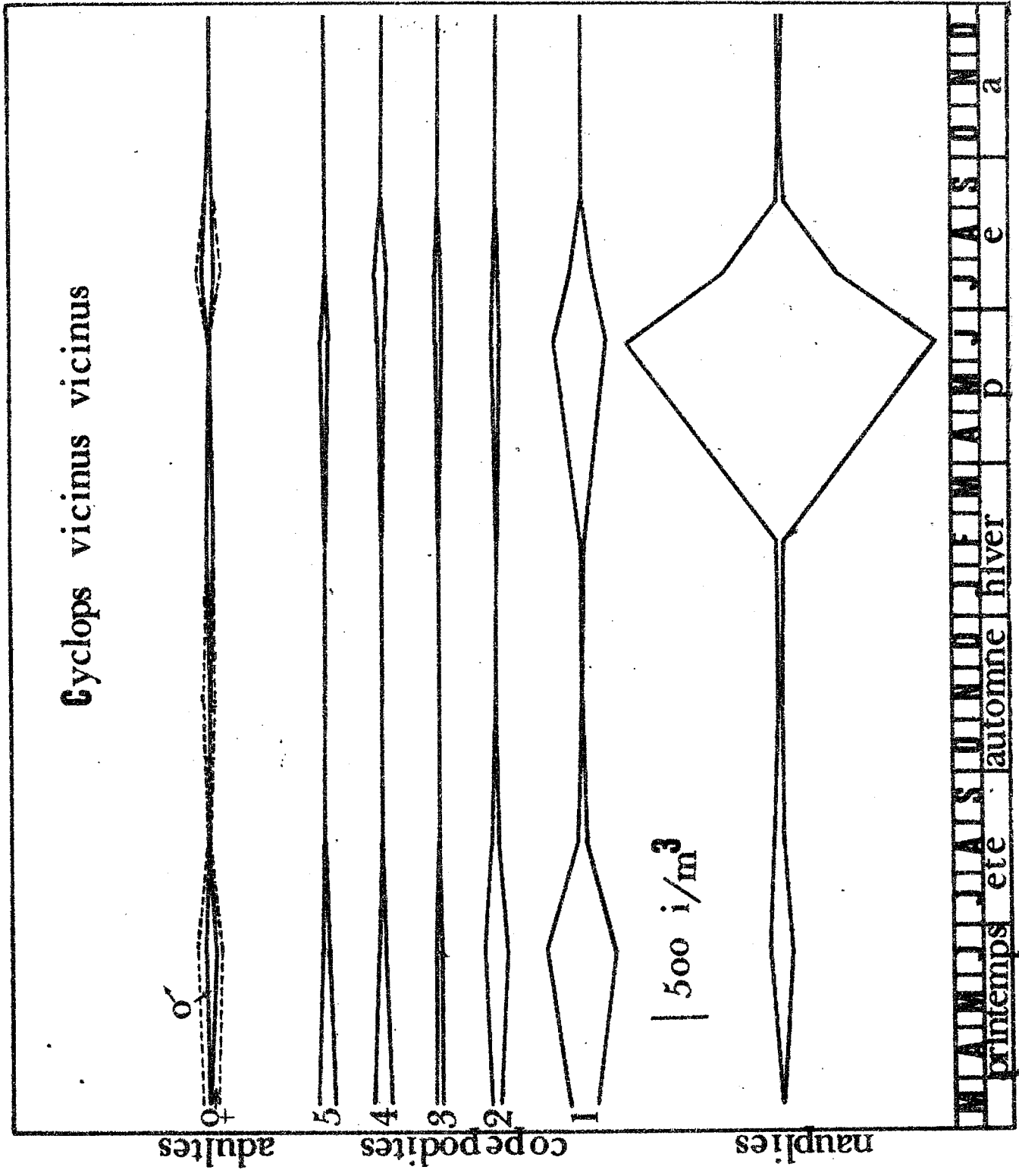


Fig.33 - Cycle biologique

#### 4. DOMAINE BENTHIQUE

##### 4.1. Substrats du lac (fig.34 p. 84)

La répartition des sédiments est fonction des apports allochtones des deux rivières et des dépôts en éléments minéraux dus au fonctionnement du lac. La carte p.84 représente la granulométrie des zones exondées en avril 1979 (marnage = 35 m).

On note, en général, la présence de sédiments grossiers (cailloux, sables et sablons) dans les zones pentues, sur le pourtour du lac, ainsi que dans les cônes de déjection des différents cours d'eau (Réallon, Boscodon). Des galets sont déposés dans l'ancien lit des deux rivières, au fond du lac, où subsiste un courant.

Les sédiments fins argilo-limoneux se rencontrent dans les zones calmes où la topographie est suffisamment plane; on les trouve en queue du barrage et dans les parties centrales du lac. Ce dépôt est d'autant plus important que la rivière amont est chargée en matières en suspension. C'est ainsi que l'épaisseur du sédiment fin atteint 2m en queue de la branche Durance (apports : 200.000 m<sup>3</sup>/an) 5 m dans la branche Ubaye où les apports de la rivière sont très élevés (1.000.000 m<sup>3</sup>/an).

Les surfaces découvertes sont très importantes. On peut les calculer d'après les courbes de surface (fig.3 p.9) ou par pesée des parties correspondant aux zones découvertes sur la carte. On obtient sensiblement les mêmes résultats par les deux méthodes, à savoir 1215 ha sur 2694 soit 42% (55% à Castillon, 38% à La Chaudanne, 27% à Sainte-Croix).



Les vases sont relativement riches en matière organique, pour un lac de barrage (Savines 14,05%, Saint-Michel 12,95%, Ubaye 12,50%).

Au contraire ces teneurs seraient considérées comme étant assez faibles pour une vase de lac naturel.

Pour connaître les possibilités trophiques de la vase il serait nécessaire d'étudier les différents états de la matière organique. Par exemple, la lignine importante à Serre-Ponçon n'est pas directement utilisée par la faune.

#### 4.2. Bactéries du sédiment (fig.35 p.86)

Dans la vase, le maximum d'activité bactérienne paraît se situer en août, le minimum en avril. De novembre à juin, la vase exondée ou immergée est généralement plus active du point de vue bactérien que l'eau qui la surmonte. Par contre, en période estivale, la masse d'eau présente une activité bactérienne plus forte que les sédiments.

La vase exondée paraît avoir un nombre de germes hétérotrophes plus élevé que la vase immergée à 2,5m ou 40m. Par contre l'activité bactérienne dans la vase exondée est généralement un peu plus faible, mais toujours du même ordre de grandeur que dans la vase submergée.

#### 4.3. Végétation

La végétation enracinée et les herbiers à characées dont on connaît l'importance sur la diversité de la faune vagile dans les lacs naturels sont complètement éliminés par le marnage.

L'extension des zones rocheuses sur les pentes abruptes permet le développement du périphyton dont l'apport trophique est loin d'être négligeable pour les jeunes alevins des Cyprinidés. Il conviendrait d'étudier ce périphyton comme nous l'avons fait dans les lacs du Verdon.

		Nombre	Activité	Nb d'ammonifiants	Nb de sulfato- réducteurs
Août 78	Savines 20m	$2,5 \cdot 10^6$	6	-	-
	Vase 2,5m	-	-	-	-
	Vase éxondée	-	-	-	-
Novemb. 78	Savines 40m	$2,5 \cdot 10^6$	4,6	$2,5 \cdot 10^6$	$0,9 \cdot 10^6$
	Vase 2,5m	$15 \cdot 10^6$	3,1	$9,5 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$
	Vase éxondée	$45 \cdot 10^6$	3,1	$2,5 \cdot 10^6$	$0,25 \cdot 10^6$
Février 79	Savines	$95 \cdot 10^6$	4,5	$2,5 \cdot 10^6$	$25 \cdot 10^6$
	Vase 2,5m	-	-	-	-
	Vase éxondée	$15 \cdot 10^6$	3,3	$2,5 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$
Avril 79	Savines	$7,5 \cdot 10^6$	1,5	$4,5 \cdot 10^6$	$0,075 \cdot 10^6$
	Vase 2,5m	-	-	-	-
	Vase éxondée	$45 \cdot 10^6$	1,4	$2,5 \cdot 10^6$	$0,25 \cdot 10^3$
Juin 79	Savines	$25 \cdot 10^6$	4,1	$15 \cdot 10^3$	$75 \cdot 10^3$
	Vase 2,5m	-	-	-	-
	Vase éxondée	-	-	-	-

Fig. 35 - Les bactéries du sédiment

#### 4.4.1. Faune benthique : inventaire (fig.36 p. 88)

La faune benthique comprend essentiellement des larves de Chironomides et des Oligochètes (respectivement 60 et 10 sp.). On rencontre également des Nématodes, des Hydracariens, des oeufs de résistance de Cladocères des Copépodites IV de Cyclopidés en diapause, des Ostracodes et quelques larves déphémères et de Cératopogonides.

##### 4.4.1.1. Espèces dominantes

On distingue 4 espèces largement dominantes toute l'année et à toutes les profondeurs

*Procladius choreus* (Chironomide tanypodinae)  
*Chironomus commutatus* (Chironomide chironomini)  
*Prodiamesa bathyphila* (Chironomide prodiamesinae)  
*Limnodrilus* immatures (Oligochète)

D'autres espèces peuvent développer des populations dominantes, mais seulement à une période déterminée de l'année.

##### 4.4.1.2. Remarques écologiques sur les espèces récoltées :

D'après l'étude des capsules céphaliques on distingue des espèces carnivores, herbivores et détritivores. Les carnivores sont représentés généralement par les 7 espèces de Tanypodinae. Les herbivores sont souvent des Orthocladinae et Diamesinae qui raclent les algues sur les pierres et les sédiments grossiers. Les détritivores et les filtreurs sont représentés par les Chironomini et les Tanytarsini.

Pour l'étude des conséquences du marnage sur la faune benthique il est également intéressant de distinguer parmi les espèces récoltées.

- des espèces mobiles qui fabriquent un fourreau avec le mucus sécrété par leurs glandes salivaires et se déplacent à la recherche de leur nourriture (détritus ou algues). Ce sont souvent les Chironomini.

TANYPODINAE

Procladius culiciformis  
Procladius choreus  
Psectrotanypus varius  
Ablabesmya monilis  
Ablabesmya longistyla  
Conchapelopia pallidula  
Conchapelopia viator

CHIRONOMINAE

*Chironomini*  
Chironomus obtusidens  
Chironomus thummi  
Chironomus commutatus  
Chironomus cingulatus  
Chironomus anthracinus  
Chironomus longystilus  
Cryptochironomus sp.  
Limnochironomus nervosus  
Parachironomus frequens  
Endochironomus tendens  
Polypedulum nubeculosum  
Polypedulum pedestre  
Polypedulum albicorne  
Harnischia curtilamellata  
Harnischia fuscimana  
Chironomus annularius

*Tanytarsini*  
Tanytarsus heusdensis  
Tanytarsus curticornis  
Tanytarsus fimbriatus  
Tanytarsus bathophilus  
Tanytarsus medius  
Tanytarsus brundini  
Tanytarsus arduennensis  
Cladotanytarsus mancus  
Micropsectra atrofasciata  
Micropsectra bidentata

ORTHOCLADIINAE

Cricotopus sylvestris  
Cricotopus flavocinctus  
Cricotopus pirifer  
Psectrocladius calcoratus  
Psectrocladius barbimanus  
Psectrocladius obvius  
Orthocladius oblidens  
Camptocladius stercorarius  
Chaetocladius gracilis  
Chaetocladius acuminatus  
Psectrocladius sordidellus  
Parametricnemus stylatus  
Paracladius conversus  
Paracladius alpicola  
Corynoneura lobata  
Limnophyes prolongatus  
Rheocricotopus rubicundus  
Paraorthocladius nudipennis  
Orthocladius nivicola  
Rheocricotopus glabricollis  
Eukiefferiella verralli

DIAMESINAE

Diamesa latitarsis  
Diamesa thienemanii  
Pseudodiamesa branickii

PRODIAMESINAE

Prodiamesa bathyphila  
Prodiamesa rufovittata  
Prodiamesa olivacea

Figure 36 - Liste faunistique des larves de Chironomides récoltées dans la vase de la retenue de Serre-Ponçon.

- des espèces tubicoles qui sont immobiles . Elles filtrent des particules qui transitent dans leur tube (Chironomini et Tanytarsini).

A propos des larves de Chironomes récoltées, on peut noter encore que celles appartenant à la famille de Chironominae ont de l'hémoglobine pour compenser le déficit en oxygène dissous dans les vases. Elles sont même capables de supporter une anoxie temporaire.

Les tailles du lot d'espèces recensées vont de 4 mm pour les plus petites (Tanytarsini) à 15 mm pour les plus grandes (Chironomini). Ce qui représente un éventail assez large pour exploiter toute la gamme de dimensions des particules alimentaires.

Enfin, parmi les larves de Chironomides récoltées, on note des indicateurs de différents états de trophie :

- Oligotrophe : nombreux Tanytarsini dont le genre Microspectra , des Diamesinae
- Mesotrophe : des Chironomini comme Endochironomus , Microtendipes.
- Eutrophe comme Chironomus anthracinus récolté en petite quantité.

Les Oligochètes ont pu coloniser le fond des lacs par ce qu'ils se montrent capables, eux aussi, de tirer partie des faibles teneurs en oxygène dissous et par ce qu'ils peuvent même résister en anaérobiose. Ces Annélides jouent dans l'évolution des sédiments recouverts par les eaux, un rôle semblable à celui des lombrics dans les terres émergées. Ils déplacent les vases, ramenant les couches inférieures vers le haut après transit par le tube digestif. Par jour, chaque individu peut déposer une quantité de déjections pouvant atteindre plusieurs fois son propre poids. Bien que l'activité soit variable suivant les saisons, on conçoit que la masse totale des sédiments ainsi déplacés au bout d'une année soit considérable. Ces remaniements du substrat s'accompagnent également de transformations biologiques et physico-chimiques qui concourent à l'eutrophisation du milieu.

#### 4.4.1.3. Comparaison avec d'autres lacs

Malgré un nombre élevé de prélèvements la diversité spécifique est moins grande que dans les lacs naturels (300 sp. dans le lac de Constance par exemple). La liste de Chironomides recensées à Serre-Ponçon est cependant deux fois plus longue que dans les lacs du Verdon, où, il est vrai, les prélèvements ont été moins nombreux, mais où, également, les débris végétaux sont moins abondants et la teneur en matière organique moins élevée. Les espèces dominantes sont les mêmes.

#### 4.5. Répartition de la faune dans les sédiments

##### 4.5.1. En fonction des substrats :

La faune benthique, répartie pour l'essentiel dans les sédiments argilo-limoneux situés dans les zones planes est pratiquement absente des substrats à granulométrie grossière. Ces derniers sont plus étendus dans les lacs de barrage que dans les lacs naturels. D'où l'importance de la cartographie des substrats vaseux dans les zones découvertes par le marnage pour connaître la répartition du benthos (fig.34 p.84 )

Des prélèvements ont été faits en juin, août et novembre 1978, dans des stations situées près du Pont de Savines, sur un transect entre 10 et 15 m de profondeur où l'on rencontre des substrats différents. Ils contiennent dans les zones de cailloux, sables et sablons, un nombre réduit de larves de Chironomides et très peu d'Oligochètes (fig.37 p.91)

La qualité de la matière organique intervient aussi : les Oligochètes constitués d'espèces fouisseuses qui ingèrent des particules fines sont plus nombreux dans les zones où la matière organique est composée d'éléments fins et d'algues filamenteuses. Par contre, les Chironomes se répartissent en plus grand nombre dans les zones où la matière organique est composée de débris végétaux.

##### 4.5.2. Répartition verticale dans la vase.

Des tranches de sédiments ont été étudiées séparément. Dans les 5 premiers centimètres on a trouvé toutes les larves de Chironomides ainsi que les 3/4 de la population d'Oligochètes. En dessous des 5 cm on a trouvé 3 fois plus de Copépodites IV de Cyclopidés

	Sable et sablon	Vase
Moyenne des Oligochètes (nbre/l)	0,25	24
Moyenne des Chironomides (nbre/l)	14	58
Total faune	14,25	82
Total faune en %	15	85

Fig.37 : Répartition des Oligochètes et des larves de Chironomides dans les 2 types de substrats colonisés par la faune benthique.

Liste faunistique des Oligochètes récoltés dans la vase de la retenue de Serre-Ponçon

*Lumbriculidae*

*Lumbriculus variegatus*

*Stylodrilus* sp.

*Naididae*

*Ophidonais serpentina*

*Sejdiella intermedia*

*Nais elinguis*

*Tubificidae*

*Tubifex tubifex*

*Limnodrilus hoffmeisteri*

*Limnodrilus profundicola*

*Limnodrilus immatures*

*Limnodrilus pluriseta*

*Aulodrilus*

qu'en surface.

#### 4.5.3. En fonction de la profondeur (fig.38 et 39 p.93 et 94)

La faune colonise toutes les profondeurs, de 0 à 100 m. Mais le développement relatif des larves de Chironomes et des Oligochètes change du bord au centre du lac.

Sur l'ensemble des prélèvements :

- les larves de Chironomides représentent 88% de la population benthique à Ubaye (0-40m) 55% à Savines (0-40m) 18% au Barrage (100m)
- inversement les Oligochètes sont généralement plus nombreux dans les zones profondes (82% au Barrage).

Cette situation souffre des exceptions comme en témoigne la figure 39B où les effectifs des larves de Chironomes et les Oligochètes diminuent également avec la profondeur.

Si l'on considère l'ensemble de la faune (Chironomes + Oligochètes) les effectifs sont plus abondants à Savines avec 5000 ind/m<sup>2</sup> que dans la vase des deux autres stations (Barrage 3574, Ubaye 3725).

#### 4.6. Faune benthique : évolution saisonnière (fig.40 p.96)

L'évolution saisonnière des effectifs des Oligochètes et des larves de Chironomides est différente d'une station à l'autre.

Savines :

De juin 1978 à juin 1979 dans tous les prélèvements effectués à différentes profondeurs, de 0 à 40 m, les effectifs d'Oligochètes et de Chironomides sont équivalents. On note, pour ces deux groupes faunistiques un pic d'abondance en hiver, un effectif réduit au printemps et en été.

Parmi les Chironomides les Tanypodinae dominent. Les 3 autres sous-familles sont également représentées. On a récolté :

- des Ostracodes surtout en automne
- des Nématodes en grand nombre en hiver
- des oeufs de résistance de D.hyalina en abondance l'été, ce qui correspond à un nombre de femelles minimum à cette saison dans la masse d'eau (fig.31 p. 80).

Stations		SAVINES	BARRAGE	UBAYE
Saisons				
Printemps 1978	C	1311	712	623
	O	311	6319	1201
Eté 1978	C	934	1068	12994
	O	1246	801	0
Automne 1978	C	5073	1157	2180
	O	2269	1150	712
Hiver 78/79	C	6675	133	667
	O	7431	2002	267
Printemps 1979	C	0 *	133	0 *
	O	0	2892	0
Densité Nbre d'individ/m2	C	2803	640	3292
	O	2251	2934	436
%	C	55 %	18 %	88 %
	O	45 %	82 %	12 %
densité totale invid./m2		5054	3574	3728

Fig.38 : Effectifs de larves de Chironomes et d'Oligochètes récoltés dans la vase dans les 3 stations :

Savines, Barrage et Ubaye, du printemps 78 au printemps 79

(C : larve de Chironomes; O:Oligochètes par m2)

\* Prélèvements faits dans des zones qui ont subi un long marnage hivernal et qui, venant juste d'être remis en eau, ne sont pas encore recolonisées.

Printemps 1978

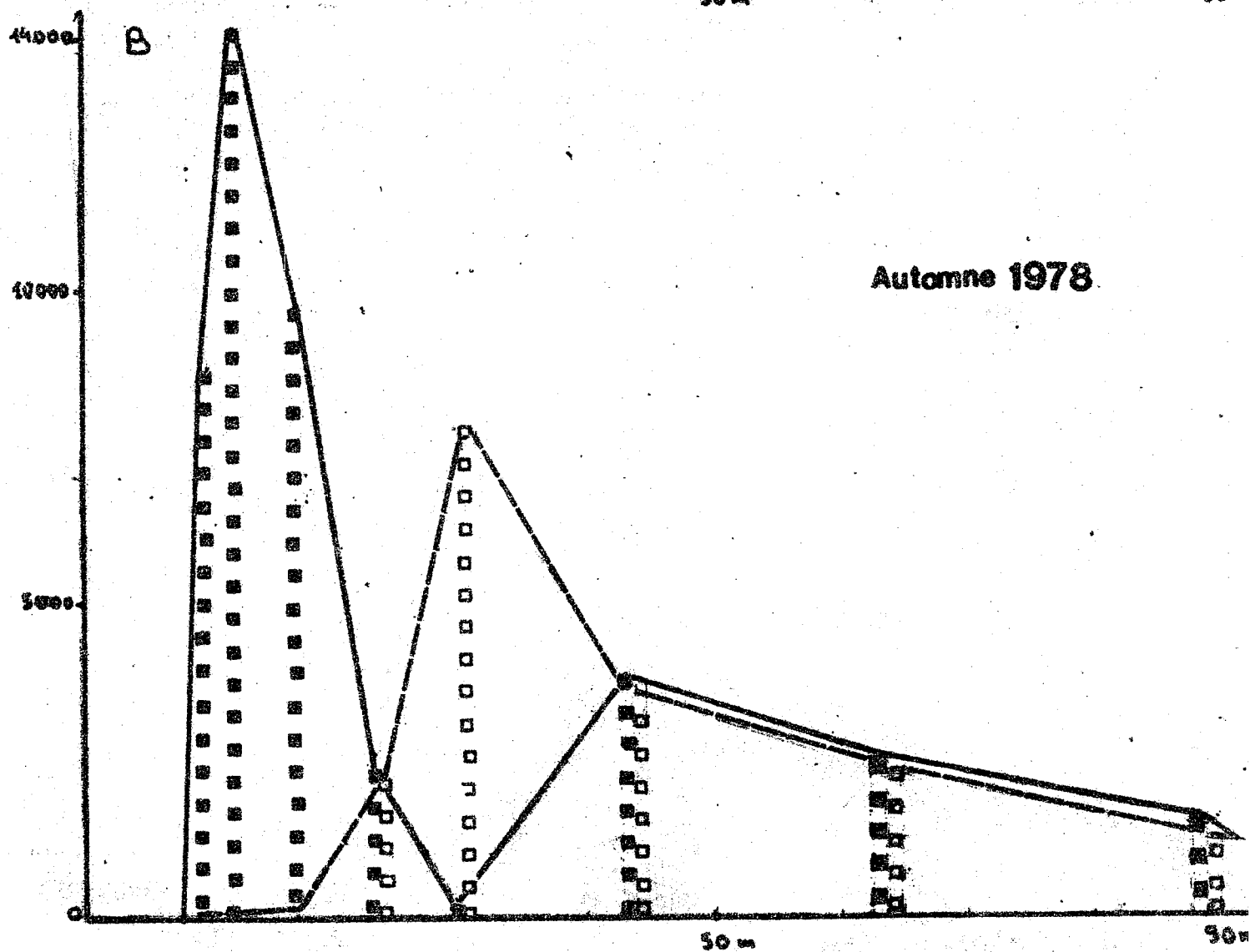
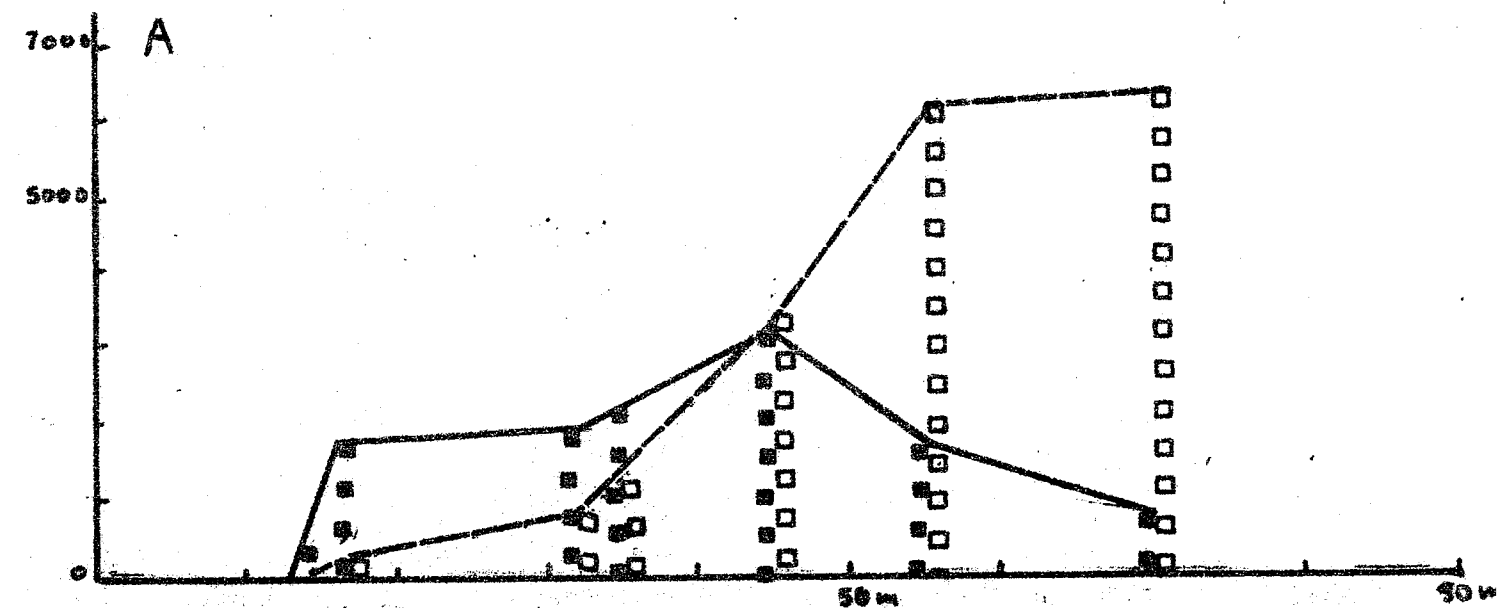


Fig.39 - Répartition des Chironomes (—) et des Oligochètes (---)  
en fonction de la profondeur  
A situation "normale"  
B situation exceptionnelle

- des Copépodites IV de C.vicinus vicinus en toute saison mais en quantité plus importante en octobre

Sur les bords dans les rares herbiers d'algues on récolte des Oligochètes (Stylaria lacustris 60 i/l ) des larves de Tanytarsini (20 i/l) des Hydracariens et enfin, en été, de nombreux alevins de Cyprinidés.

### Barrage

La grande profondeur est un facteur limitant pour les Chironomides représentés seulement par 2 sous-familles (Tanypodinae et Orthocladinae) et un effectif réduit. Ils sont plus nombreux en été et en automne.

Au contraire les Oligochètes abondent malgré la profondeur (maximum: 28.000 i/m<sup>2</sup>) avec un pic d'abondance aux printemps 78 et 79.

Les Nématodes sont peu nombreux dans la vase où l'on récolte des oeufs de résistance de Cladocères et des Copépodites IV de Cyclopidés toute l'année.

### Ubaye

Les résultats obtenus dans cette station sont encore différents de ceux obtenus à Savines et au Barrage. Les larves de Chironomides y sont beaucoup plus nombreuses, en particulier l'été (essentiellement des Tanypodinae et des Prodiamesinae). Pour les Oligochètes on note deux pics d'abondance : l'un au printemps, l'autre en automne.

- En définitive l'étude d'un seul cycle annuel ne permet pas d'établir l'existence ou non de variations saisonnières pour le benthos, puisque les situations sont différentes d'une station à l'autre.

## 4.7. Survie de la faune au marnage

### 4.7.1. Conditions d'assèchement

Au début du retrait des eaux en novembre 1978, on a trouvé 480 individus par litre (dont 380 Chironomes) à 20 cm de la rive (fig.41 p98)

Ainsi une certaine quantité de Chironomes et d'Oligochètes très

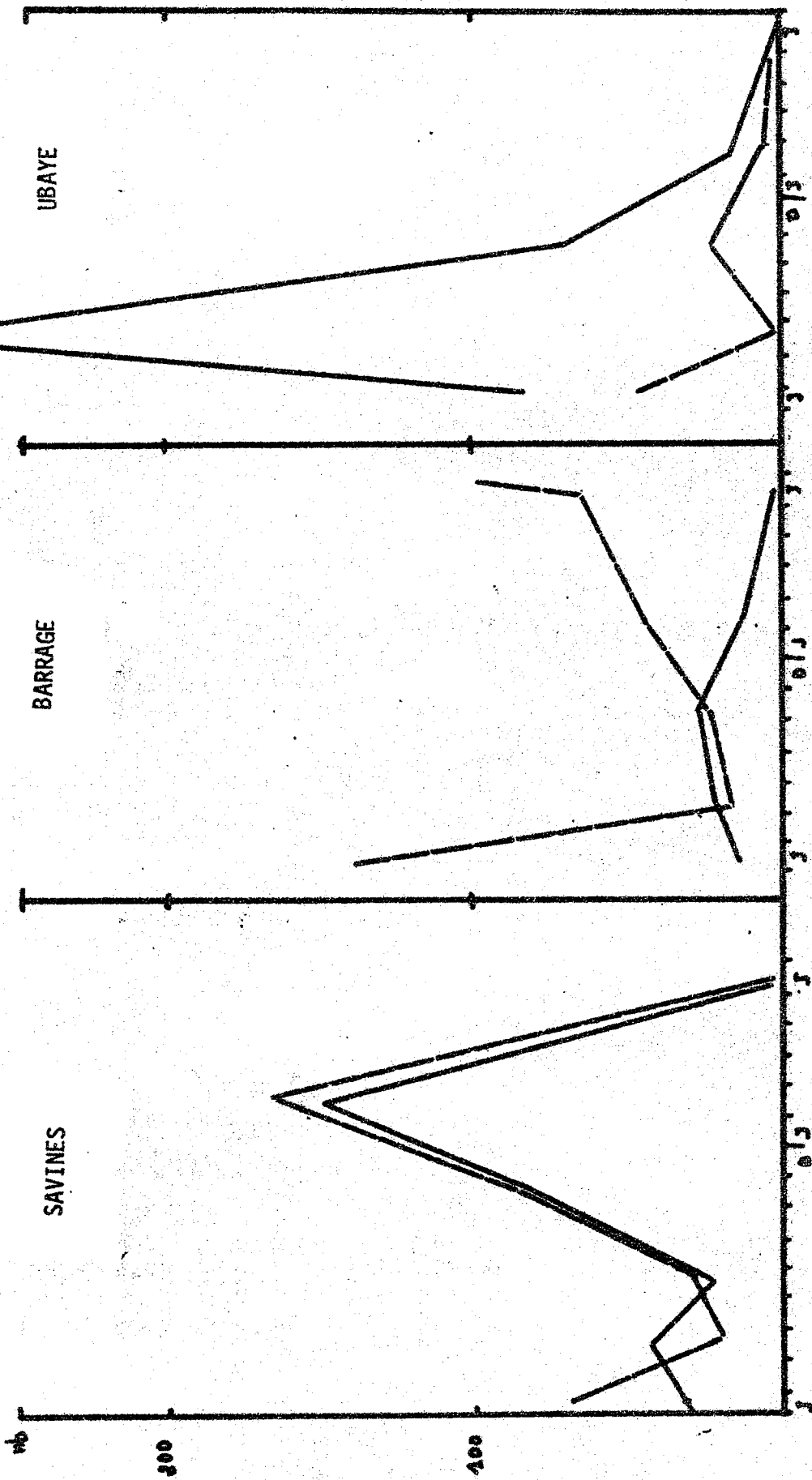


Fig.40 - Evolution saisonnière du nombre d'Oligochètes (-----) et de larves de Chironomides (-----) dans un mètre carré de vase, dans les stations Savines, Barrage et Ubaye de juin 1978 à juin 1979.

mobiles peuvent suivre un retrait progressif et lent de l'eau.

- Après deux mois d'assèchement, en janvier, la boue présentait des fentes de retrait et renfermait de gros Oligochètes sur une dizaine de centimètres d'épaisseur. Les larves de Chironomes se trouvaient également bloquées dans les premiers centimètres.

- Après 4 et 5 mois d'assèchement, en février et mars, on a récolté des Chironomes enfouis dans la vase, pour une humidité supérieure à 30% du poids sec et une température hivernale.

Les individus capturés ont donné, après 15 jours d'élevage, des imagos en parfaite condition.

- Après 6 mois de marnage, des prélèvements effectués en mai, sur le pourtour du lac, dans les zones de sable et de vase, n'ont montré aucun invertébré vivant, si ce n'est quelques nématodes. Les capsules céphaliques de Chironomes trouvées dans ces prélèvements pouvaient provenir d'individus morts à cause de la température élevée et de l'assèchement (teneur en eau inférieure à 20% du poids sec - fig. 38 p.93 ).

Lors du retrait des eaux, la faune benthique qui reste prisonnière du sédiment, subit donc des conditions d'assèchement qui sélectionnent les espèces adaptées à cette évolution du milieu.

#### 4.7.2. Mode de survie des larves de Chironomes

Pour les Chironomides ces espèces appartiennent à la sous-famille des Chironominae avec Chironomus thummi, C.commutatus, Polypedulum nebeculosum, Tanytarsus bathophilus et Cladotanytarsus mancus.

Seul le dernier stade larvaire, dont le développement est bloqué, supporte l'émersion. Les larves de Chironomides sont immédiatement réactivées lors d'une submersion expérimentale, à n'importe quel moment du marnage; leur survie semble donc correspondre à une quiescence. Les larves enfouies ne sont pas protégées par une sécrétion tégumentaire.

Nombre d'individus  
par litre

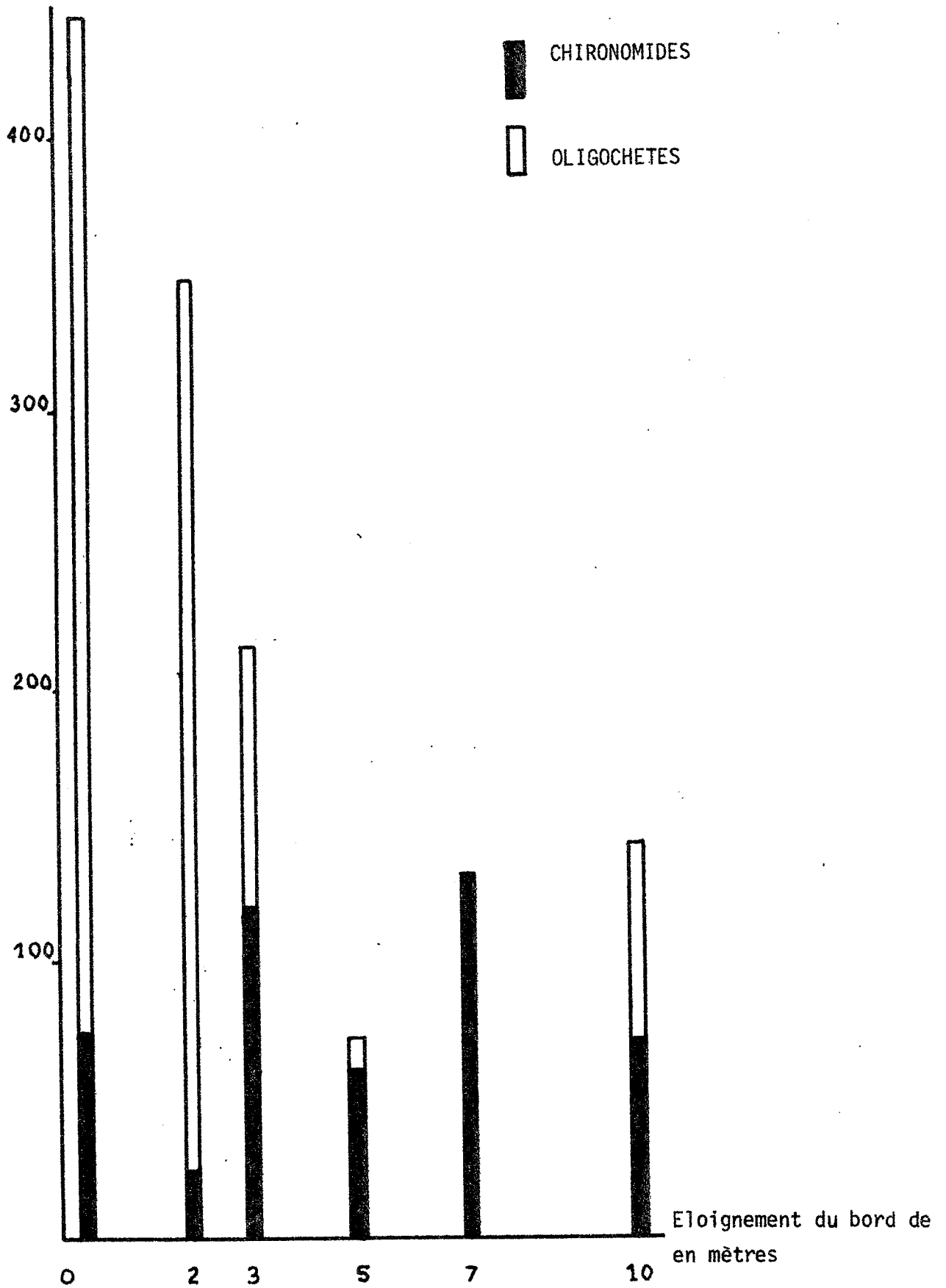


Fig. 41 - Densité du peuplement benthique dans les zones exondées en fonction de l'éloignement de l'eau.

Ces possibilités de résistance à l'assèchement présentent, du fait de leur durée, un caractère adaptatif qui permet aux larves de survivre à toute la période d'assèchement et de poursuivre leur cycle biologique dès la remontée du niveau, au printemps. La survie est possible dans ce cas où la période de marnage se situe en hiver : l'humidité relative du sédiment est toujours égale à 100% et la température ne dépasse pas 10°C. Par contre, les larves sont tuées lorsque la prolongation de l'exondation entraîne une dessiccation poussée de la vase, comme en mai 1978. Ces constatations laissent penser que les conséquences d'un marnage estival seraient beaucoup plus néfastes aux larves de Chironomides.

#### 4.7.3. Mode de survie des Oligochètes

Lorsque la baisse du niveau des eaux intervient, en automne les Oligochètes habitant les zones de marnage se trouvent donc soumis à des conditions d'humidité et de température défavorables. On sait par ailleurs que certains Oligochètes aquatiques sont capables de s'enkyster sous une enveloppe de mucus durci secrété par les téguments. Il existe des kystes d'été dans lesquels les vers du genre Lamprodilus peuvent se multiplier asexuellement et supporter une dessiccation de plusieurs mois. Au début des froids, pour des températures comprises entre 6 et 15°, il y a formation de kystes d'hiver pour les vers du genre Aelosoma. Ces kystes ne résistent pas à l'assèchement. Ils libèrent leurs hôtes lorsque l'eau redevient tiède (18-20°). La double aptitude à former des kystes d'été et des kystes d'hiver ne se rencontre pas chez les mêmes espèces.

Nous avons étudié, de ce point de vue, le cas de Lumbriculus variegatus, espèce très fréquente à Serre-Ponçon et dont le comportement vis à vis des facteurs abiotiques défavorables restait encore controversé. Les réactions à l'assèchement du milieu ont été suivies en soumettant les vers à des dessiccations brutales ou ménagées, combinées à des températures de 9 ou 18°.

1) Pour les 2 températures considérées, les vers demeurent actifs pendant toute la durée de l'expérience (2 mois), les sédiments contenus dans les cristallisoirs et l'eau qui les recouvre étant régulièrement renouvelés.

2) Lorsque l'on cesse d'apporter l'eau à des sédiments initialement très humides mais non immergés, on provoque rapidement leur dessiccation. Les vers ainsi élevés à 9 ou 18° se trouvent promptement placés dans des milieux ne contenant plus une quantité d'eau suffisante pour permettre une vie active : étendus et immobiles ils se rassemblent dans les fissures de la boue. Il s'agit alors d'un simple état de quiescence par anhydrobiose, sous la dépendance immédiate de l'humidité de l'environnement, les vers pouvant être réactivés à tout moment, par arrosage. Cet état n'assure qu'une survie limitée des vers dans la mesure où sa réversibilité est incompatible avec un assèchement poussé de la vase.

3) Partant des conditions de milieu favorables à la vie active, on laisse l'eau s'évaporer lentement. Lorsque les sédiments ne sont plus recouverts, leur hydratation n'est entretenue que par des apports dont le volume et la fréquence diminuent progressivement. Ce processus, combiné à une fermeture graduelle des cristallisoirs, pour ralentir l'évaporation, réalise une dessiccation très régulière et ménagée du milieu. 5 à 6 semaines après l'émersion de la boue et bien que son humidité soit encore suffisante pour permettre les déplacements des Lumbriculus, ces derniers sont entrés en vie ralentie. Cet état, précédé par un ralentissement de l'agilité des vers, est défini par l'immobilité et le jeûne à l'intérieur d'une enveloppe muqueuse groupant 3 ou 4 individus dans une attitude enroulée caractéristique. Il peut s'accompagner d'une multiplication asexuée par fragmentation des Oligochètes (architomie), chaque schizozoïte régénérant alors en direction antérieure et postérieure. Une fois bien établi, le déroulement normal du processus n'exige pas le maintien de l'humidité à un taux minimal et la réactivation intervient plus lentement que dans le cas de la quiescence (48 h au moins après la remise en eau). Par leurs capacités de résistance à l'assèchement du milieu, les kystes de L. variegatus constituent une réponse adaptative de l'espèce aux variations de ce facteur de l'environnement. Toutefois, le déterminisme du phénomène semble fonction de la température : il n'a pu être obtenu à 9° où il est remplacé par une quiescence.

L'humidité semble exercer sur l'établissement et la rupture des kystes une influence directe comme dans le cas d'une quiescence. Il faut remarquer cependant que, pour être efficace, la dessiccation doit être réalisée de façon progressive. Par ce fait et par ses analogies avec la vie ralentie des Lombricides (comportement en "pelote", corrélation avec la morphogénèse régénératrice), l'enkystement de L. variegatus peut

être rapproché d'une diapause.

Les résultats obtenus permettent de préciser certaines conséquences entraînées par une baisse importante du niveau des eaux de Serre-Ponçon. Dans le cas d'un marnage hivernal où la boue reste humide et froide ( $HR > 30\%$ ;  $T^\circ < 10^\circ$ ) les vers restent généralement actifs. Ils peuvent cependant résister à un dessèchement en s'enfonçant dans la vase, puis en entrant en quiescence dans les fentes de retrait. Lorsque le marnage se prolonge jusqu'au début du printemps, les conditions nécessaires à l'enkystement (assèchement progressif et poussé, élévation de la température) se trouvent réunies : dans cet état, la survie des vers est assurée jusqu'à la remontée des eaux. Les rapports existant entre le stade de résistance des Lumbriculus et leur reproduction asexuée laissent penser que la vie latente consécutive au marnage s'accompagne d'une multiplication de ces Oligochètes.

## 5. PEUPEMENT PISCICOLE

Nous avons réalisé les pêches dans la branche Durance, à l'aide de filets maillants, en juin et septembre 1978. La fig. 42 p.104 indique l'emplacement des filets et leurs caractéristiques.

Les données récoltées concernent l'inventaire des espèces, la répartition et la structure du peuplement, la croissance de certaines espèces.

### 5.1. Inventaire :

Nous avons capturé les sept espèces suivantes :

- *Rutilus rutilus* (gardon)
- *Chondrostoma toxostoma* (toxostome)
- *Leuciscus cephalus* (chevaine)
- *Gobio gobio* (goujon)
- *Tinca tinca* (tanche)
- *Salmo trutta fario* (truite)
- *Perca fluviatilis* (perche)
- *Esox lucius* (brochet)

Gardons, tanches, perches et brochets sont des espèces introduites.

### 5.2. Répartition spatiale :

Elle est tout à fait hétérogène. L'Ichtyofaune, quasiment absente de certaines zones, est particulièrement abondante dans d'autres. Les secteurs les plus fréquentés sont situés aux arrivées des cours d'eau qui alimentent la retenue, la densité du peuplement diminuant au fur et à mesure qu'on s'en éloigne et que la profondeur augmente. Les filets posés en pleine eau ou sur la rive gauche du lac ont un rendement presque nul.

Une telle répartition doit trouver son origine dans la recherche de la nourriture et de certaines conditions de milieu : courant, température, oxygène par exemple.

### 5.3. Structure du peuplement :

La fig.43 p.105 montre un peuplement très déséquilibré dominé par les gardons qui représentent 65% des captures en nombre et 61% en biomasse. L'indice de diversité de Shanon et l'équitabilité sont très faibles

$$Ish = 1.40$$

$$Equit = 0,15$$

### 5.4. Croissance :

5.4.1. *Rutilus rutilus* : Sur un échantillon de 62 gardons prélevés au hasard nous avons obtenu les résultats suivants : taille moyenne = 20,3 cm, poids moyen = 172 g . Un tiers des individus dépassaient 21 cm, et la taille maximum mesurée a été de 29 cm pour un poids de 490 g . Ces résultats montrent que la population est non seulement abondante dans Serre-Ponçon, mais que la croissance est supérieure à ce qu'on observe communément : 15 à 20 cm selon SPILLMANN ( 13 ), qui cite la taille de 30 cm comme exceptionnelle.

5.4.2. *Perca fluviatilis* : 98% des perches capturées étaient d'une taille inférieure à 19 cm pour un poids n'excédant pas 110 g . Cinq d'entre elles mesuraient cependant de 31 à 41 cm et pesaient de 500 à 1270 g . Il semble bien que, dans la retenue de Serre-Ponçon, cette espèce carnassière ne dispose pas de nourriture en quantité suffisante pour qu'une proportion plus importante de la population atteigne la taille normale de l'espèce.

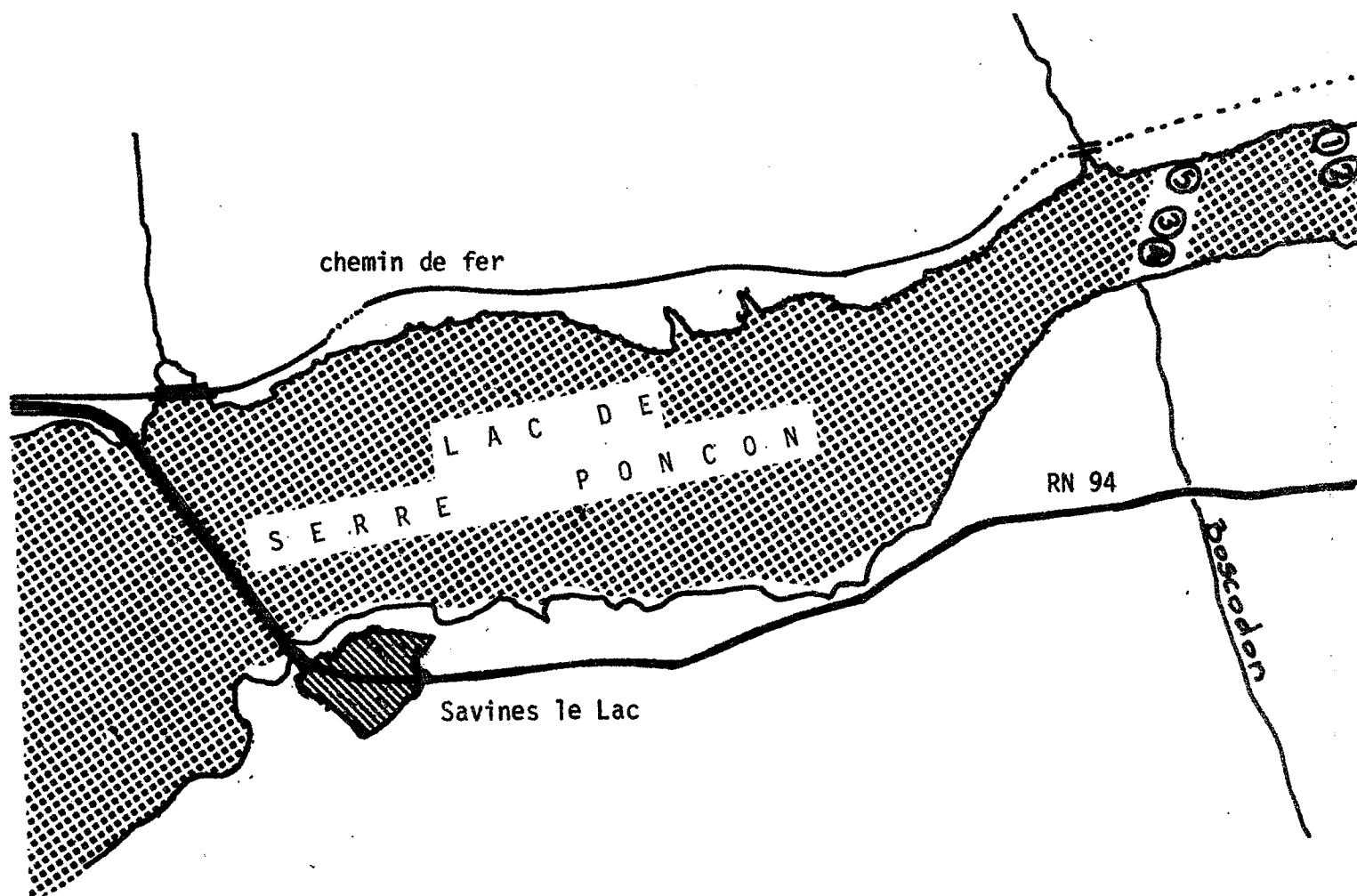
5.4.3. *Salmo trutta fario* : l'examen des 21 truites capturées a permis d'établir la structure de l'échantillon (fig.44 p.106 ) et une courbe de croissance par la technique du rétrocalcul (fig.45 p.107) . Nous pouvons faire plusieurs remarques à propos de ces résultats:

. La proportion des truites de petite taille (< 21 cm) appartenant aux classes 1<sup>+</sup> et 2<sup>+</sup> est très faible (moins de 10%). On peut exclure l'influence des filets qui ont capturé de nombreux individus de cette taille dans les autres espèces. Cette situation pourrait par contre s'expliquer par les échanges entre le lac et la Durance : les sujets

jeunes séjournent en rivière jusqu'à une certaine taille au delà de laquelle ils gagneraient le lac. Des pêches électriques en Durance, en novembre 1978 et en mars 1979, à la hauteur du Pont d'Embrun (1,5 km du lac) ont montré la présence à cet endroit de nombreuses truites de taille inférieure à 20 cm. (p.22)

. la croissance individuelle, comparée à celle de diverses populations de truites en France (Cuinat 1971, p.110) paraît assez lente.

. la relation poids-longueur et le coefficient de condition ( $K = \frac{100P}{L^3}$ ) sont très voisins de ceux que nous avons calculé sur les individus capturés dans les retenues du Verdon ( 14 ).



1 + 2	Filets de fond	(200 x 1,5	mailles de 27 mm)
3	Filet flottant	(100 x 15	.....)
4	Filet flottant	(100 x 15	mailles de 50 mm)
5	Filet tramail	(100 x 1,5	.....)

Fig. 42 - Emplacements et caractéristiques des filets utilisés le 20 Septembre 1978 à Serre Ponçon

	Nombre	Fréquence	Biomasse (kg)	% de la biomasse
<i>Rutilus rutilus</i> (gardon)	949	0.65	148	61
<i>Perca fluviatilis</i> (perche)	265	0.18	26,5	11
<i>Chondrostoma toxostoma</i> (toxostome)	220	0.15	38,3	16
<i>Salmo trutta fario</i> (truite)	17	0.012	16,7	7
<i>Ienciscus cephalus</i> (chevaine)	11	0.007	9,95	4
<i>Tinca tinca</i> (tanche)	1	0.000	1,45	0,6
<i>Esox lucius</i> (brochet)	1	0.000	0,83	0,4
	1464	1	241.73	100

Indice de Shannon  $I_{sh} = 1.40$   
équitabilité = 0.15

Fig. 43 - Résultat de la pêche au filet du 20.09.78. Lac de Serre-Ponçon  
Branche Durance. (Amont du Pont de Savines) Face au torrent de  
Boscodon..

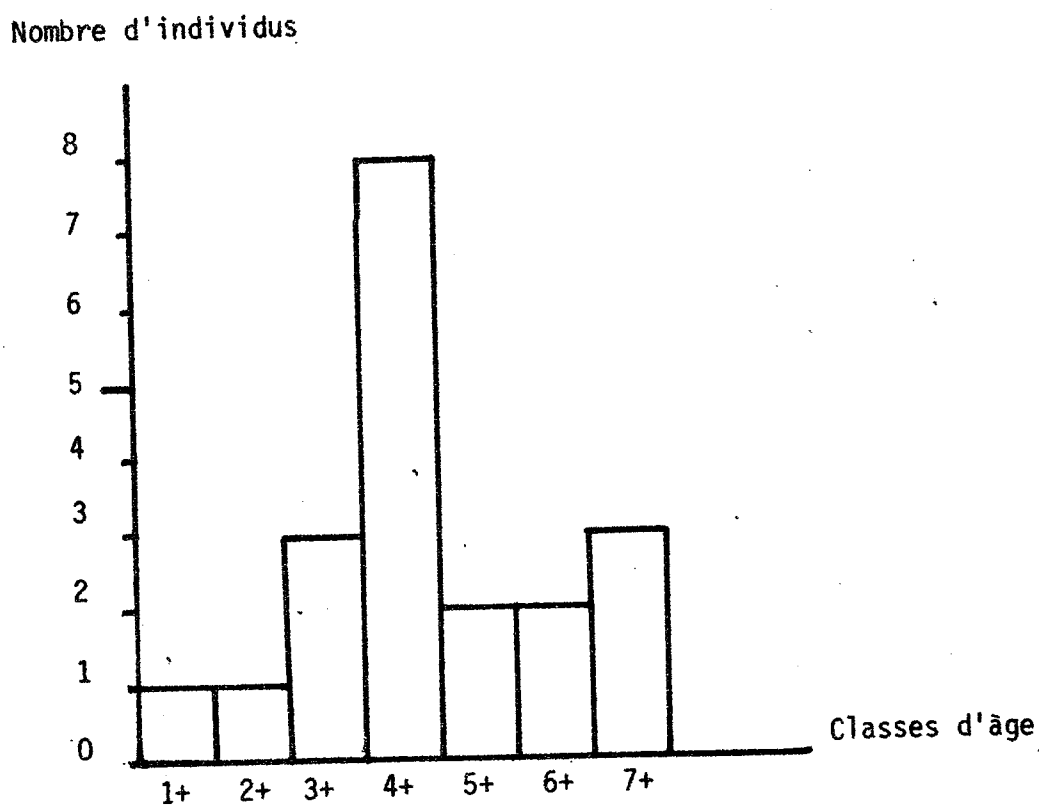


Fig.44 - Structure de l'échantillon de truites récoltées dans le lac de Serre-Ponçon.

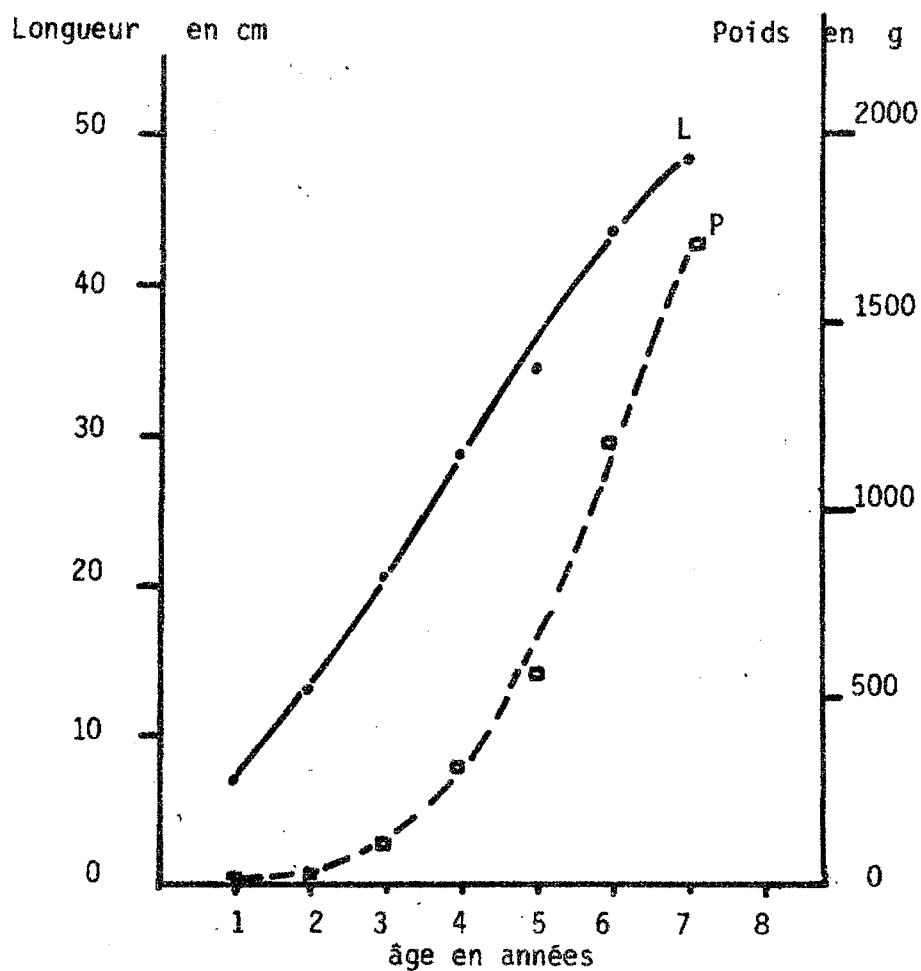


Fig.45 - Croissances linéaire et pondérale rétrocalculées chez la truite dans la retenue de Serre-Ponçon. La relation Poids Longueur est donnée par

$$P = 0.00717 L^{3.187}$$

Coefficient de condition  $K = 1.38$

## 6. ANNEXES DU LAC

### 6.1. Le plan d'eau

Il est situé en aval d'Embrun, en queue de retenue dont il est isolé par une digue. Son alimentation se fait à partir de la Durance, puis, l'eau est évacuée dans le lac par un déversoir. Peu profond (6-7m), d'une superficie d'une cinquantaine d'hectares, il est très fréquenté en été par les baigneurs et les pêcheurs du camping municipal d'Embrun.

#### 6.1.1. Domaine pélagique

En juin 1978, l'eau s'est réchauffée plus vite que dans le lac (19,8° en surface au lieu de 14°). Ici, la faible influence de la crue printanière de la Durance et la faible profondeur expliquent ce réchauffement précoce. Cependant la transparence est faible. Dans l'ensemble la qualité physico-chimique de l'eau est comparable à celle mesurée dans le lac (bonne oxygénation, faible teneur en  $Cl^-$ , dureté élevée, teneur en  $NO_3$  voisine de 1 mg/l, concentration en  $P.PO_4$  à 0,45 mg/l).

La température élevée a permis la poussée printanière des bactéries. Le nombre de germes hétérotrophes est élevé, mais la vitesse de multiplication réduite, les bactéries ayant une croissance déjà ralentie.

Du point de vue phytoplanctonique, la biomasse et le nombre de cellules sont faibles. On est au maximum annuel, vraisemblablement parce que la poussée printanière décline, alors qu'elle est à son maximum à Savines. La composition du phytoplancton est caractérisée par la dominance de Nitzschia aciculatis et Chromulina sp., au lieu d'Asterionella et Fragilaria dans le lac.

La composition et les effectifs du zooplancton sont tout à fait différents de ceux du lac. L'espèce dominante dans le lac, le Cladocère

Daphnia hyalina est absent du plan d'eau où il est remplacé par deux autres espèces plus petites et moins pélagiques Daphnia cucullata variété apica (Kurtz) (2285 ind/m<sup>3</sup>) et Bosmina longirostris variété similis (7542 ind/m<sup>3</sup>) caractéristiques des étangs et petits lacs.

Les Cladocères ne dominent plus le peuplement et sont remplacés dans ce rôle par le Copépode Cyclope. Cyclops vicinus vicinus (5030 ind/m<sup>3</sup>) dont l'essor dans le lac est beaucoup plus modeste. Le Calanide Acanthodiaptomus denticornis est ici absent. Par contre le développement des Rotifères est, comme celui du phytoplancton, plus précoce que dans le lac (Asplanchna sp. 1295 ind/m<sup>3</sup> et Kellicotia longispina dont la taille et la biomasse sont très petites ( $5 \times 10^8$  ind).

En été, pour l'essentiel on note une composition chimique de l'eau comparable à celle du lac : pH tamponné, sursaturation en oxygène dissous, augmentation très notable du  $Cl^-$ , teneur en  $P.PO_4$  inférieure au seuil de détection. Cependant, contrairement à ce qui se passe dans le lac, la teneur en bicarbonate, la densité calcique et la dureté totale augmentent de façon importante et la concentration en  $N.NO_3$  est encore élevée (0,90 mg/l).

Le nombre de bactéries et leur vitesse de multiplication sont réduits, surtout en surface. L'activité bactérienne beaucoup plus faible qu'à Savines, malgré un nombre de germes plus élevé est l'indice d'une eutrophisation forte. L'activité phytoplanctonique est maximum (nombre de cellules et biomasse) et les espèces caractéristiques sont :

Diatomées : *Cyclotella comta* (sub dominante), *Nitzschia acicularis*

Dinophycées : *Gymnodinium* sp, *Ceratium hirundinella*

Cryptophycées : *Rhodomonas*

Crysophycées : *Chromulina* sp ( dominante), *Kephyrion*, *Dinobryon stipitatum*

Chlorophycées : *Carteria klebsii*, *Scenedesmus abundans*

Champignons : spores.

L'apparition des spores de champignons, la disparition de Fragilaria et la large dominance des Rotifères confirment l'état avancé d'eutrophisation du plan d'eau en été. A cette période, des Chlorophycées

filamenteuses du genre Spirogyra prolifèrent et s'accumulent près des berges. Les autorités municipales procèdent à l'enlèvement de cet excès d'algues qui incite peu les nombreux vacanciers à la baignade. Par contre, des contrôles sanitaires ont montré l'absence de pollution bactérienne. Il est très probable que la production primaire excessive résulte des charges quotidiennes de  $P.PO_4$  en provenance du terrain de camping (rejets humains, tripolyphosphates de sodium des détergents). On ne retrouve pas ces apports dans les analyses. En effet, ils ne sont pas cumulés, mais assimilés par les algues très rapidement au fur et à mesure de leur déversement dans le plan d'eau.

A l'automne, comme dans le lac, la teneur en oxygène dissous a baissé. Le déclin des Spirogyra fait que tout le  $P.PO_4$  n'est plus consommé.

Le nombre et l'activité de la microflore a diminué tandis que le phytoplancton est toujours très abondant. La population phytoplanctonique est caractérisée par les espèces suivantes :

- Diatomées : *Cyclotella comta* (dominante), *Nitzschia acicularis* (sub dominante)  
*Diatoma elongata*
- Chrysophycées : *Kephyrion ovale*, *K. spirale*, *K. cylindricum*
- Chlorophycées : *Scenedesmus abondans*

Cette population diffère encore de celle de Savines par l'absence d'Asterionella et Fragilaria.

En hiver, le plan d'eau est souvent gelé, au moins en partie. Contrairement à la retenue, il n'est pas soumis au marnage et son niveau reste constant. La masse d'eau retrouve un état oligotrophe, comme le lac. La température est plus froide, les teneurs en nutriments relativement faibles.

Le peuplement bactérien est à son maximum alors qu'il est très pauvre dans le lac, mais le phytoplancton a fortement diminué depuis l'automne. Sa composition est la même qu'en novembre tandis que le lac s'est enrichi en Chrysophycées. En l'absence des Rotifères, le zooplancton est pauvre.

En juin 79, le prélèvement a été fait en début de crue et le peuplement bactérien, s'il est moins abondant qu'en 78 est, par contre, resté aussi actif qu'en février. Au contraire, dans le lac, le peuplement

bactérien n'a pas encore commencé sa poussée.

Du fait des températures élevées et des réserves de  $N.NO_3$  et  $P.PO_4$  disponibles le phytoplancton est en plein "bloom" printanier, les espèces caractéristiques sont :

Diatomées : *Cyclotella comta* (dominante), *Fragilaria crotonensis*, *Nitzschia acicularis*, *N. sigmoïdes*, *Navicula* sp.

Dinophycées : *Peridinium tabulatum*, *P. inconspicuum*, *P. bipes*, *P. palatium*,  
*Ceratium hirundinella*

Cryptophycées : *Rhodomonas* sp.

Chrysophycées : *Dinobryon sertularia*, *Kephyrion ovale*,

Chlorophycées : *Scenedesmus abundans*

Le lac à la station de Savines présente également une population dominée par *Cyclotella comta* et *Nitzschia acicularis*.

Pour ce qui concerne les Cladocères *Daphnia cuculata*, *Bosmina longirostris* et le Rotifère *Asplanchna* sp., leurs effectifs sont comparables à ceux de juin 78. Par contre la population du Copépode *Cyclops vicinus vicinus* est faible et le Rotifère *Kellicottia longispina*, qui pullulait, est encore absent.

### Conclusion

La période hivernale est caractérisée par une activité bactérienne faible en novembre et maximum en février. Le nombre de germes est du même ordre de grandeur qu'à Savines, mais l'activité est plus faible.

Le phytoplancton comporte un nombre de cellules et une biomasse encore élevés, en novembre (prolongement de la biomasse estivale), et un minimum en février. Le zooplancton est moins abondant que dans le lac.

La période estivale est caractérisée par une activité bactérienne réduite par rapport au lac, ce qui est un signe d'eutrophisation, comme l'est la biomasse importante du phytoplancton deux fois plus élevée qu'à Savines. La composition spécifique est différente : les espèces

dominantes du lac, Asterionella formosa et Fragilaria crotonensis disparaissent et l'on voit Chromulina sp., Cyclotella comta, Nitzschia acicularis proliférer et les algues filamenteuses envahir le plan d'eau.

Les deux espèces pélagiques qui dominent le zooplancton de la retenue (Daphnia hyalina et Acanthodiaptomus denticornis), sensibles à l'eutrophisation, ont disparu du plan d'eau où pullule le Rotifère Kellicotia longispina.

On observe, enfin, un décalage de la période printanière, plus précoce du fait d'une inertie thermique faible.

#### 6.1.2. Domaine benthique (fig. 48 p.118)

Les espèces de Chironomides récoltées au plan d'eau appartiennent aux genres Chironomus, Tanytarsus, Procladius et Ablabesmya avec dominance des espèces :

Chironomus plumosus

Chironomus commutatus

Chironomus thummi

La densité des larves de Chironomides varie, d'un prélèvement à l'autre, de 10000 à 20000 ind/m<sup>2</sup>.

Les Oligochètes, encore plus nombreux (jusqu'à 30000 ind/m<sup>2</sup>) sont représentés par 4 espèces :

Lumbriculus immatures (dominant)

Lumbriculus offmeisteri

Lumbriculus variegatus

Ophidonais serpentina

L'eutrophisation du plan d'eau, mise en évidence lors de l'étude du domaine pélagique, se trouve donc confirmée par la densité de la faune benthique nettement plus forte que dans le lac, mais aussi, par la dominance d'espèces indicatrices de milieux eutrophes comme C.plumosus, C.commutatus et C.thummi.

## 6.2. Le Bassin de Compensation

### 6.2.1. Domaine pélagique

Les eaux de la retenue sont turbinées à partir d'une prise située au fond du barrage (115 m) et restituées dans un Bassin de Compensation de 150 ha, 9 mètres de profondeur et 6 millions de m<sup>3</sup> de capacité. Ce bassin permet à l'usine de fournir l'énergie de pointe sans que des déversements importants soient perdus pour les usines situées en aval. Il évite des éclusées qui provoqueraient, dans la Durance, des variations de débits extrêmement importantes et brutales.

En juin 1978 les eaux du Bassin de Compensation sont froides (9°) et turbides (Secchi : 0,75m), la teneur en oxygène dissous proche de la saturation. La population bactérienne est du même ordre de grandeur que dans le lac, mais la population phytoplanctonique est pauvre, ce qui peut expliquer la richesse relative en phosphate (0,48 mg/l, N/P 8,7 à 1,1).

Les espèces présentes sont celles qui caractérisent le lac : Asterionella formosa et Fragilaria crotonensis, mais en nombre très faible par rapport au lac.

La composition du zooplancton est la même que dans le lac et très différente de celle du plan d'eau. Mais la densité est extrêmement faible, avec une centaine d'individus par m<sup>3</sup> (Daphnia hyalina : 9, Acanthodiptomus denticornis : 9, Cyclops vicinus vicinus : 81 ).

En août, l'eau provenant du fond de la retenue est toujours froide (12°), la transparence faible (Secchi : 0,70 m), la teneur en oxygène dissous à saturation. Les concentrations en phosphate sont inférieures à la limite de détection comme dans l'ensemble du lac, le rapport N/P peu différent de celui mesuré au barrage à 100 m.

L'activité bactérienne est maximum, avec un nombre de germes plus élevé que dans le lac, ce qui pourrait résulter de l'absence d'antagonisme avec le phytoplancton, très pauvre. Les espèces planctoniques présentes

sont toutes des Diatomées : Fragilaria crotonensis, Synedra sp., Melosira sp.

Les algues vertes filamenteuses du genre Spirogyra (Zygnematacées), très abondantes, créent une véritable fleur d'eau qui explique la forte consommation du phosphore et de l'azote mais ne modifient pas le rapport N/P. Rappelons que dans le lac, à la même période, ce rapport dépasse 40. Ces algues, en colmatant les mailles des filets, ont perturbé la pêche (1 seul chevesne capturé).

Le zooplancton est plus abondant qu'en juin, mais cependant peu dense comparé à ceux du plan d'eau et du lac (110 ind/m<sup>3</sup> dont 200 D.hyalina, 155 A.denticornis, 744 C.vicinus vicinus). Comme dans le plan d'eau et pour la même raison (forte eutrophie), le Cycloptide domine le peuplement.

En novembre, les conditions physico-chimiques sont peu différentes de celles rencontrées en été. On peut noter cependant une légère remontée des teneurs en phosphates.

Les peuplements bactériens, phytoplanctoniques et zooplanctoniques sont pauvres par rapport au lac, bien que le maximum de la population se situe à cette période. Les espèces présentes sont encore des Diatomées : Fragilaria crotonensis, Cyclotella comta, Asterionella formosa.

En février et avril, il nous a été impossible de mettre un bateau à l'eau (les conditions d'accès au Bassin de Compensation sont toujours très difficiles).

En juin 1979, les rapports N/P étaient très différents de ceux de juin 1978, avec des teneurs élevées en N.NO<sub>3</sub>, très faibles en P.PO<sub>4</sub>. Le peuplement bactérien est du même ordre de grandeur que celui du lac mais plus important au niveau du fond qu'en juin 1978. Le phytoplancton et le zooplancton sont toujours aussi peu développés.

En conclusion, turbinée en bas de l'hypolimnion, l'eau du Bassin de Compensation est de l'eau de l'hypolimnion profond. Elle est toujours froide, souvent turbide (les particules fines du tripton passent par les turbines). Les teneurs en oxygène dissous, proches de la saturation, s'expliquent par la concentration élevée en O<sub>2</sub> au fond du lac et à la

reaération lors du turbinage. Malgré la température basse en été, la forte production primaire peut résulter de l'utilisation du  $P.PO_4$  accumulé en période de stratification au fond du lac et ramené dans la zone euphotique du Bassin de Compensation. La forte eutrophisation qui en découle n'est pas due au phytoplancton dont le développement est empêché par le courant, mais à l'explosion des Spirogyres, d'autant plus importante que le zooplancton est très pauvre, ce qui accentue le déséquilibre entre production et consommation.

#### 6.2.2. Domaine benthique (fig.48 p.118)

Comme pour le plan d'eau, l'eutrophie du domaine pélagique se traduit par une faune benthique plus abondante et dominée par les Oligochètes. C'est sans doute la raison pour laquelle les populations de larves de Chironomides sont constituées essentiellement d'espèces prédatrices du genre Procladius et Ablabesmya (95%) avec cependant 1 Chironomini (C.plumosus) qui affectionne les milieux eutrophes, soit une composition spécifique identique à celle des zones profondes du lac, près du barrage.

	juin 78	août 78	novembre 78	février 79	juin 79
Profondeur (m)	6	7,5	7	7	6
Transparence (m)	0,8	1,40	3,4	3,8	1,30
Température (degré c)	19,8	20	8,2	3,5	20
Oxygène dissous (% sat.)	16	15,7	8,2	4	15
Résistivité (µmhos/cm2)	95	110	80		
pH	75	85	78		
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	280	370	300	200	340
T.A.C. (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	270	380	295	220	345
Dureté calcique (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	7,9	7,5	8	7,9	7,9
Dureté totale ( " " )	7,9	7,4	8	7,8	7,7
Matières en suspension (mg/l)	3,5	11,5	8	8	5
Nitrates (mg/l)	4,5	12	8	8	6
Phosphates (mg/l)	130	195	165	115,9	140
Bactéries nombre par ml (x10 <sup>6</sup> )	110	201	165	122	140
Activité	130	180	120	120	145
Phytoplancton nombre de cel/l (x10 <sup>6</sup> )	130	185	160	120	160
Biomasse (mg/l)	180	245	230	165	195
	185	270	240	165	205
		48,4	30,9	39,8	51
		44,2	34,9	49,8	52
	0,9	0,04	0,85	0,78	0,51
	0,8	0,92	0,83	0,74	1,02
	0,45	0,01	0,075	0,035	0,05
	0,45	0,01	0,070	0,045	0,04
	3	0,7	1,2	3	2,6
	2,5	4,1	1,2	3	2,1
	1	1	1	2,5	2,5
	1	5	1	3	2,5
	0,5	3,25	4,45	0,25	1,4
	1	7,6	6,04	0,75	2,3
	0,25	0,8	1,1	0,1	1
	0,1	3,83	3	0,1	1,1

Fig.46 - Caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du plan d'eau d'Embrun de juin 1978 à juin 1979

(S : surface, F: fond)

	juin 78	août 78	novembre 78	juin 79
Profondeur (m)	9	9	9	9
Transparence (m)	0,75	0,70	3,50	-
Température (degré c)	9	12	11,2	10,5
Oxygène dissous (% sat.)	9	10,5	11,2	9,2
Résistivité (µmhos/cm2)	95	99	85	-
pH	89	96	80	-
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	255	7,8	290	300
T.A.C. (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	270	7,8	300	290
Dureté calcique (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	4	7,8		7,8
Dureté totale ( " " )	4	6,5		6
Matières en suspension (mg/l)	130	7,5		6
Nitrates (mg/l)	135	134		120
Phosphates (mg/l)	0,03	134		120
Bactéries nombre par ml (x10 <sup>5</sup> )	0,03	120		150
Phytoplancton nombre de cel/l (x10 <sup>6</sup> )	0,48	130		150
	0,35	180		205
	1,3	185		195
	1,2	31,6		39
	0,1	33,7		47
	0	0,57		1,2
	0	0,68		1,76
	0	0,01		0,03
	0	0,01		0,03
	0	2,4		1,2
	0	1,1		4,10
	0	0		0
	0	0		0

Fig.47 - Caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du Bassin de Compensation de la retenue de Serre-Ponçon de juin 1978 à juin 1979

(S : surface, F : fond).

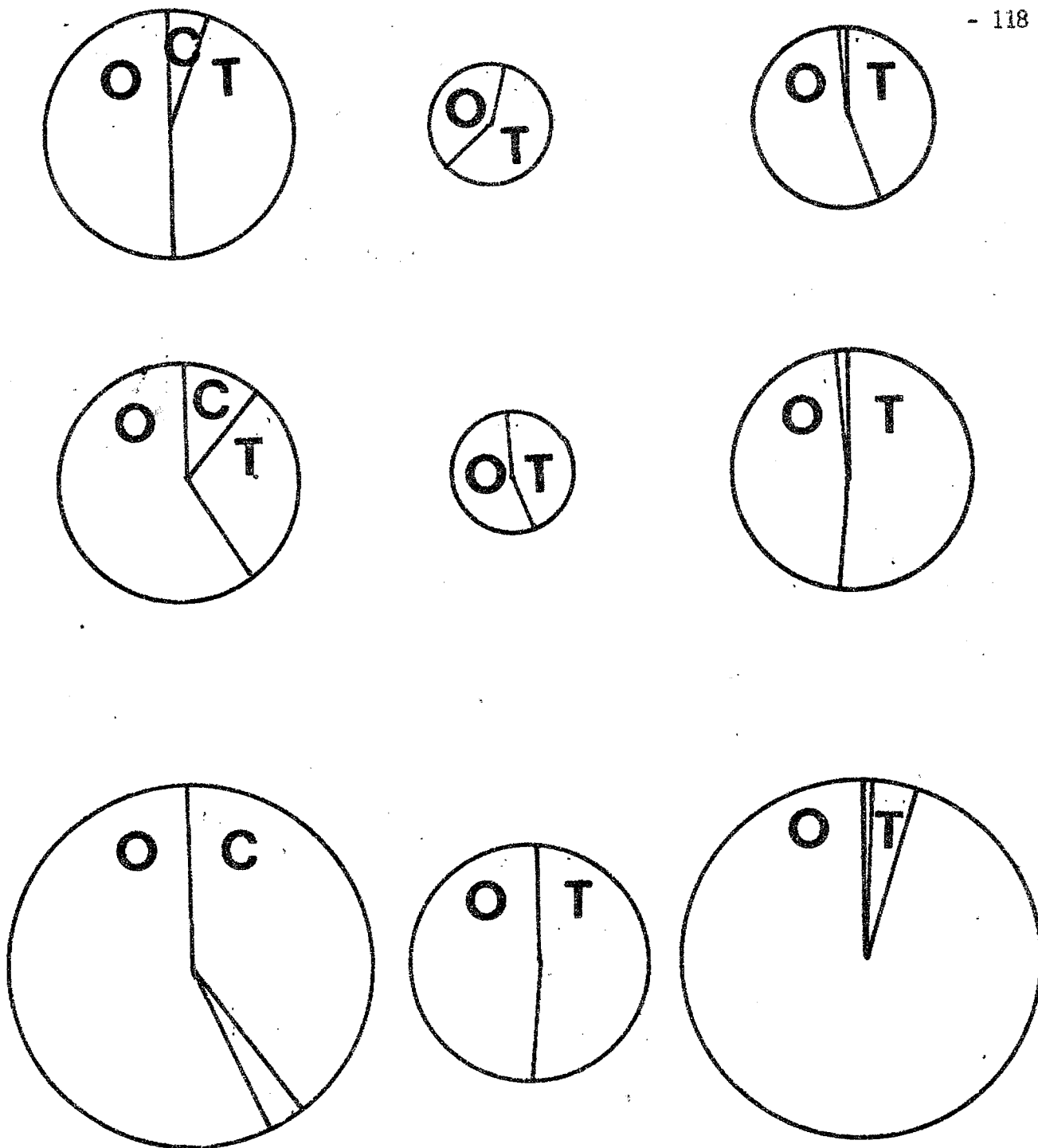
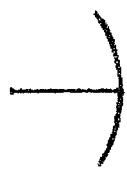


Fig.48 - Répartition des Oligochètes (o) et des larves de Chironomides (C : Chironominae; T : Tanypodinae) au plan d'eau (à gauche), dans le lac, à Savines (au centre), au Bassin de Compensation (à droite), en juin 1978 (en haut), en août 1978 (au milieu), en novembre 1978 (en bas).



10.000 ind/m<sup>2</sup>

## 7. LA DURANCE EN AVAL DU BARRAGE (fig.49 et 50 p.122 et 123)

La station d'Espinasse est située au pied du Barrage, après le Bassin de Compensation, à 20 km en aval de celle d'Embrun sur la Durance, à 10 km de celle de Roche-Rousse sur l'Ubaye.

Depuis la mise en service du Barrage, cette station a tout d'abord été soumise à un débit de  $3\text{m}^3/\text{s}$  (de 1962 à 1975 - sauf en période d'étiage hivernal).

Les observations de Mr FLEKINGER (15) démontrent que la situation à Espinasse se rapprochait de celle que nous avons constatée en 1978 et 79 aux stations d'Embrun et de Roche-Rousse :

- excellente qualité des eaux,
- couverture végétale limitée,
- faune riche en invertébrés,
- présence d'une population abondante et équilibrée de truites fario fréquentant les frayères.

Depuis 1975, le débit réservé a été appliqué. En dehors de lâchers importants qui ont remis le cours d'eau à vif, comme ceux effectués du 22 mai au 14 juillet 1977, la Durance a donc été soumise à un débit de  $1,5\text{ m}^3/\text{s}$ . A partir de l'été 1977, l'état de la rivière s'est gravement détérioré pour aboutir à la forte eutrophisation que nous avons constatée pendant les étés 1978 et 1979.

En août 1978, les indices biotiques ( 6 en lotique 1 en lentique) sont très différents de ceux rencontrés à la même date à Embrun et Roche Rouse (respect. Ic:10 et 9; I1:6 et 8 ). Ils caractérisent une pollution importante. Ainsi, on remarque, à Espinasse, au mois d'août 1978 :

- l'importance de la couverture algale (80%) constituée en eau courante d'algues rouges allongées (Lemanea) et d'algues vertes filamenteuses (Cladophora).

- l'abondance des matières organiques en suspension accompagnées de nombreux détritus (papiers etc..) qui s'accumulent dans les zones calmes où prolifèrent les Spirogyra. En lentique, le fond apparaît entièrement recouvert d'une couche brun-jaune de fragments d'algues et de diatomées. Dans ces eaux, la concentration en phosphates ( $100 \mu\text{g/l}$ ) atteint 5 fois celle relevée à "Embrun-Pont" ( $20 \mu\text{g/l}$ ) à la même date. La plupart des autres paramètres physiques et chimiques présentent des valeurs du même ordre que celles recueillies dans les trois stations amont.

La présence de larves d'Eristales (Diptères Syrphidae, organismes sapro-biontes) et de larves de Psychoda (Diptères Psychodidae), en secteur calme envasé, atteste de conditions ambiantes très défavorables aux espèces oxybiontes d'eau pure.

Corrélativement on assiste à :

- un abandon prononcé de ces faciès lentiques par les diptères Chironomides, pour les conditions moins défavorables des faciès semi-lotiques.

- un développement exceptionnel en faciès semi-lotique des effectifs du crustacé Diacyclops bisetosus (Copépode Cyclopidae) avec  $42000 \text{ ind/m}^2$  et des larves d'Orthocladinae racleuses de substrat avec  $9000 \text{ ind/m}^2$  (Diptères Chironomidae).

Les espèces se nourrissant de débris organiques en suspension - telles les larves de Simulie - ou de diatomées et de microorganismes - telles les larves de Trichoptères du genre Rhyacophyla - y sont également très abondantes.

Pour un effectif total de  $90000 \text{ ind/m}^2$  en lotique, on compte 14 unités systématiques, 6 pour les Diptères avec  $40000 \text{ ind/m}^2$  et 4 pour les Crustacés avec  $15000 \text{ ind/m}^2$ .

En lentique, l'effectif total atteint  $16000 \text{ ind/m}^2$  répartis en 9 unités systématiques. Les Nématodes dominent largement avec  $13000 \text{ ind/m}^2$ .

Les larves rhéophiles et oxybiontes des Trichoptères Drusinae et les Plécoptères ont totalement disparu de cette station.

Des cas d'envahissement des secteurs d'eau dormante par diverses matières organiques en suspension ont pu être observés près des décharges publiques

dans les stations amont de la Durance où subsiste un débit naturel minimum de 13,5 m<sup>3</sup>/s. Mais ces envahissements temporaires n'ont jamais été accompagnés d'un déséquilibre biocénotique aussi flagrant et significatif qu'à la station "Espinasse".

Compte-tenu de la qualité acceptable de l'ensemble des paramètres physico-chimiques (mise à part la teneur en phosphates), cette situation ne peut être mise au compte d'une pollution par les eaux usées du village d'Espinasse, qui débouchent en ce point.

Elle résulte davantage d'une eutrophisation progressive de la Durance en aval du Bassin de Compensation, lui-même très eutrophié sous l'influence des eaux riches en phosphates provenant des parties profondes du lac de Serre-Ponçon.

L'ensemble de ces considérations nous permet de dire que la détérioration des caractéristiques qui faisaient de la Durance, au niveau d'Espinasse, une rivière salmonicole en parfaite santé est le résultat de l'évolution d'un écosystème à dominante lotique vers un écosystème où les conditions du lentique occupent une place prépondérante. Le processus semble bien déterminé par le maintien, dans la zone concernée d'un débit réservé très insuffisant, responsable de profondes modifications au niveau du biotope et des biocénoses.

A Espinasse, ces modifications aggravées par l'enrichissement en phosphates des eaux venant du Bassin de Compensation se manifestent notamment par :

- le colmatage du substrat,
- l'extension et l'isolement des zones d'eau mortes à fort envasement, chargées en matières organiques,
- la prolifération des organismes producteurs (algues)
- la régression des larves d'insectes caractéristiques du rhithron.
- la quasi élimination des truites fario.

L'étude de la station d'Espinasse démontre que la Durance après Serre-Ponçon, constitue un nouvel écosystème de "petite rivière" qui fonctionnerait avec un débit réservé de 3m<sup>3</sup>/s mais ne fonctionne plus avec un débit de 1,5m<sup>3</sup>/s.

	en clair	en code
Catégorie piscicole	Salmonidé	1
Largeur de la rivière	20 m	3
Zone écologique	Hyporithron	2-3
Altitude	650 m	065
Nature géologique régionale (bassin versant)	Marno-calcaire	1
Nature géologique du lit	" "	1
Granulométrie dominante		
faciès lotique	blocs, cailloux	1-2
faciès lentique	vase	6
Granulométrie accessoire		
faciès lotique	graviers, sable	3-5
faciès lentique	sable, sablon	4-5
Nature de la couverture végétale dominante		
faciès lotique	algues	3
accessoire faciès lotique		
Nature de la couverture végétale dominante		
faciès lentique	algues	3
accessoire faciès lentique		
Importance de la couverture végétale en % de surface du fond		
dominante	80%	80
accessoire		
Vitesse moyenne du courant, en cm/s		
faciès lotique	100 cm/s	100
faciès lentique	0	0
Profondeur en cm : faciès lotique	40 à 60 cm	40 - 60
faciès lentique	100 cm	100
Ensoleillement moyen	dégagé	4
Turbidité (échelle de Jackson)		
Couleur	gris	10
Groupe faunistique le plus élevé en faciès lotique	Ephéméroptères	3-2
Nombre total d'unités systématiques	14	14
Ic	6	6
Groupe faunistique le plus élevé en faciès lentique	Eristalinae	7-0
Nombre total d'unités systématiques	7	7
I1	<u>1</u>	<u>1</u>

Fig.49 - Etude de la qualité biologique des eaux de la Durance en aval de la retenue de Serre-Ponçon: station d'Espinasse.

		lotique	lentique
Algues	Cladophora Spirogyra	xxx	xxx
Tricoptères	Rhyacophila	x	
Ephémères	Baetis	xxx	
Crustacés	Gammarus	x	
	Daphnia	xx	
	Acanthodiptomus	xx	
	Diacyclops	xxxx	
Diptères	Simuliidae	xxxx	
	Empididae	x	x
	Syrphidae (Eristalis)		x
	Psychodidae		xx
	Orthocladinae	xxxxx	xx
	Diamesinae	x	
	Tanypodinae	x	
Tanytarsiens	x		
Oligochètes	Naiadidae	xx	xxx
Nématodes			xxx

Fig.50 - Liste des familles et genres récoltés à la station d'Espinasse, dans la Durance en aval de la retenue de Serre-Ponçon.

## 8. CONCLUSION - PERSPECTIVES DE RECHERCHE

L'étude de l'évolution des paramètres physiques, chimiques, bactériologiques, floristiques et faunistiques durant un cycle annuel, de juin 1978 à juin 1979, a montré que le lac de retenue de Serre-Ponçon s'est comporté comme un lac monomictique chaud de deuxième ordre peu stratifié.

Pendant la phase de circulation hivernale, qui correspond à la période du marnage, il présente un caractère oligotrophe dû à la qualité des eaux de la Durance et de l'Ubaye qui alimentent le lac.

Pendant la période de stratification estivale, au contraire, il présente un mélange de caractères oligotrophes mais aussi eutrophes.

Cette tendance à l'eutrophisation estivale est franchement affirmée :

- dans la branche Ubaye où l'excès de production primaire est manifesté,
- dans les annexes où se développe en août une véritable fleur d'eau à Spirogyra (Plan d'eau d'Embrun et Bassin de Compensation).

Par contre, dans la zone profonde du lac, l'eutrophisation estivale semble encore limitée par la consommation totale du phosphore.

Les effets cumulés du débit réservé insuffisant (1,5m<sup>3</sup>/s) et de l'eutrophisation du Bassin de Compensation entraînent une altération importante des biocénoses de la Durance, en aval du Barrage.

Il serait nécessaire :

- de confirmer ces premiers résultats par l'étude d'un ou de plusieurs autres cycles annuels.
- de suivre la vitesse de l'eutrophisation du lac dont l'évolution paraît plus rapide depuis la mise en eau, en 1960, que celle des lacs de barrage du Verdon.

Dans cette perspective, il conviendrait :

- d'adopter un rythme de prélèvement plus élevé en juin, pendant le remplissage du lac, et en septembre, au plus fort de l'eutrophisation,
- d'étudier l'importance des apports en phosphore qui résultent de la fréquentation touristique estivale ainsi que les échanges de ce facteur limitant entre l'eau et la vase ( l'arrêt du processus d'eutrophisation dépend sans doute de la limitation des entrées de phosphore dans le lac, pendant l'été.
- de mesurer la consommation de matières organiques vivantes par le zooplancton en étudiant les relations entre espèces dominantes du phytoplancton et espèces dominantes du zooplancton (D.hyalina, en particulier).
- de mesurer la consommation des matières organiques mortes par les espèces dominantes du zoobenthos (larves de Chironomides, en particulier).

Ces travaux ont pour but de limiter la production primaire et maintenir un équilibre entre production et consommation nécessaire au bon fonctionnement biologique de la retenue de Serre-Ponçon.

## REFERENCES

- 1 - CHAMPEAU A., et Coll. - Complément à l'étude d'impact des chutes des Beaumes et d'Embrun. Université de Provence 1979. 167 p.
- 2 - BOREL M., et Coll. - Etude des abords de la Basse Durance M.Q.V. 1976, 90 p.
- 3 - Etude ornithologique réalisée par le Parc National des Ecrins Gap.1978
- 4 - BRUN G., et Coll.- Etude d'impact des barrages de Means et Pruneyret Université de Provence 1980.
- 5 - COLLOMB G., GREGOIRE A., CHAMPEAU A., Annls Limnol.1980 (à paraître).
- 6 - PONT D., Thèse de 3ème cycle, Montpellier 1977, 110 p.
- 7 - MILBRINK Q., WIEBERHOLM T., Oikos 24 (3) 1973 : 479-482
- 8 - GAGNEUR J., Thèse de 3ème cycle, Toulouse 1976, 189 p.
- 9 - MAC CAULEY U.J., Oikos 27 : 339-345.
- 10 - LAVILLE H., Thèse d'état, Toulouse 1972 : 413 p.
- 11 - NISBET M., VERNEAUX J., Annls Limnol. 6 (2) 1970 : 161-190.
- 12 - THOMAS E.A., - dans : Environmental Phosphorus Handbook , John Willey and Sons - New York, 1973 : 585-611.
- 13 - SPILLMAN C., - dans : Poissons d'eau douce, Faune de France 65 Paris : 303 p.
- 14 - CHAMPEAU A., GREGOIRE A., BRUN G., - Annls Limnol. 14 (3) 1979 : 245-271.
- 15 - FLEKINGER R., Bull.Soc.Vétérinaire Pratique de F. 62 (2) 1978 : 1-31.

-----