

Rapport scientifique
sur la Convention 77-20
entre l'Université de Provence
laboratoire Biologie générale-Ecologie
et le Comité Faune-Flore du
Ministère de l'Environnement

LES RETENUES HYDRO-ELECTRIQUES DU VERDON

IMPACT SUR LA RIVIERE

CONSEQUENCES DU MARNAGE

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

ont participé à l'étude :

Responsable scientifique : CHAMPEAU A.
- Chimie : CHAMPEAU A., GREGOIRE A., LAMBERTI E.,
MASSIANI C.
- Phytoplancton, periphyton : MILLERIOUX E.
- Microbiologie : BIANCHI A.
- Hydracariens : SANTUCCI J.
- Ephémères : GREGOIRE A.
- Zooplancton : CHAMPEAU A.
- Chironomides : NINO A.
- Oligochètes : LAMBERTI E., GALLISSIAN A.
- Poissons : CHAMPEAU A., GREGOIRE A., BRUN G.

Prélèvements : BRUN G., CHAMPEAU A., GREGOIRE A.,
MATTERA G. et MATTERA R.

Rapports (pré rapports, rapport technique, rapport scientifique):
CHAMPEAU A.

Réalisation des documents : MATTERA Rolande, CARBUCCIA M.H.

SOMMAIRE

A - PREAMBULE

- 1 - Renseignements administratifs p. 1
- 2 - Objectifs de la recherche p. 1
- 3 - Choix des sites p. 2

B - TECHNIQUES et METHODES D'ETUDES p. 4

C - INFLUENCE DES RETENUES SUR LE COURS DU VERDON

- 1 - Milieu abiotique
 - . Paramètres étudiés p. 8
 - . Conclusions: influence des aménagements p.13
- 2 - Biocénoses
 - . Paramètres étudiés p.18
 - . Conclusions: influence des aménagements p.40

D - INFLUENCE DU MARNAGE SUR LES RETENUES

- 1 - Caractéristiques morphométriques p.41
- 2 - Influence du marnage sur la vie pélagique
 - . Milieu abiotique p.42
 - . Les biocénoses p.50
- 3 - Influence du marnage sur la vie benthique
 - . Milieu abiotique p.70
 - . Les biocénoses p.76

E - Les PROBLEMES PISCICOLES p.91

Principales conclusions p.97

A - PREAMBULE

1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Comité : Faune-Flore

Date : 28 mars 1977

Thème du contrat : Etude des zones de
marnage des lacs de barrage du Verdon

N° du contrat : 77-20

Organisme : Université de Provence

Date d'entrée en
vigueur : 1er avril 1977

Laboratoire: Biologie Générale-Ecologie
(Adresse et 1, place Victor Hugo
téléphone) 13331 MARSEILLE CEDEX 3

Tél : 95.90.71 - poste 346

Durée : 24 mois

Responsable scientifique :

Montant total : 123.000 Frs

A. CHAMPEAU - Professeur

1, place V. Hugo, 13331 MARSEILLE Cedex 3

Nombre de chercheurs :

Montant de l'aide
accordée :

6 (Université de Provence)

2 extérieurs à l'U.P.

70 000 Frs

2. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

. Le but de la recherche est de mesurer les conséquences biologiques de la pratique du marnage dans les lacs de barrage hydro-électriques, et celles des lâchures dans les cours d'eau en aval. Or l'impact du marnage n'a fait l'objet d'aucune recherche approfondie en particulier en ce qui concerne la survie de la faune benthique à l'immersion.

. La succession de cinq lacs de barrage sur le Verdon et leur régime d'exploitation différent (éclusées ou dérivation, marnage saisonnier ou niveau constant) constituent des conditions variées favorables à l'étude des conséquences du marnage dans les lacs et à l'examen de l'impact de l'installation des barrages sur le cours d'eau.

. La pluviosité élevée de l'année 1977 a empêché le marnage des lacs du Verdon en 1978, retardant notre étude. Ces conditions climatiques exceptionnelles nous ont incité à étudier également le marnage dans le lac de Serre-Ponçon. Par contre, la pluviosité moins élevée en 1978 et 1979 nous a permis de mener à bien ce programme étendu à Serre-Ponçon. Le faible enneigement a également entraîné l'adoption d'un débit exceptionnellement faible sur le Verdon pendant l'été 1979 (500 l), débit dont nous avons pu observer les effets.

Enfin, l'examen des seules stations situées en bas des barrages s'est montré insuffisant à l'étude des conséquences des aménagements sur la rivière. Aussi nous avons choisi des stations plus nombreuses réparties sur tout le cours du Verdon.

3. CHOIX DES SITES (figures 1 et 2 p.3)

. Le Verdon affluent rive gauche de la Durance coule selon une pente moyenne de 0,37%. Long de 155 km il est divisé artificiellement en trois tronçons par les aménagements hydro-électriques d'E.D.F.

- Le Haut-Verdon, compris entre la source (3052 m) et la première des 5 retenues, celle de Castillon (880 m)
- Le Moyen-Verdon, coulant au fond des Grandes Gorges entre les 2ème et 3ème retenues (La Chaudanne, 790m et Sainte-Croix, 477m).
- Le Bas-Verdon, aménagé sur les deux tiers de sa longueur avec les 4ème et 5ème retenues (Quinson, 404m; Gréoux, 351m) est conservé à l'état naturel seulement du seuil de Gréoux à sa confluence avec la Durance (254m).

FIGURE 1 : Le Verdon - Carte de situation

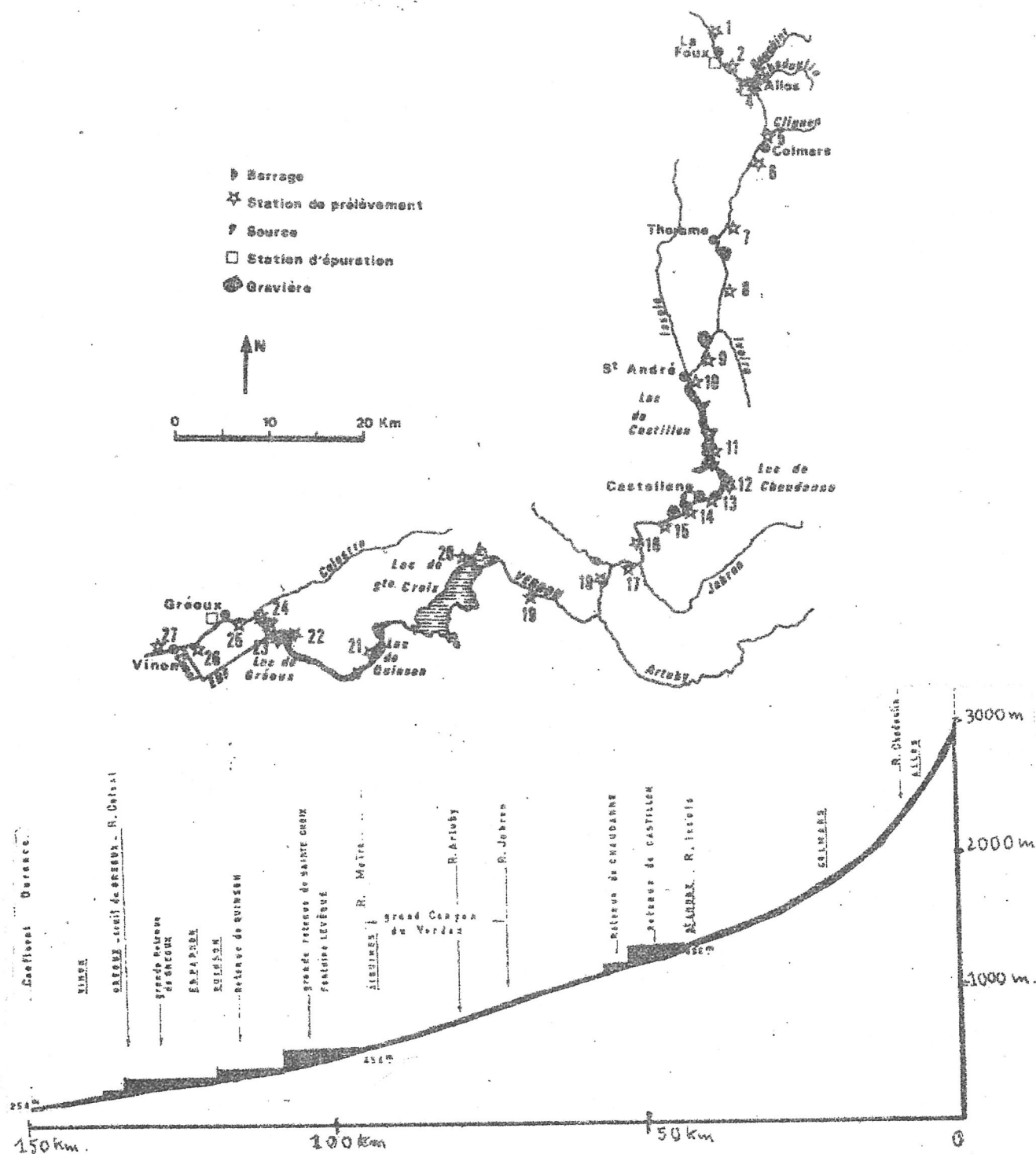


FIGURE 2 : Le Verdon - profil en long

. Les 27 stations étudiées réparties sur tout le cours du Verdon ont été choisies en fonction des apports exogènes : principaux affluents, sources de pollutions (rejets urbains, gravières) aménagements hydro-électriques. 21 stations intéressent la rivière dont :

- 10 le Haut-Verdon (Stations 1 à 10)
- 7 le Moyen-Verdon (Stations 13 à 19)
- 4 le Bas-Verdon (Stations 24 à 27)
- 6 stations suivies régulièrement sont localisées dans les retenues (st.11, Lac de Castillon; st.12, Lac de la Chaudanne; st.20, Lac de Sainte-Croix; st.21, Lac de Quinson; st.22, Anse d'Esparron, zone polluée du Lac de Gréoux; st.23 Lac de Gréoux). Pour chacune de ces stations on a considéré les profondeurs suivantes : 0; 2,5m; 5m; 10m; 20m; fond.

. Pour l'étude des conséquences du marnage sur la faune benthique nous avons défini, dans chaque lac, après une étude prospective, trois secteurs caractérisés par des paramètres topographiques, pédologiques et physico-chimiques :

- deux zones immergées, dont une zone vaseuse profonde, toujours submergée au milieu du lac, et une zone d'atterrissement de moyenne profondeur (de 30 à 60 m) en queue de lac.

- une zone exondée en hiver; les prélèvements y sont effectués dans des substrats à granulométrie fine et à granulométrie grossière.

B - TECHNIQUES ET METHODES D'ETUDES

.. MESURES ET PRELEVEMENTS

1.1. Eau courante: thermomètre électrique Ysi (température); Moulinet Plastimo (vitesse du courant); Conductimètre Ysi (conductivité) Oxymètre Ysi (oxygène dissous); Surber, piochon, troubleau (indices biotiques et Ephémères); lames de verre porte-objet (periphyton) Drague "rateau" (Hydracariens).

1.2. Lacs de barrage : sondeur Plastimo (profondeur); thermistor Metrix (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 μ) filets maillants et tramails (poissons; vides de mailles 10, 27 et 50 mm).

2. CHIMIE DES EAUX ET DES VASES

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

3. TRAITEMENT DES ECHANTILLONS

3.1. Eau courante

3.11 - Périphyton

Les substrats artificiels mobiles destinés au piégeage du périphyton ont été laissés en dérive pendant un mois, du 1er au 30 août 1978. Les lames de verre ayant disparu dans 7 stations, nous avons procédé au grattage des substrats naturels, cailloux et macrophytes, dans les stations 5, 7, 11, 15, 20 et 21.

Au moment de la récolte, les échantillons sont immergés dans un flacon contenant de l'eau lugolée. Au laboratoire les lames sont grattées et les algues mises en suspension dans un volume minimum. La préparation de l'échantillon se fait par attaque à l'acide nitrique à chaud. Après plusieurs rinçages et centrifugations l'échantillon est ramené à un volume connu et une fraction déterminée est montée au Naphrax (I.R. = 1,74) entre lame et lamelle. L'inventaire et les dénombrements sont réalisés sur ces sous-échantillons.

Dans la mesure du possible, au moins 400 cellules sont comptées sur chaque échantillon et une surface minimum correspondant à 30 champs optiques est explorée. L'inventaire réalisé n'est donc pas exhaustif. La présence d'espèces dont la fréquence est inférieure à 1% peut être considérée comme accidentelle.

3.12 - Faune

Le nombre des larves d'Ephémères exprimé par m² est compté dans les 3 prélèvements effectués au filet Surber. Les 21 stations ont été prospectées aux 4 saisons de l'année. Des chasses nocturnes d'imagos effectuées au niveau des stations ont facilité les déterminations.

Le zooplancton provient d'un filet Surber à mailles fines.

Le nombre d'Hydracariens comprend les larves les nymphes et les adultes.

3.2. Milieux lacustres

3.21 - Analyses bactériologiques

Sur les échantillons d'eau et de vase ramenés dans les 3 heures au laboratoire, l'analyse a été limitée à la numération de la microflore hétérotrophe aérobique communément appelée "microflore totale" et à la numération de différents types de bactéries considérées comme indicatrices de pollution d'origine fécale.

La microflore "totale" peut être considérée comme un indice de niveau trophique des biotopes étudiées et de la stratification biologique des couches d'eau. L'étude de la distribution des populations bactériennes d'origine entérique permet d'apprécier les possibilités d'épuration des milieux naturels vis à vis des microflores allochtones.

Les numérations ont été effectuées sur les milieux solides suivants :

- Microflore hétérotrophe aérobique stricte ou facultative, dite "microflore totale", sur milieu gélosé peptoné à 5%, incubation à 20°C pendant quatre semaines.
- Coliformes totaux, culture sur milieu "Eosine Bleu de Méthylène" BD-MERIEUX, incubation 24 heures à 37°C.
- Coliformes fécaux, culture sur milieu "Eosine Bleu de Méthylène" BD-MERIEUX, incubation 24 heures à 44°5.
- Escherichia coli, reconnaissance selon la morphologie des colonies bactériennes formées sur les cultures pour coliformes fécaux.
- Streptocoques fécaux du groupe D, culture sur milieu "D-COCCOSEL" BD-MERIEUX, incubation à 37°C.

L'ensemencement a été réalisé par une série de suspensions dilutions successives au dixième (10^{-1} à 10^{-5}) pour les échantillons de vase et par filtration de 10, 20, 30, 50 et 100 ml sur membranes en acétate de cellulose de porosité 0,22 μ pour les échantillons d'eau.

Toutes les cultures ont été effectuées en triple exemplaire.

3.22 - Phytoplancton

L'inventaire a été établi à partir de prélèvements de 100 cc d'eau effectués aux profondeurs 0, 2,5, 5, 10, 20m et fond, et d'un trait d'une minute en surface. La numération directe des cellules s'est 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 faite aux heures de plus grande luminosité, pendant 4 heures.

3.23 - 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 (500m) qui permet d'amoindrir les conséquences de la répartition en essaim du zooplancton. Dans chaque retenue, 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 boîte de Motoda a été choisie pour le fractionnement des échantillons (erreur relative + 8,5%), la cuve de Dollfus pour le comptage des individus séparés en juvéniles et adultes (erreur relative + 10,75%). L'estimation de leur biomasse a été obtenue à partir des données de la littérature.

3.24 - Faune benthique

Une étude comparative de Milbrink et Wierderholm (1973) 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 m² sur 15 cm d'épaisseur; la reconversion en m² est obtenue en multipliant par 44,5. Des études quantitatives effectuées par Gagneur (1976) 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. Les différentes méthodes de capture ont été utilisées :

- fauchage avec un filet entomologique dans les essaims 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 (1976).

Utilisés notamment par Laville (1972), 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 0,25m². 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.

3.25 - Poissons

Dans chaque retenue, nous avons utilisé les mêmes filets, dans les mêmes conditions, compte tenu de la morphométrie des lieux. Les prélèvements ont été effectués près des berges, en pleine eau et dans les gorges. Les filets étaient installés dans la soirée et levés au cours de la matinée suivante.

C - INFLUENCE DES RETENUES SUR LE COURS DU VERDON

1. MILIEU ABIOTIQUE

1.1. Paramètres étudiés (figures 4 et 5, p.16 et 17)

1.11 - L'hydrologie

Dans sa partie amont, le Haut-Verdon n'est pas aménagé. Il a gardé son régime hydraulique naturel de type torrentiel avec 2 périodes de basses eaux, en hiver (rétention nivale) et en été, séparées par 2 périodes de crues, en automne (fortes pluies) et à la fin du printemps (fonte des neiges). Après les apports des principaux affluents, le Bouchier, le Chadoulin et l'Issole, le débit moyen "longue durée" à Castillon est de 15,5 m³ alors que l'étiage moyen n'est que de 5m³.

Le Moyen-Verdon fortement aménagé comprend les 2 retenues contigües de Castillon et Chaudanne. Il coule ensuite au fond des Grandes Gorges. Le régime d'écluse pratiqué à la Chaudanne fait passer le débit de 0,5 m³/s à 42,5 m³/s dans la journée. Après les apports du Jabron et de l'Artuby le débit moyen est de 23,2 m³ à l'Estellié, près du barrage de Sainte-Croix.

Le Bas-Verdon, après les 3 retenues successives de Sainte-Croix, Quinson et Gréoux est soumis à un régime de débit réservé jusqu'à Vinon (1 m³ au pied de Gréoux) alors que le débit moyen mesuré à Quinson atteint 33,9 m³. Puis le canal de dérivation rejoint la rivière dont le débit moyen annuel est de 40 m³/s jusqu'à sa confluence avec la Durance.

L'implantation des cinq barrages a supprimé 39 km de rivière soit environ 25%.

Des calculs effectués à partir de mesures faites par ailleurs pour E.D.F., en août 1979, sur 21 profils en travers, montrent que :

- pour un débit lâché au barrage de la Chaudanne de 4 m³/s, le débit est égal à 6,6 m³/s dans les Grandes Gorges, avant le confluent du Jabron; la largeur moyenne de la rivière est alors égal à 22,97 m, la vitesse du courant de 0,65 m/s.
- pour un débit lâché du barrage de la Chaudanne de 0,5 m³/s, le débit est égal à 2,7 m³/s dans les Grandes Gorges, avant le confluent du Jabron; la largeur moyenne de 20,30, la vitesse moyenne de 0,41 m/s.

On a donc une diminution de 12% de la largeur moyenne pour une baisse de débit de 4 m³ soit 3% par m³; une baisse de la vitesse de 38% soit environ 10% par m³. La hauteur de la lame d'eau a diminué de 15,90 cm en moyenne soit 4 cm environ par m³.

Si l'on considère d'une part, le débit "naturel" à cet endroit (16+2,5 = 18,5 m³) d'autre part, le régime d'écluse qui fait passer le débit de 2,7 à 45 m³/s en quelques heures, on se rend compte des changements considérables qui interviennent au niveau des paramètres surface mouillée, vitesse et hauteur d'eau.

L'extrapolation des données précédentes aux débits extrêmes et "naturels" est certes très critiquable. Cependant en dehors d'autres éléments d'appréciation, elle peut donner un ordre de grandeur des changements qui interviennent dans les Grandes Gorges :

Débits	Vitesse	Largeur	Hauteur d'eau
2,7m ³ /s(0,5 à la Chaudanne)	0,41 m/s	20,3m	—
18,5 (16,- " " ")	1,05 m/s	29,6m	+ 62 cm
45,- (42,5 " " ")	2,29 m/s	45,8m	+ 168 cm

La diminution de la largeur, donc de la surface mouillée est sans doute inférieure aux chiffres mentionnés ci-dessus dans la mesure où le cours du Verdon est très encaissé à cet endroit.

Entre le barrage de Gréoux et le confluent du Canal E.D.F. à Vinon l'application d'un débit réservé de 1m³ toute l'année entraîne une situation du même type que celle décrite en aval de la Chaudanne pour le débit le plus faible.

Avec les apports du colostre - 1m³/s - on passe d'un débit naturel d'environ 35 m³ à 2 m³ avec une largeur de 20 m, une hauteur d'eau le plus souvent inférieure à 20 cm/s et une vitesse nettement inférieure à 0,50 m/s.

1.12 - La température (figure 4 p.16, figure 5 p.17)

Dans le Haut-Verdon, la moyenne des températures relevées dans l'eau augmente de la source (5°) à l'entrée du lac de Castillon (11°). L'écart entre les températures minimales et maximales ne dépasse pas 10°. Températures moyenne et extrême mesurées en surface augmentent très nettement dans les retenues de Castillon et la Chaudanne. La profondeur de la prise de l'eau

restituée (50 m à Castillon, 17 m à la Chaudanne) explique que l'on retrouve les mêmes températures moyennes dans le Moyen-Verdon que dans la partie aval du Haut-Verdon. Seul l'écart entre minima et maxima mesurés augmente légèrement pour atteindre 12° dans les Grandes Gorges. Un refroidissement identique se produit dans le Bas-Verdon, après le dernier barrage où l'eau de restitution est prise sous la thermocline (19 m à Gréoux). Il faut attendre les stations situées en aval du seuil de Gréoux, petite retenue peu profonde (2m) où l'eau s'échauffe pour rencontrer des températures moyennes de 13°.

Ainsi la température de l'eau dépasse rarement 16° en août. L'altitude et le régime hydraulique pour le Haut-Verdon, la localisation des prises d'eau en bas des barrages expliquent le maintien des températures moins élevées que les températures initiales dans le Moyen et le Bas-Verdon.

La figure 5 rend compte d'une situation particulièrement défavorable (le 24 août 1979) quant à l'échauffement. Or la température maximale, dans le Moyen-Verdon a été de 16°5 (débit 0,5m³ à la Chaudanne), dans le Bas-Verdon, de 17° (débit à 1m³ à Gréoux) après une longue période de forte chaleur.

1.13 - L'oxygène dissous (figure 5 p.17)

De la source au confluent avec la Durance la quantité d'oxygène dissous est toujours très élevée dans le Verdon. Au niveau du village d'Allos (St.2 et 3) et au pied du barrage de la Chaudanne (st.13) on rencontre les teneurs mesurées les plus faibles qui sont néanmoins, à 80% de la saturation.

1.14 - Le pH, l'Alcalinité et le Calcium (figure 5 p.17)

En relation avec la nature marno-calcaire du bassin versant, les eaux du Verdon sont alcalines et bien tamponnées. Dans les trois secteurs le pH moyen est de 8, les écarts le plus souvent inférieurs à une unité pH. Les teneurs en Calcium augmentent régulièrement du Haut-Verdon (45 mg/l) au Moyen-Verdon (60 mg/l) et au Bas-Verdon (80 mg/l). Les valeurs de l'alcalinité exprimées en HCO₃⁻ varient de 100 à 200

mg/l dans les deux premiers secteurs, entre 200 et 300 mg/l dans le troisième secteur.

1.15 - La conductivité (figure 5 p.17)

Faible dans le Haut-Verdon (= 200 μ mhos/cm/cm²) elle augmente brutalement (800 μ mhos avec des maxima de 1200) dans le Moyen-Verdon après la source salée du "Salaou" en aval de Castellane (st.14 et suivantes). Cette augmentation est due en particulier à des fortes teneurs en

- sulfates qui passent de 15 mg/l à 150 mg/l
- chlorures " 3 mg/l à 120 mg/l
- sodium " 3 mg/l à 50 mg/l
- potassium " 1 mg/l à 5 mg/l
- silice " 2 mg/l à 4 mg/l

Les apports des affluents abaissent la conductivité dans les Grandes Gorges de 800 à 600 μ mhos. La dilution se poursuit dans les 3 lacs inférieurs si bien que les valeurs mesurées dans le Bas-Verdon oscillent autour de 300 μ mhos/cm/cm², avec une baisse correspondante du SO_4^{--} (20 mg/l) du Cl^- (30 mg/l) du Na^+ (10 mg/l) du K^+ (2 mg/l) et du SiO_2 (3 mg/l).

1.16 - Les sels nutritifs (figure 5 p.17)

Les teneurs en nitrates et phosphates sont caractéristiques d'une eau moyennement productive (respectivement $\approx$ 1mg/l et 100 μ g/l).

Relativement constantes sur tout le cours de la rivière, les concentrations en nitrates et phosphates augmentent en deux points : Allos (st.2 et 3) et Gréoux (st.25 et 26), à la suite des apports domestiques.

1.17 - L'oxydabilité (figure 5, p.17)

Sur tout le cours du Verdon elle est le plus souvent très inférieure à 0,5 mg/l d' O_2 , preuve de l'absence de pollution organique. Il faut cependant noter une oxydabilité atteignant 0,5 mg/l pour la valeur moyenne et 1 mg/l pour les valeurs maximales en deux points :

- dans le Haut-Verdon entre la Foux et Allos suite aux rejets de matières organiques de la station de ski.
- dans le Bas-Verdon au niveau de Gréoux, suite aux rejets de la station thermale et de la ville de Gréoux.

1.2. Conclusion : influence des aménagements

Parmi les paramètres abiotiques étudiés on peut distinguer 3 cas :

- peu d'influence
- influence bénéfique
- influence néfaste.

1.21 - Paramètres peu influencés par les aménagements

La qualité chimique des eaux est en général excellente sur tout le cours du Verdon. Elle se dégrade au niveau d'Allos dans le Haut-Verdon et de Gréoux dans le Bas-Verdon avec les apports en matières organiques et en éléments nutritifs des rejets de la station de ski de la Foux d'Allos et de la ville de Gréoux, sans que la situation devienne alarmante. L'eau reste bien oxygénée jusqu'au confluent avec la Durance.

Les mesures effectuées à l'aval immédiat des barrages (st.13 et 24) montrent en particulier que les eaux restituées sont :

- très bien oxygénées (comme nous le verrons dans le chapitre suivant le déficit en oxygène des eaux lacustres est faible, même en profondeur au niveau des prises d'eau, et le turbinage comble ce déficit)
- non enrichies en sels nutritifs et en particulier en phosphates contrairement au bassin de compensation situé en aval du barrage de Serre-Ponçon où l'eutrophisation est importante; en effet, dans les retenues oligotrophes du Verdon les eaux hypolimniques sont pauvres en nitrates et phosphates (cf.chapitre D).

1.22 - Paramètres soumis à une influence plutôt bénéfique

A mesure que l'on descend la rivière l'influence méditerranéenne s'accroît. Cependant les températures moyennes et maximales restent peu élevées jusqu'à dans le Bas-Verdon. Les courbes de températures (figures 4 et 5 p.16 et 17) montrent deux décroissements vers le bas après les barrages de la Chaudanne et de Gréoux. La température basse des eaux restituées limite l'échauffement estival dans le Moyen et le Bas-Verdon et maintient des températures moins élevées que les températures initiales.

Dans le Bas-Verdon les valeurs moyennes de la conductivité résultent de la dilution dans la retenue de Sainte-Croix de la minéralisation due à la source salée du "Salaou". En particulier, la teneur en Cl^- trop élevée après la source salée est tout à fait convenable dans le Bas-Verdon.

1.23 - Paramètres soumis à une influence néfaste

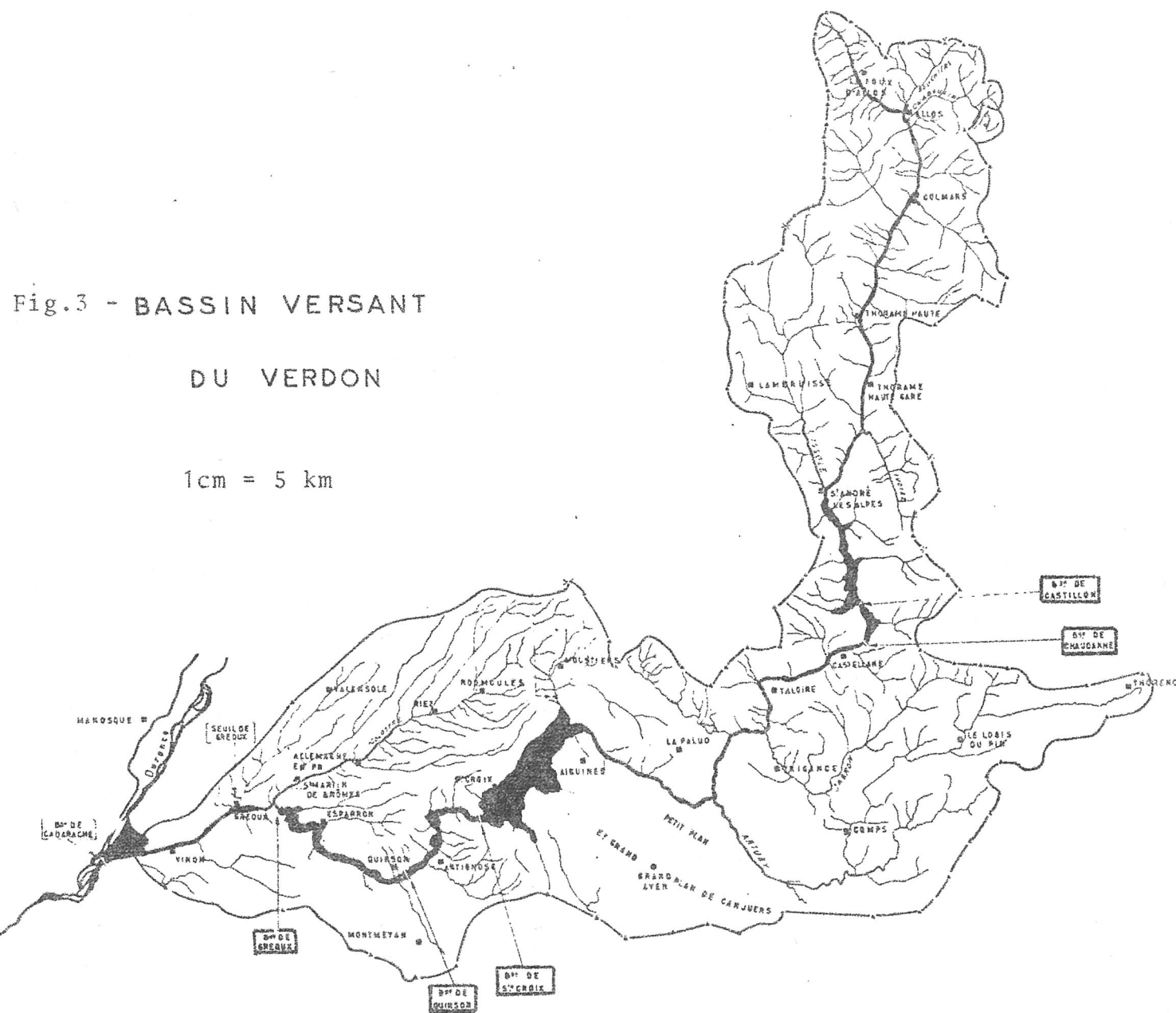
L'impact des retenues est très important sur l'hydrologie :

- un quart de la rivière est transformé en lac,
- tout le Moyen-Verdon est soumis au régime des éclusées avec des variations de débit importantes et brutales (de 0,5 à 42,5 m³/s en quelques heures). Compte tenu des apports des affluents entre deux turbinages, le débit laissé en rivière est très faible par rapport au débit maximum. Il en résulte une réduction importante de la surface mouillée (30%), de la hauteur d'eau (60cm) et de la vitesse du courant pendant ces périodes (60%).
- Le Bas-Verdon entre Gréoux et Vinon est soumis au régime des débits réservés. Le débit de 1m³ laissé en rivière est trop faible : la surface mouillée diminue d'un tiers, la hauteur d'eau peut descendre en dessous de 10 cm et le courant devenir presque nul, tout d'abord entre le barrage et le seuil de Gréoux, puis en aval du seuil, jusqu'à Vinon. Il est bien évident que les apports de matières organiques du Colostre et de Gréoux qui ne sont pas le fait des aménagements auraient des effets beaucoup moins sensibles sur l'oxydabilité, par exemple, s'ils étaient dilués dans les 55m³ d'eau d'excellente qualité correspondant au débit naturel à cet endroit, et non pas dans 2m³.

Fig.3 - BASSIN VERSANT

DU VERDON

1cm = 5 km



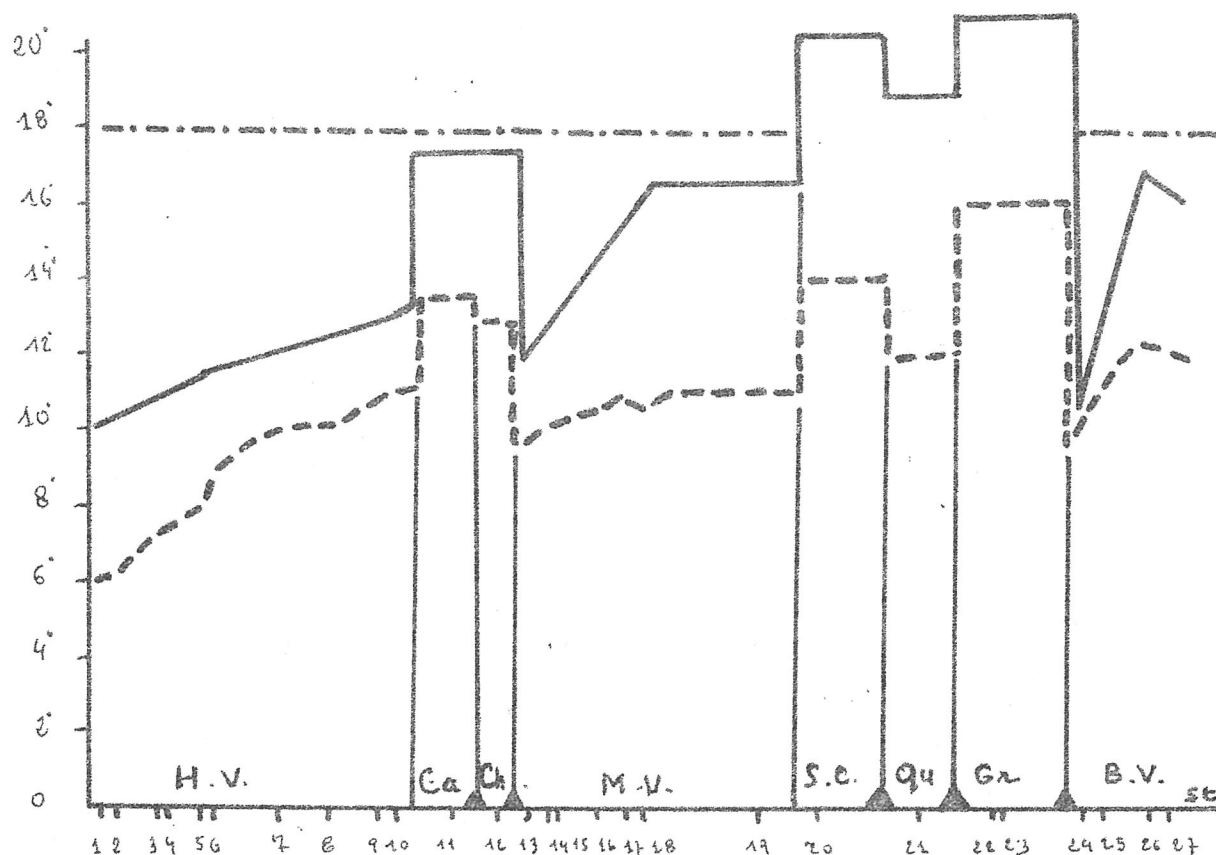


Fig.4 - Evolution des températures mesurées le long du cours du Verdon.

- - - - températures moyennes

— températures relevées en août 1979 (débit 0,5 m³/s à la Chaudanne, température extérieure 28-35°).

— . — limite de température admise pour les truites

Retenues : Ca, Castillon; Ch, La Chaudanne; Sc, Sainte-Croix; Qu, Quinson; Gr, Gréoux; Hv, Mv, Bv, Haut, Moyen, Bas-Verdon.

On voit nettement la limitation de l'échauffement due à la restitution des eaux profondes des retenues.

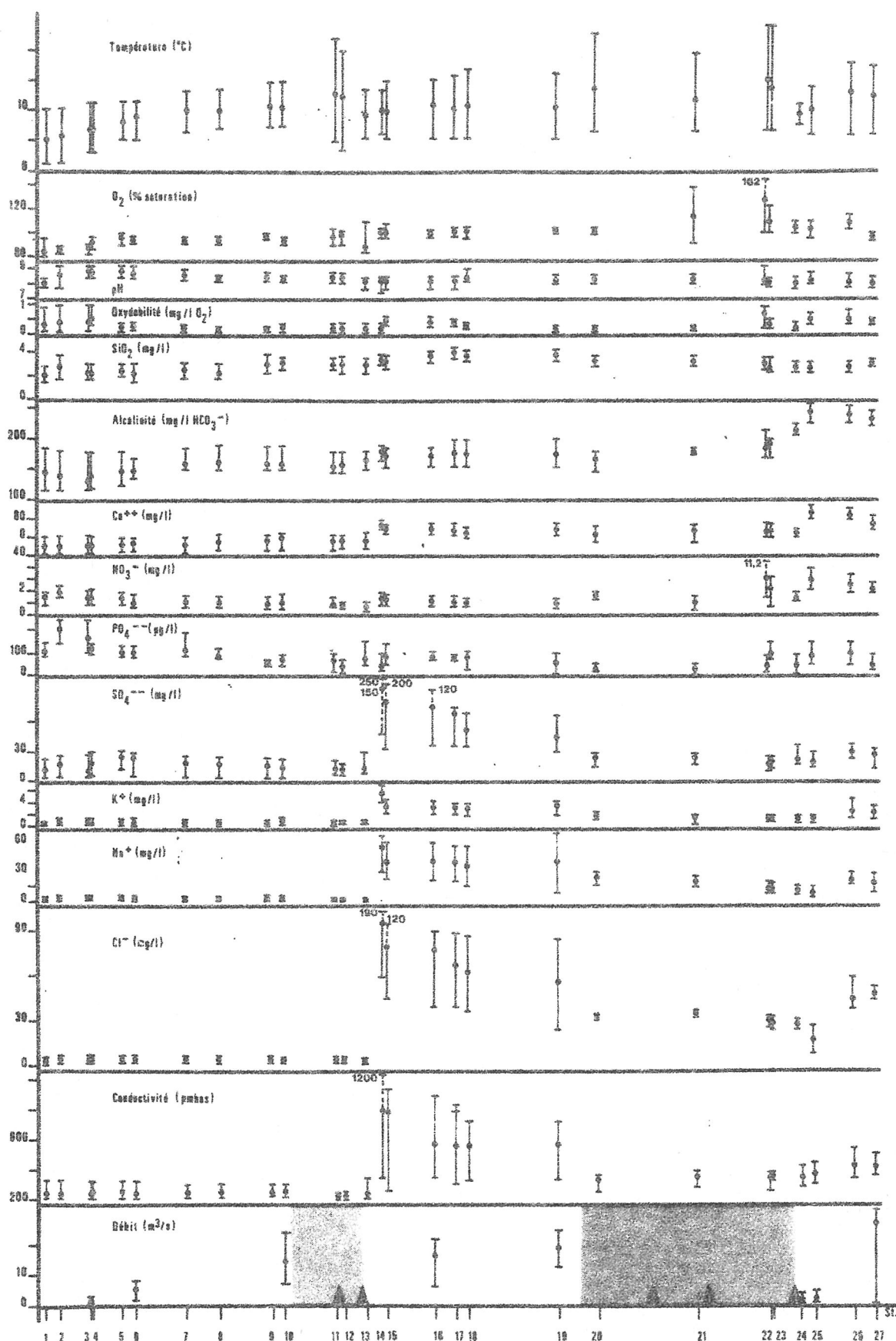


Fig.5 - Evolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau le long du Verdon. Valeurs moyennes, minimales et maximales. Les flèches correspondent à l'emplacement des barrages et les parties hachurées aux retenues (St.:stations).

2. BIOCENOSSES

2.1. Paramètres étudiés

2.11 - Introduction

Pour connaître l'influence des retenues sur les biocénoses du Verdon nous avons tout d'abord considéré les Indices Biotiques, méthode globale qui prend en compte tous les groupes zoologiques. Mais cette méthode manque de sensibilité, surtout dans une rivière non polluée comme c'est le cas du Verdon. De plus, elle ne concerne que la faune et ne permet pas de mesurer l'impact des barrages sur la flore. Aussi, nous avons choisi d'étudier plus en détail deux groupes appartenant à des formes benthiques, donc associées plus étroitement aux conditions locales :

- les Diatomées du périphyton pour la flore, algues benthiques les mieux représentées dans le Verdon.
- les larves des Ephémères pour la faune, insectes les plus nombreux dans la rivière.

De plus, nous avons porté notre attention sur un groupe faunistique susceptible de mieux résister à l'impact des aménagements par ses capacités de migrer dans le sous-écoulement, les Hydracariens. Enfin nous avons étudié le zooplancton dont le développement pouvait être une conséquence de l'implantation des retenues.

2.12 - Les Indices Biotiques (figure 6 p. 19)

Après les toutes premières stations du Haut-Verdon où ils varient entre 8,5 et 10, les indices biotiques sont toujours à la valeur maximale (10) jusqu'au confluent avec la Durance, en particulier en aval de la Chaudanne malgré le régime d'éclusee et en aval de Gréoux malgré le faible débit réservé. A noter, cependant, que dans le Bas-Verdon, du Seuil de Gréoux à la Durance, si l'indice est souvent égal à 10, il peut descendre à 9.

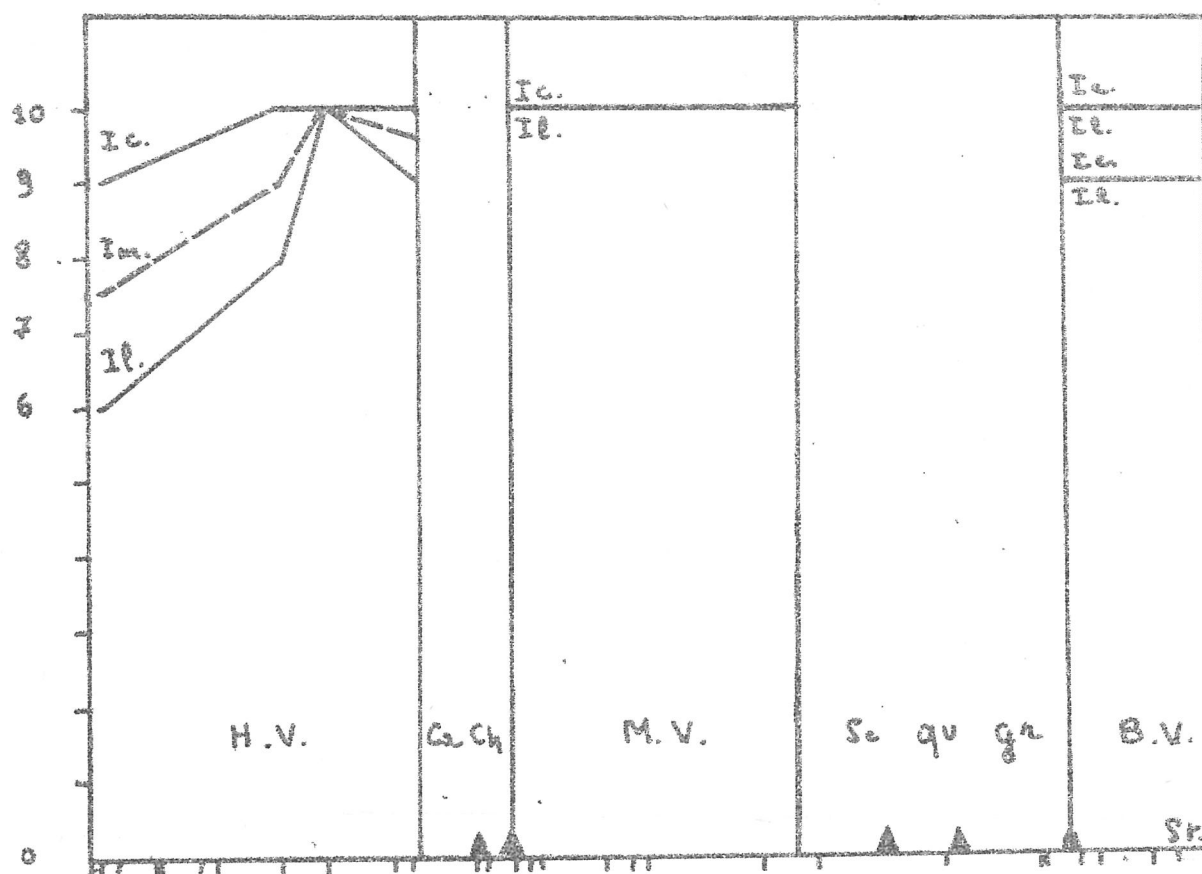


Figure 6 - Indices biotiques dans le cours du Verdon.

Ic : indices en lotique
 Il : indices en lentique
 Im : indices moyens

2.13 - Le périphyton

2.131 - Inventaire et répartition des espèces (figure 7, p.25)

L'examen du tableau nous permet de constater que, parmi 38 espèces récoltées, un grand nombre sont présentes sur les 2 types de substrat étudiés : substrat naturel et lames de verre. Toutefois, Cocconeis placentula présente un développement plus important sur les substrats artificiels alors que les espèces du genre Diatoma ont un développement plus accentué sur les substrats naturels.

La dominance du peuplement est assurée par un nombre relativement faible d'espèces. En particulier, Achnanthes minutissima et Cocconeis placentula.var. euglypta constituent à elles seules plus de la moitié des algues dénombrées. Ces deux espèces sont la plupart du temps associées.

Parmi les espèces observées, certaines comme Cocconeis placentula var. euglypta, C.pediculus, Achnanthes minutissima sont présentes dans la plus grande partie des stations inventoriées. Cymbella affinis, Cymbella ventricosa, Gomphonema bohemicum, Gomphonema olivaceum, Nitzschia romana, Surirella ovata, quoique présentant des populations plus réduites, ont été aussi récoltées tout le long du Verdon.

D'autres espèces sont inféodées à un tronçon limité du Verdon :

- Ceratoneis arcus est localisée dans les premières stations du Haut-Verdon,
- Cymbella sinuata F. ovata a un développement plus important dans la portion située en amont de Castillon,
- Cymbella microcephala et C.delicatula sont inventoriées uniquement en aval de Castillon,
- Amphora ovalis var. pediculus est localisée dans le cours inférieur.

Enfin, parmi les espèces inventoriées certaines sont planctoniques :

- Cyclotella kützingiana est présente sur les lames immergées en aval immédiat des retenues.

2.132 - Structure des populations (diversité spécifique D' (Margalef, 1960)

Les valeurs de D', évoluent dans le Verdon de 0,86 (population très peu diversifiée) à 2,57 (population diversifiée) (fig.8,p.26). Les populations de diatomées périphytiques sont relativement diversifiées dans le cours supérieur du Verdon. De la station 7 à la station 10 les valeurs de D' sont plus faibles qu'aux stations 2 à 6. On note alors la présence d'une ou deux espèces dominantes à chaque station.

Après les barrages de la Chaudanne, la diversité spécifique aux stations 13 et 14 est plus faible qu'aux stations 2 à 6 du Haut-Verdon mais comparable à celle observée à l'amont de la retenue de Castillon (st.7 à 10).

A l'exception du peuplement de la station 16, les populations de diatomées sont nettement plus diversifiées dans le Moyen-Verdon de la station 14 à la station 19.

Dans le Bas-Verdon la diversité spécifique diminue brusquement à la station. 24 (1,61 avec dominance d'Achnanthes minutissima) pour augmenter légèrement à la station 26 (1,84) puis à la station 27 (2,16). Comme à la station 13 (aval retenue de la Chaudanne), à la station 24 aval retenue Gréoux, malgré le piégeage des espèces planctoniques au niveau du substrat la valeur de D' est relativement faible.

2.133 - Les stations (figure 9 p.27)

Haut-Verdon

Les stations situées à l'amont de Thorame sont caractérisées par des populations périphytiques bien diversifiées mais peu importantes. A ce niveau, le Verdon est pauvre en éléments nutritifs. Les apports en matières en suspension des affluents (Chadoulin et Clignon) semblent expliquer la faible colonisation des stations 4, 5 et 6 situées directement à leur aval. Bouchaud et Clavel (1978) ont constaté ce phénomène, à savoir, une nette diminution de la colonisation des substrats à l'aval des gravières situées sur la Dore dans le Massif Central. Les matières en suspension colmatent les substrats et limitent ainsi le développe-

ment du périphyton.

La colonisation plus importante observée à la station 3, située à l'aval de la station d'épuration d'Allos, peut être attribuée à un enrichissement local du Verdon en éléments nutritifs. Cette station est, en outre, située dans un tronçon plus ensoleillé.

Le bon développement du périphyton aux stations 8,9 et 10 est à attribuer à une augmentation de l'éclairement due à l'élargissement du lit. De plus, à l'aval de Thorame, les teneurs en matières en suspension redeviennent très basses.

Moyen-Verdon

Aux stations 13 et 14, la colonisation extrêmement réduite est comparable, quant au nombre d'individus par unité de surface à celle des stations situées le plus en amont. A la station 13, les espèces périphytiques sont très mal représentées. Cette station est sous l'impact direct des très fortes variations journalières de débit induites par le turbinage de l'usine de Chaudanne (0,5 à 42,5 m³/s). Ces fortes variations de débit semblent s'opposer à la colonisation des substrats naturels et artificiels. Selon Douglas (1958), le développement des populations d'Achnanthes est fortement perturbé par les variations de débit. Toutefois, dès la station suivante, leur action est moins nette : à la station 14, la colonisation, quoique faible, est à nouveau assurée par des espèces appartenant à la flore strictement périphytique.

Les colonisations denses observées aux stations 15 et 16 peuvent s'expliquer par l'enrichissement du Verdon dû à la station d'épuration de Castellane et aux eaux usées du camping situé sur les bords de la rivière. A ces effluents chargés en matières organiques et sels nutritifs, s'ajoutent des apports en chlorure de sodium et en sulfate provenant d'une source salée d'origine triasique. Le Verdon présente à ce niveau des populations périphytiques bien développées. La pollution organique insidieuse décelée à ce niveau semble en être la cause.

Bas-Verdon

Comme à la station 13 (aval retenue de la Chaudanne), à la station 24 (aval retenue de Gréoux) des espèces planctoniques sont piégées au niveau du substrat. Toutefois, le périphyton de la station 24 est plus développé qu'à la station 13: présence de nombreuses Cymbella et dominance d'Achnanthes minutissima. Or la seule différence notable entre ces deux stations, au niveau des facteurs de l'environnement, vient de l'hydrologie; la station 13 est soumise à un régime d'écluse alors que la station 24 a un débit réservé faible mais constant de 1 m³/s environ.

Les stations du Verdon situées le plus en aval sont de loin les mieux colonisées. Ces stations sont sous l'influence directe des apports en matières organiques et en sels nutritifs issus de la vallée du Colostre, des rejets des thermes et des égouts des villages de Gréoux et de Vinon. Cette pollution latente d'origine urbaine, est accentuée par le faible débit réservé issu du barrage de Gréoux.

2.134 - Regroupement des stations : analyse factorielle des correspondances de Cordier (1965)

Afin de regrouper les stations pouvant présenter des affinités entre elles, nous avons tout d'abord utilisé une matrice de pourcentage de similitude de Whittaker et Fairbank mais sans résultat satisfaisant. Nous avons alors utilisé l'analyse factorielle des correspondances.

Les deux premiers axes rendent compte de 36,49% de l'inertie totale de l'ensemble des points (fig.10,p.28)

La représentation graphique (fig.11,p.28) de la distribution des stations dans l'espace des axes 1 et 2 permet de formuler les conclusions suivantes :

- les stations situées dans les retenues (20-22-23) s'opposent aux stations placées en faciès lotique;
- certaines stations situées à l'aval des retenues (13 et à un degré moindre la station 24) se retrouvent isolées;
- les stations 26 et 27, bien colonisées et à composition systéma-

tique originale s'opposent aux stations situées sur le Haut et le Moyen-Verdon (3-4-6-8-9 et 14).

Une partie des originalités constatées lors de l'examen qualitatif et quantitatif des substrats artificiels se trouve donc confirmée par ce traitement mathématique.

En définitive, sur le cours du Verdon, l'intensité de la colonisation des substrats par les Diatomées du périphyton est liée :

- à la présence de matières en suspension dans le Haut-Verdon en période de crue. La turbidité entraîne une diminution de la colonisation par colmatage des substrats et diminution de la pénétration de la lumière.
- à la présence d'éléments nutritifs dans le Bas-Verdon. L'enrichissement en sels nutritifs et en matières organiques provoque une augmentation de l'intensité de la colonisation. Ce phénomène est accentué par la diminution du pouvoir diluant du cours d'eau consécutive à la réduction de son débit.
- aux caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la rivière en aval des barrages.

A l'aval de la retenue de la Chaudanne, la colonisation très réduite correspond à un débit soumis à de fortes variations quotidiennes. Ce dépeuplement partiel peut s'expliquer par l'instabilité des substrats.

Dans le tronçon de Verdon court-circuité situé à l'aval du barrage de Gréoux, les populations périphytiques sont peu denses. Les causes principales semblent en être la faiblesse et la constance de la valeur du débit réservé mais aussi la fraîcheur des eaux de restitution tout au long de l'année.

En conclusion l'utilisation des Diatomées périphytiques s'est révélée plus efficace que les indices biotiques pour déterminer l'influence de l'implantation des aménagements hydro-électriques sur le Verdon. Cependant, il est difficile de délimiter des groupes de stations à fort coefficient de similitude correspondant aux secteurs du Verdon séparés par les retenues.

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	24	25	26	27
ESPECES																					
<i>Achnanthes lanceolata</i> Gréb.		7,9	3,5	+	+	46,7	20,3	17,8	13,2	23,9	12,8							71,3		60,8	75,4
<i>Achnanthes minutissima</i> Kütz																				21,8	+
<i>Amphioxys ovata</i> var. <i>pediculus</i> Kütz																					
<i>Amphioxys pellucida</i> Kütz																					
<i>Anomoeoneis folia</i> (Fhr.) Cleve																					
<i>Cocconeis acuta</i> Kütz																					
<i>Cocconeis placens</i> var. <i>auglypta</i> (Fhr.) Cleve																					
<i>Cocconeis pediculus</i> Fhr.																					
<i>Cyclotella kützingeriana</i> (Fhr.) Grun																					
<i>Cyclotella kützingeriana</i> (Fhr.) Grun																					
<i>Cymbella affinis</i> Kütz																					
<i>Cymbella crenata</i> (Fhr.) Grun																					
<i>Cymbella delicatula</i> Kütz																					
<i>Cymbella micronephala</i> Grun																					
<i>Cymbella pinnata</i> (Fhr.) Grun																					
<i>Cymbella sinuata</i> de. <i>ovata</i> Hunt																					
<i>Cymbella ventricosa</i> Kütz																					
<i>Denticula tenuis</i> var. <i>caesaria</i> (Neapel) Hunt																					
<i>Diatoma vulgare</i> Rory																					
<i>Diatoma tenuis</i> Ag.																					
<i>Diploneis ovalis</i> (Hilse) Cleve																					
<i>Frugilicaria caetomena</i> Kitzon																					
<i>Frugilicaria pinnata</i> Fhr.																					
<i>Gomphonema bohemicum</i> Reich. et Fritsch																					
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Lyngby) Kütz																					
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>caesaria</i> Cleve																					
<i>Gomphonema petiolatum</i> Kütz																					
<i>Navicula gracilis</i> Fhr.																					
<i>Navicula cyrtocarpa</i> Kütz																					
<i>Nitzschia amphibia</i> Grun																					
<i>Nitzschia diadema</i> (Kütz) Grun																					
<i>Nitzschia tonens</i> Grun																					
<i>Nitzschia curvata</i> (Kütz) Grun																					
<i>Synedra acuta</i> Kütz																					
<i>Synedra nupena</i> var. <i>flagellatoides</i> (Kütz) Grun																					
<i>Synedra alba</i> (Nitzsch) Fhr.																					
<i>Synedra vaucheriae</i> Kütz																					
<i>Synedra ovalis</i> Kütz																					
Nombre total de cellules par cm² (x10³)	8	137	10	21	21	21	21	766	772	271		26	26	837	1594	318		115		2839	10070
Diversité spécifique D'	2,02	2,39	2,25	2,55	2,55	2,59	1,93	1,26	2,24	1,54	1,59	1,46	2,05	0,86	2,23	2,57	2,35	1,61		1,80	2,56

Figure 7 - Fréquence relative, densités cellulaires et diversité des espèces de diatomées sur substrats naturels(+) et sur lames de verre. Le signe + indique que l'espèce représentée moins de 1% des diatomées comptées. Seules les espèces rencontrées au moins deux fois sont mentionnées sur ce tableau.

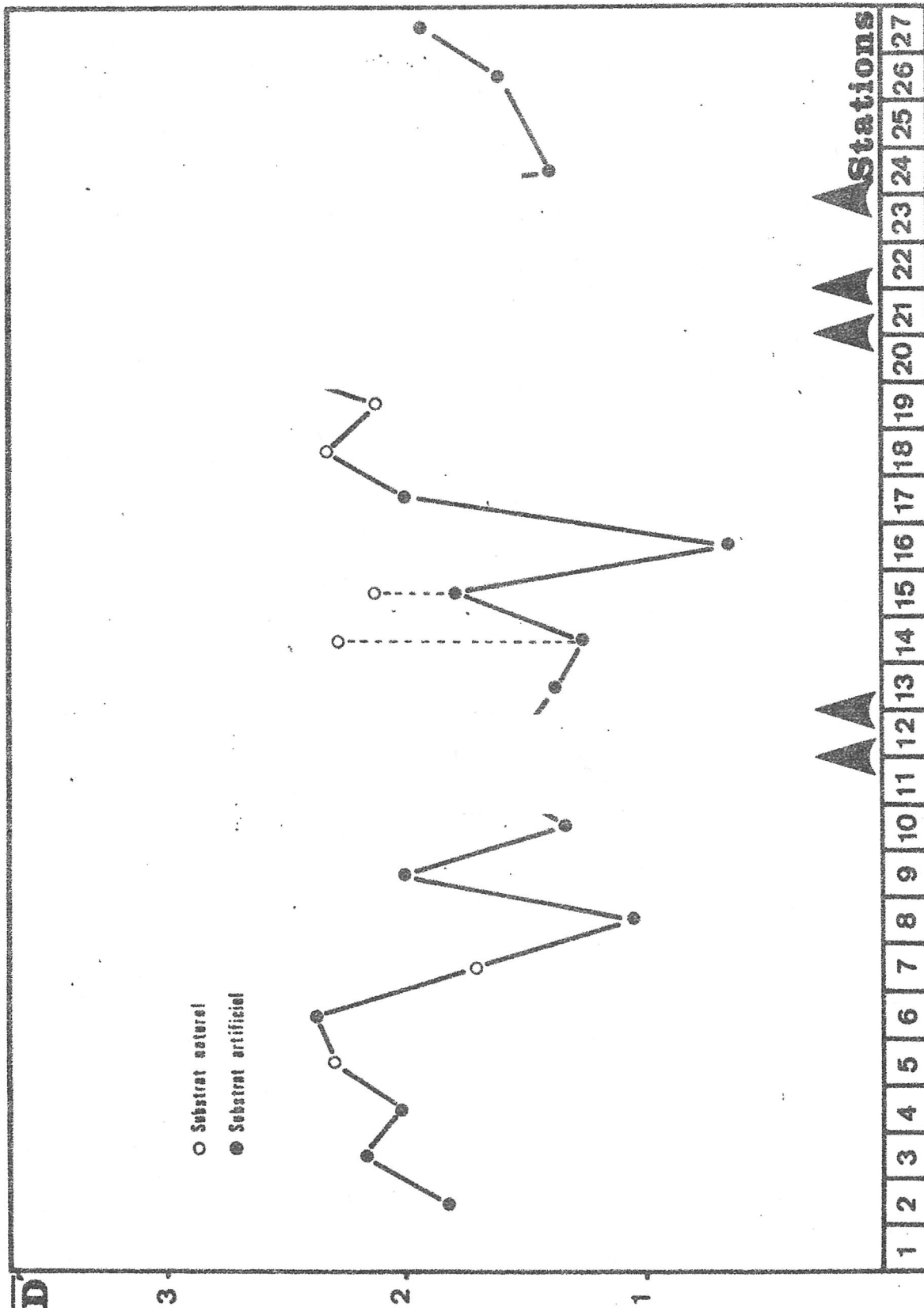


Figure 8 : Variation de la diversité spécifique des Diatomées le long du Verdon. Les flèches correspondent à l'emplacement des barrages.

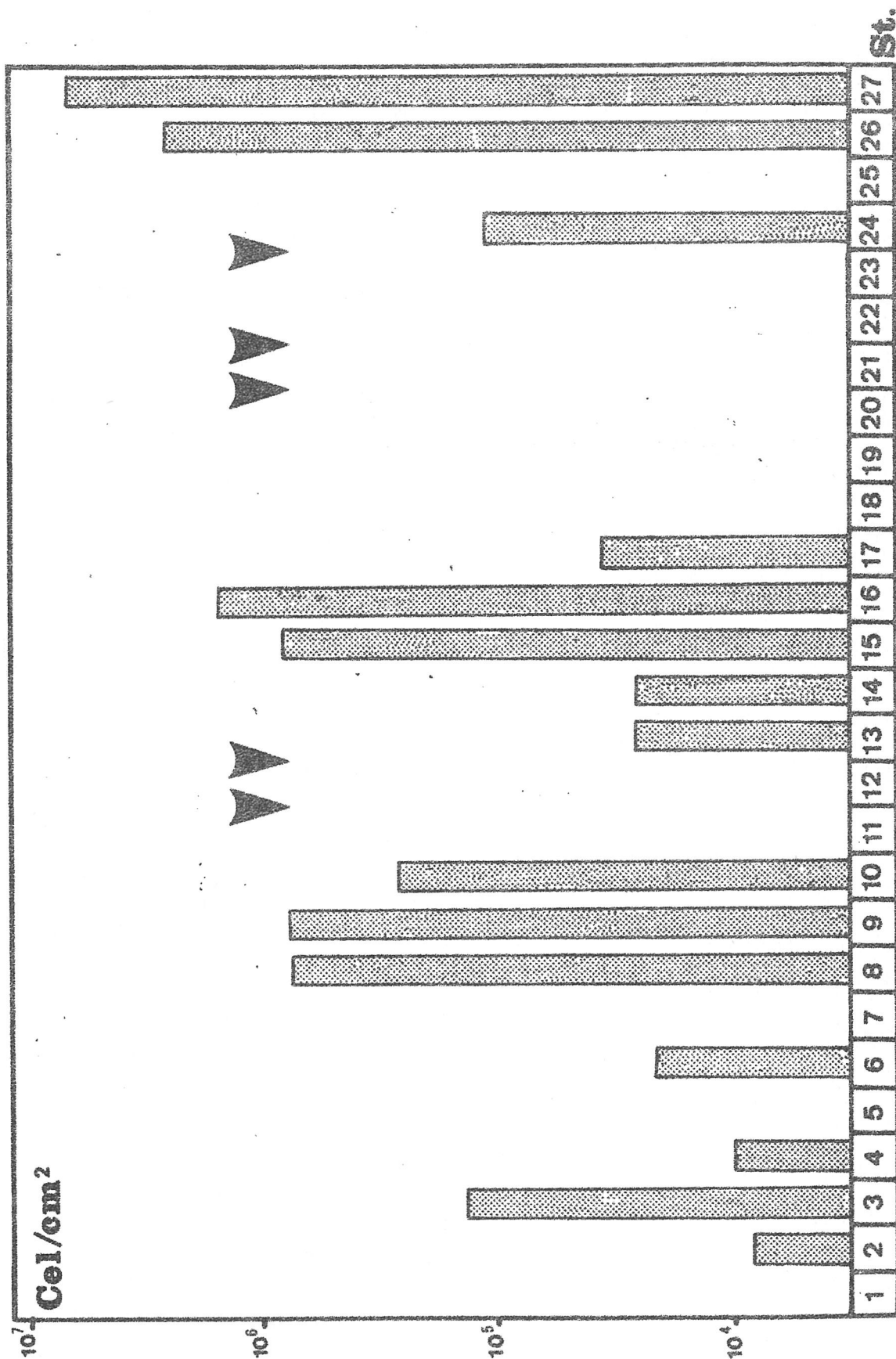


Figure 9 : Variation de l'intensité de colonisation, par les cellules (C el.) de Diatomées, des lames immergées dans les différentes stations (St.). Les flèches correspondent à l'emplacement des barrages.

	λ	% inertie	inertie cumulée
Axe 1	0,307	19,81	19,81
Axe 2	0,259	16,69	36,49
Axe 3	0,157	10,14	46,63

Figure 10 - Valeurs propres, taux d'inertie et inertie cumulée pour les trois premiers axes.

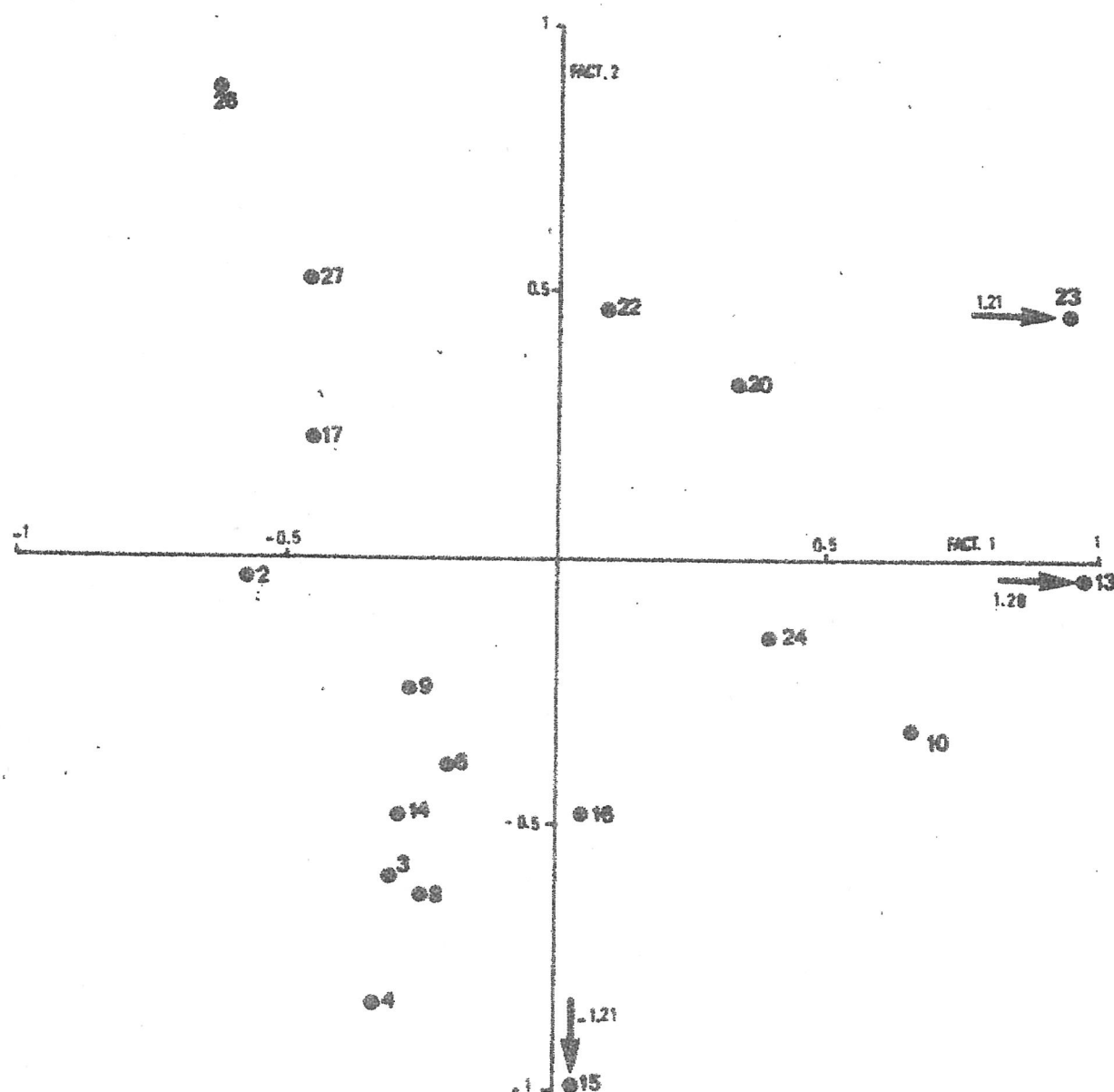


Figure 11 - Analyse factorielle des correspondances sur les données relatives au peuplement des Diatomées. Représentation des stations dans le plan des deux premiers axes d'inertie.

2.14-Les éphémères

2.141 - Inventaire et répartition (figure 12 p.31)

L'examen de la figure 12 nous permet de constater que plus de la moitié des espèces assurent seulement une part minime du peuplement (11 espèces sur 19) les 8 autres espèces développent par contre des populations nombreuses mais souvent inégalement réparties sur le cours du Verdon :

- Baetis rhodani, espèce à large spectre écologique et Ecdyonurus forcipula, espèce torrenticole ont colonisé les 3 secteurs de la rivière. C'est également le cas pour 3 espèces moins abondantes Caenis moesta, Paraleptophlebia submarginata et Ephemerella ignita
- Baetis alpinus et B.melanonyx espèces torrenticoles trouvées habituellement dans les milieux de bonne qualité sont absentes du Moyen et du Bas-Verdon.
- Rhithrogena semicolorata, Epeorus torrenticum, Baetis sinaicus B.vernus colonisent uniquement le Haut et le Moyen-Verdon.
- Potamenthus luteus et Heptagenia sulfurea espèces polluo-résistantes sont cantonnées dans le Bas-Verdon. Caenis moesta commune des milieux riches en matières organiques et Baetis rhodani prolifèrent dans ce même secteur.

La pullulation d'Ephemerella ignita et Baetis rhodani immédiatement en aval de la "Source Salée" (Moyen-Verdon) confirme l'existence d'une légère pollution à ce niveau.

2.142 - Structure des populations (Diversité spécifique D' Margalef, 1960) figure 13, p.32)

Les valeurs de D' évoluent de 0,88 à 2,8 soit des valeurs très semblables à celles enregistrées dans le cas du périphyton.

Les populations d'éphémères sont encore peu diversifiées près de la source et au niveau des aménagements touristiques d'Allos (st.1 à 5). A partir de Thorame et jusqu'au lac de

Castillon (st.6 à 10) la diversité spécifique est relativement élevée.

En aval du barrage de la Chaudanne, la diversité est plus faible qu'à Saint-André, en amont de la retenue de Castillon (2,03 contre 2,58). Elle baisse encore en aval de la Source Salée où l'on a constaté la dominance d'Ephemerella ignita et Baetis rhodani (1,42) puis dépasse 2, le plus souvent, jusqu'à la retenue de Sainte-Croix.

La diversité spécifique diminue brusquement à la station 24, en aval du barrage de Gréoux avec la dominance de Baetis rhodani. Elle est peu élevée dans le Bas-Verdon avec la dominance des espèces communes aux milieux riches en matières organiques.

2.143 - Regroupement des stations. Pourcentage de similitude de Whittaker et Fairbank (1958)

On peut distinguer 5 groupes de stations :

- 1 - les stations du Haut-Verdon
- 2 - les stations des Grandes Gorges
- 3 - les 2 stations du Moyen-Verdon soumises à une légère pollution en provenance de la Source Salée et des ordures de Castellane.
- 4 - les stations du Bas-Verdon sous l'influence du débit réservé
- 5 - la dernière station du Bas-Verdon en aval du confluent du Canal E.D.F.

L'utilisation du pourcentage de similitude sur les éphémères permet ainsi de mettre en évidence l'impact de l'installation des barrages puisque les trois tronçons de la rivière apparaissent dans 3 groupements différents. Cette méthode montre également l'impact du débit réservé dans le Bas-Verdon et celle de la pollution chimique dans un secteur du Moyen-Verdon.

2.144 - Conclusion

Parmi la vingtaine d'espèces inventoriées, les espèces torrenticoles sont cantonnées dans le Haut et le Moyen-Verdon. 5 espèces à large spectre biologique colonisent tout le cours de la rivière. Les espèces polluo-résistantes apparaissent dans le Bas-Verdon. Les barrages n'affectent pas notablement la diversité,

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	18	19	24	25	26	27
<u>Paraleptophlebia submarginata</u>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	6	2	2	
<u>Centroptilum luteolum</u>													2	1	1	1	1	5	1	1	
<u>Ephemera denica</u>													1	1	1	1	1				
<u>Chloeon simuli</u>												1	1	1	1	18	9	1		14	
<u>Ephemerella ignita</u>							1	1	1	1	12	232	126	12	12	8	8	10	8	4	17
<u>Oligoneuriella rhenana</u>							1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	5	6	8	42	165
<u>Caenis moesta</u>							1	1	1	1	3		6	6	4	1					
<u>Epeorus torrenticum</u>	1	1	5	1	1		5	2	2	9											
<u>Rhitrogena semicolorata</u>	461	91	55	201	45	125	110	130	65		3		3	58	49	20	18				
<u>Ecdyonurus forcipula</u>	1	2	5	2	5	3	7	31	35		104	2	9	140	295	510	112	10	8	10	
<u>Baetis melononyx</u>	153	93	1	1	2	1															
<u>Baetis sincirus</u>						1	2	1	1	5	3	2	11	4	5	3		2	45	7	
<u>Baetis luthuri</u>											20	25	150	5	5	26	5				
<u>Baetis muticus</u>	1	1	1	1	3	1			7		1	1	1	1	9	7	5	1			
<u>Baetis vernus</u>														13		29					
<u>Baetis alpinus</u>	19	12	105	138	20	30	21	27	21		69	160	158	45	36	19	11	192	5	500	10
<u>Baetis rhodani</u>	1	1	10	5	27	10	9	10	6												
<u>Heptagenia sulfurea</u>																					
<u>Potamanthus luteus</u>																			1		2

Figure 12 - Nombre moyen de larves d'Ephemères par mètre carré dans les stations des Haut, Moyen et Bas-Verdon, sur des prélèvements effectués aux quatre saisons.

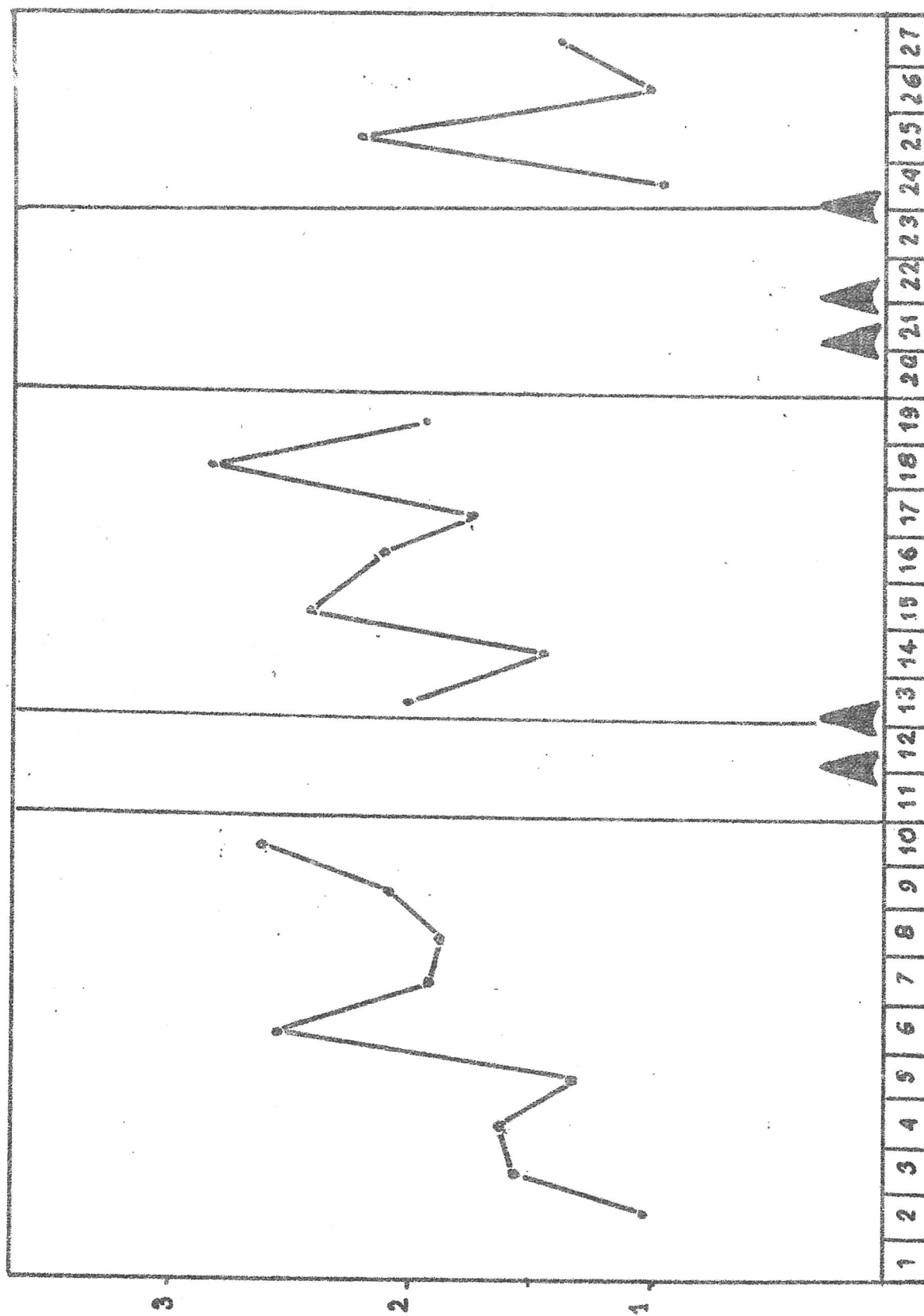


Figure 13 - Variation de la diversité spécifique des larves d'Ephémères le long du Verdon. Les flèches correspondent à l'emplacement des barrages.

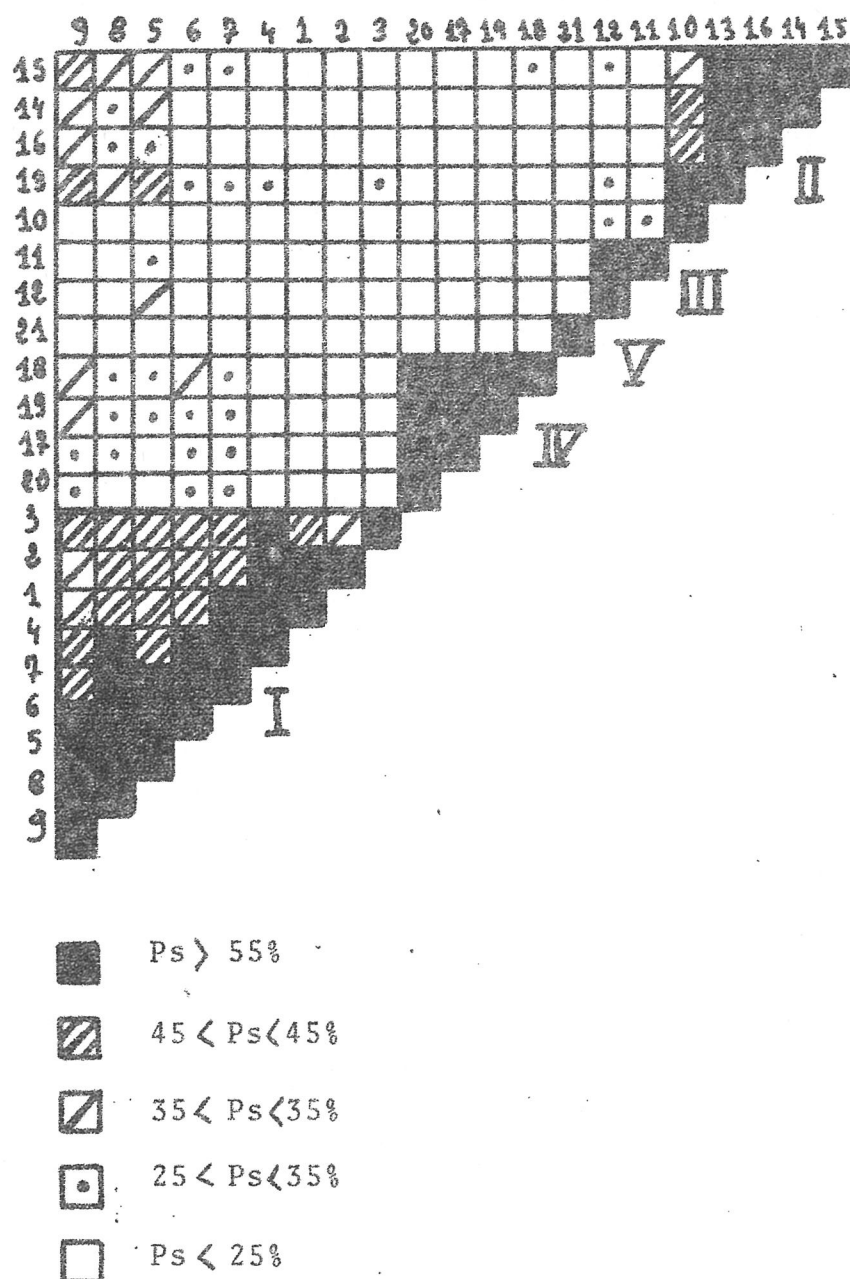


Figure 14 - Pourcentage de similitude des stations du Verdon
(matrice de Whittaker et Fairbank)

- 1 : stations du Haut-Verdon
- 2 : stations des Grandes Gorges
- 3 : 2 stations du Moyen-Verdon soumises à une légère pollution
(Source Salée, ordures de Castellane)
- 4 : stations du Bas-Verdon sous l'influence du débit réservé
- 5 : dernière station du Bas-Verdon en aval du confluent du
Canal EDF.

par contre ils diminuent la biomasse.

Le régime des éclusées en aval de Chaudanne permet le maintien en place d'individus peu nombreux de toutes les espèces dans les habitats les mieux protégés des variations du courant. Mais la majorité des individus appartenant également à toutes les espèces sont éliminés des habitats plus exposés.

Un débit réservé très faible comme celui d'août 1979 affecte à la fois la biomasse et la diversité.

2.15 - Répartition des Hydracariens (figure 15 p.37)

Bien que la faune hydracarienne soit assez peu développée, même dans la partie non transformée du Verdon avec 11 espèces recensées et, au maximum, une dizaine d'individus au mètre carré, il est possible de faire plusieurs remarques :

- 3 espèces sont rhéophiles. La plus rhéophile se cantonne dans le Haut-Verdon, de la source à la station 13, au pied du barrage de la Chaudanne (Calonix brevipalpis). Les deux autres occupent le Haut et le Moyen-Verdon, de la source à la station 24, au pied du barrage de Gréoux (Sperchon denticulatus et Atractides nodipalpis).
- 2 espèces à très large répartition colonisent le cours d'eau de sa source au confluent avec la Durance (Lebertia violacea, L. maglisi).
- Un groupe de 5 espèces limnophiles manifeste sa présence en queue du Seuil de Gréoux, où le courant est affaibli, et nulle part ailleurs (Hydrobates fluviatilis, H. calliger, H. trigonicus, Aturus xitulus, Lemnesia sp.).
- Une dernière espèce, caractéristique du pourtour méditerranéen peuple la deuxième moitié du Moyen-Verdon et la partie supérieure du Bas-Verdon (Torrenticola lativalvata).

Ainsi le nombre d'espèces peu élevé demeure constant dans tout le Haut et le Moyen-Verdon. En particulier, il se maintient aux stations 13 et 24 situées au pied des barrages de la Chaudanne et de Gréoux. Puis, dans le Bas-Verdon il augmente localement au niveau du Seuil de Gréoux. Après Vinon, les Hydracariens sont très mal représentés.

Le fait le plus remarquable est qu'en aval des 4 gravières les plus importantes, qu'elles soient localisées dans un secteur de la rivière où dans un autre, on assiste à la disparition complète des Hydracariens sur une distance de 1 à 2 km. Des particules de granulométrie fine colmatent les interstices du substrat où se localisent normalement les Hydracariens.

L'implantation des deux ensembles de barrage (Castillon, la Chaudanne et Sainte-Croix, Quinson, Gréoux) n'ont donc pas affecté la répartition des espèces rhéophiles que l'on retrouve en aval, ni celle de l'espèce circumméditerranéenne qui s'est maintenue dans la partie inférieure du Moyen-Verdon.

Les Hydracariens capables de pénétrer dans le sous-écoulement résistent bien aux éclusées pratiquées à la Chaudanne et aux débits réservés laissés en aval de Gréoux.

2.16. Le zooplancton (figure 16 p.38)

On peut regrouper les 13 espèces zooplanctoniques récoltées dans le Verdon en août 1979 pendant la période de très faible débit, en 3 catégories :

- La première, constituée par 1 seule espèce ubiquiste qui colonise plusieurs stations appartenant aux 3 secteurs (Acanthocyclops robustus)

- La deuxième comprend des espèces connues du sous-écoulement des rivières et qui n'ont pas été récoltées dans les lacs de retenue. On y distingue 3 Cyclopidés (Eucyclops serrulatus, Macrocylops albidus et Paracyclops fimbriatus); 2 Harpacticidés (Canthocamptus staphylinus, Attheyella sp.) et 1 sp.d'Ostracode . On rencontre E.serrulatus et M.albidus à l'aval de la Chaudanne et toutes les sp. de cette catégorie dans le Bas-Verdon où le débit est particulièrement faible.

- La troisième concerne des espèces abondantes dans les retenues et qui survivent au turbinage. Il s'agit du Cyclopidé Cyclops vicinus des Cladocères Daphnia hyalina, Biapertura affinis et Chydorus sphaericus.

Les espèces de cette troisième catégorie fournissent des effectifs importants en particulier en aval de la Chaudanne, jusqu'après les gravières de Castellane (st.13,14 et 15) à la suite de chaque éclusée.

Les Daphnies peuvent alors constituer un apport de nourriture non négligeable pour les jeunes truites.

Entraînés par le courant, les Cladocères et les Copépodes peuvent se développer dans les secteurs lenticulaires éloignés des barrages. L'essor du zooplancton est plus net dans le cas d'un débit réservé exceptionnellement bas.

Les Gammarus, rares ou absents dans le Verdon naturel prennent un essor remarquable en aval des retenues soumises à éclusées et débit réservé.

2.17 - La vidange decennale de la Chaudanne (figure 17, p.39)

Tous les 10 ans E.D.F. vide les retenues pour inspecter l'état des barrages (cette pratique tend à être remplacée par un contrôle en soucoupe plongeante). Ainsi, la retenue de Castillon a été vidée en 1971, sans qu'une étude ait pu en évaluer les conséquences. Au contraire, lors de la vidange de la Chaudanne, en octobre 1974, Grégoire (1975) a étudié les effets de cette vidange sur la retenue et sur la rivière en aval, tant du point de vue chimique que biologique. Sans revenir sur les détails de cette étude, il semble nécessaire d'en tirer les principaux enseignements, d'autant plus qu'il s'agit, en fait, d'une super éclusée.

Les effets immédiats ont été très importants. La pollution s'est surtout manifestée par de très fortes concentrations en matières en suspension (jusqu'à 20 g/l) qui ont formé un écran à la dissolution de l'oxygène de l'air dans l'eau, d'où une désoxygénation totale de l'eau immédiatement en aval du barrage.

La conséquence de ce phénomène sur la faune est apparue de façon spectaculaire au niveau des poissons qui ont péri en grand nombre dans la zone la plus polluée. L'onde de pollution

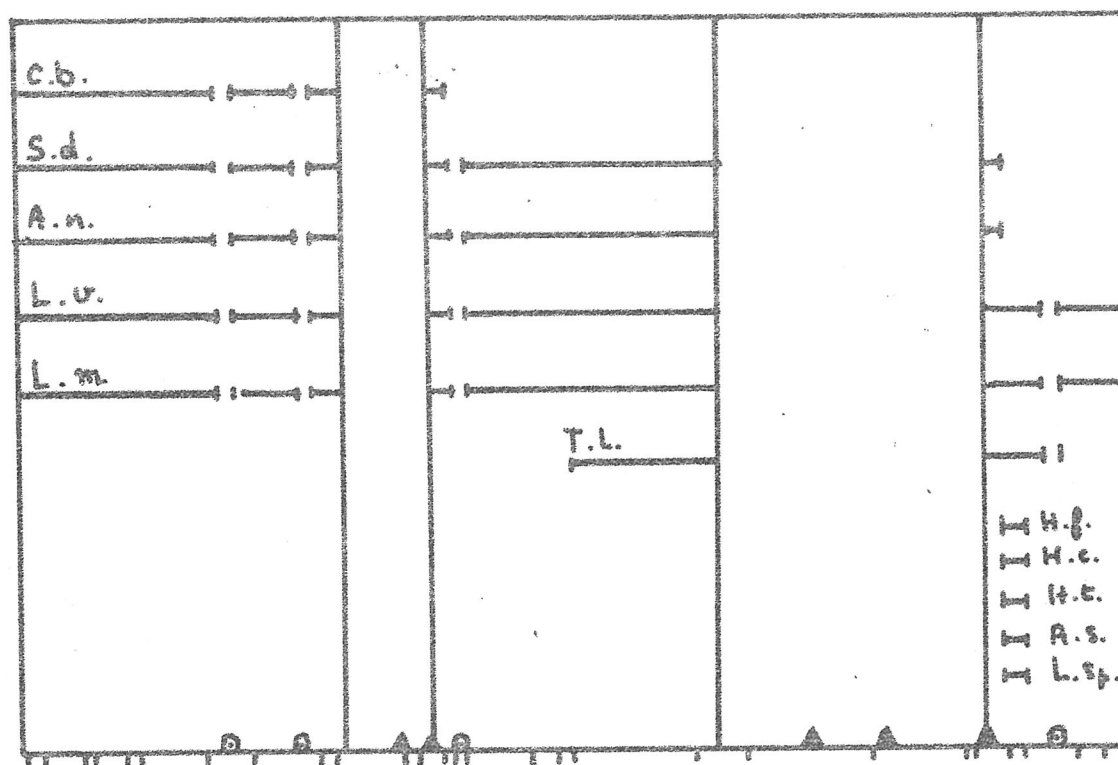


Figure 15 - Répartition des Hydracariens

A noter: - l'absence d'impact des retenues

- l'élimination au niveau des gravières (A)

- Cb : Calonyx brevipalpis
- Sd : Sperchon denticulatus
- An : Atractides nodipalpis
- Lv : Lebertia violacea
- Lm : Lebertia maglioi
- Tl : Torrenticola lativalvata
- Hf : Hygrobates fluviatilis
- Hc : Hygrobates calliger
- Ht : Hygrobates trigonicus
- As : Aturus scitulus
- L sp : Limnesia sp.

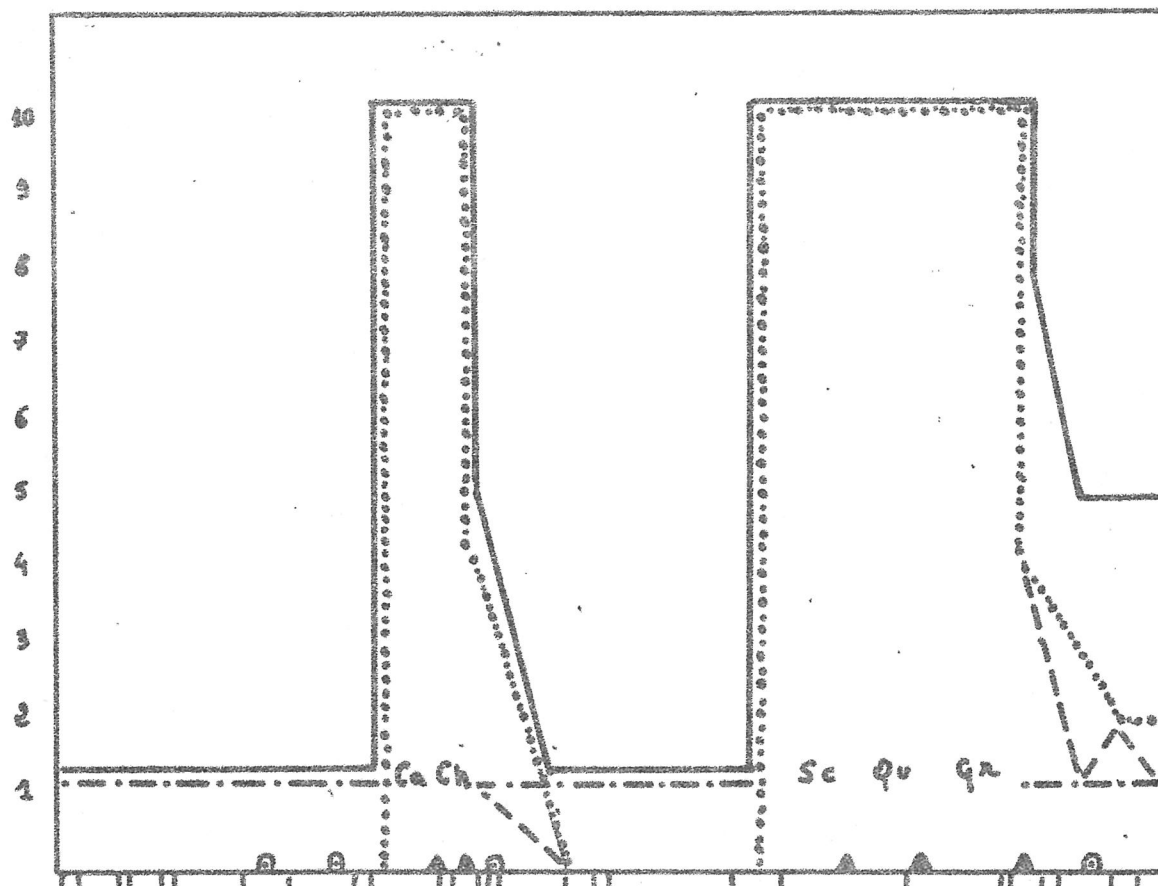


Figure 16 - Répartition du zooplancton sur le cours du Verdon en août 1979.

- , — espèces colonisant tout le Verdon (Eucyclops serrulatus)
 - espèces provenant des lacs de barrage
 - - - - espèces des stations d'eau calme du Verdon
- Le nombre d'espèces augmente en aval des barrages. Il s'agit d'espèces des retenues qui fournissent l'essentiel des effectifs et d'espèces dont l'essor résulte du faible débit.
- total des espèces récoltées.

Stations		1	2	3	4	5 am.	5 av.	6	7	8	9	10
Paramètres												
pH	a	8,8	8,8	8,1	8,1	7,9	8,1	7,9	8,0	7,9	7,9	8,0
	b		8,3	8,2	8,2	7,9	8,1	7,7	7,9	7,9	7	7,9
	c	8,6	8,2	7,9	8,0	8,1	8,0	7,8	8,0	8,0	8,1	8,0
C ₂₀ mhos/cm 10 ⁻⁶	a	350	350	620	595	430	325	350	310	345	380	505
	b		395	780	710	360	340	365	325	340	410	480
	c	300	410	855	815	390	330	370	355	345	430	430
Matières en sus- pension mg/l	a	2	2	8	2	1,7	2,8	10	0,9	0,7	5,6	2,1
	b		20.000	7770	5600	2,15	5	1,6	0,3	11	8,1	5
	c	4	17	12	35	3,3	3	3	1,2	0,7	1,4	2
Oxydabilité KMnO ₄ à froid en 4 h mg/l O ₂	a	0,05	0,05	0,25	0,10	0,50	0,75	0,25	0,70	0,45	0,55	0,35
	b		0,55	0,55	2,70	0,35	0,40	0,25	0,35	0,15	0,40	0,40
	c	0,20	0,10	0,20	0,20	0,30	0,30	0,20	0,35	0,20	0,35	0,50
O ₂ % saturation	a	75	78	80	82	80	75	116	85	100	100	95
	b		20	70	69	70	70	80	90	110	110	90
	c	80	75	70	75	75	80	90	90	110	95	85

a : mesures faites avant la vidange, le 3/9/74

b : mesures faites pendant la vidange, le 11/10/74

c : mesures faites après la vidange, le 24/10/74

1 retenue de la Chaudanne, 2 : Castellane, 3 : Chasteuil (amont Jabron)
4 Point Sublime (aval Jabron), 5 am : retenue de Ste Croix amont,
5 av : retenue de Ste Croix aval, 6 : gorges de Beaudinard,
7 retenue de Gréoux, 8 : Gréoux (Verdon en amont seuil de Gréoux),
9 seuil de Gréoux, 10 : Vinon.

Figure 17 - Evolution des facteurs physico-chimiques dans les stations du Verdon à la suite de la vidange de la Chaudanne.

n'a pas dépassé la queue de la retenue de Sainte-Croix qui a servi de barrière.

Comme pour le Verdon aval, en ce qui concerne le lac artificiel de la Chaudanne lui-même, c'est surtout la faune ichtyologique qui a été la plus touchée par la vidange : 1,5 tonne de poissons (surtout perches et gardons) ont péri asphixiés dans une vasque au pied du barrage.

Les analyses chimiques et biologiques effectuées 1 mois après ont décelé des paramètres physico-chimiques normaux dans l'eau et un peuplement identique en poissons et en invertébrés, exception faite de la station située la plus en amont où la micro-faune est réapparue seulement 8 mois après.

Par contre, les particules d'argile (70% de la vase à la Chaudanne) chargées en CO_3Ca ont formé un revêtement cimenté qui recouvre encore maintenant les graviers et les blocs dans le lit et sur les rives du Verdon. Les derniers kilomètres des Grandes Gorges près de la queue de Sainte-Croix sont les plus touchés par ce colmatage qui paraît irréversible.

2.2 - Conclusions : influence des aménagements

L'effet des barrages s'étend sur plusieurs kilomètres. Son étude nécessite de ce fait la prise en compte de nombreuses stations successives.

D'une façon générale la flore et la faune caractéristique du rhithron sont appauvries en aval des retenues. Rhéophile, cette biocénose est sensible à la baisse du courant consécutive à l'application de débits réservés trop faibles mais aussi à son augmentation brutale en régime d'éclusées.

Les effets sont inégaux sur les différents groupes étudiés. Les Hydracariens capables de migrer dans le sous-écoulement se maintiennent au pied des barrages. Au contraire la biomasse des larves d'Ephémères est plus faible après les retenues. Leur diversité n'est affectée que dans des conditions extrêmement faibles de débit.

L'essor des Diatomées du périphyton est contrarié en aval des barrages pour 3 raisons essentielles : la fraîcheur des eaux de restitution, la faiblesse du débit réservé et ses fortes variations quotidiennes qui peuvent entraîner l'instabilité des substrats. Diversité et biomasse sont également affectées.

Une vitesse du courant plus basse profite au contraire aux groupes limnophiles comme les Gammare, les Ostracodes, les Copépodes et les Cladocères.

L'influence des aménagements du Verdon n'est pas détectée par la méthode globale des Indices Biotiques qui ne va pas jusqu'à la détermination des espèces.

D - INFLUENCE DU MARNAGE SUR LES RETENUES

1. CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES

La figure 18, p.44 mentionne les caractéristiques particulières des cinq retenues du Verdon et de Serre-Ponçon relatives aux 22 paramètres considérés dans la littérature comme déterminant le fonctionnement des retenues artificielles. Parmi ces paramètres, le marnage, c'est-à-dire la baisse de niveau qui résulte dans notre région du déficit d'alimentation en eau durant l'hiver par suite de son stockage sous forme de neige. Ces 22 paramètres ont permis d'établir une typologie des 175 retenues artificielles existant en France (Collomb G., Grégoire A., et Champeau A., 1979), après traitement mathématique comprenant :

- une analyse en composantes principales normées
- une analyse des correspondances multiples
- une classification automatique

7 types de retenues ont ainsi été définis. Il est intéressant de constater que les 6 retenues considérées dans cette étude appartiennent seulement à deux de ces 7 types.

- Dans le type 4 on trouve 3 retenues à fort marnage hivernal. Sur 19 bassins appartenant à ce type, Castillon occupe le 10ème rang, Serre-Ponçon le 12ème (ces 2 retenues où le marnage atteint en fait 40 m sont très proches l'une de l'autre) Sainte-Croix, le 17ème (marnage 16 m).

- Dans le type 6 on trouve les 3 retenues où le marnage est le plus faible. Sur 58 bassins appartenant à ce type, la Chaudanne (14m de marnage) occupe le 19ème rang, Quinson (5m de marnage) le 43ème rang, Gréoux (1m,50 de marnage) le 51ème rang.

2. INFLUENCE DU MARNAGE SUR LA VIE PELAGIQUE

2.1. Paramètres étudiés

2.11 - Milieu abiotique (figures 21,22,23 p.47,48 et 49)

Nous avons retenu les valeurs moyennes pour les 17 paramètres mesurés et les profils surface-fond les plus représentatifs qui permettent de caractériser le type de circulation et le niveau trophique des lacs de retenues du Verdon.

2.111 - Le temps de renouvellement des eaux (figures 19 et 20 p.45 et 46)

Le débit des affluents et la capacité des retenues permettent d'établir le temps de renouvellement théorique des eaux. Sur le Verdon, il est très dépendant de la capacité. C'est ainsi que les plus petites retenues ont un temps de renouvellement de quelques jours, les plus grandes d'une 1/2 année.

Mais, pour un même temps de renouvellement théorique, le temps de renouvellement réel varie souvent d'un lac à l'autre en fonction du type d'utilisation. Ainsi, dans les lacs de la Chaudanne et de Quinson utilisés comme bassins de compensation, les temps de renouvellement sont très rapides. Pour un même lac le temps de renouvellement réel dépend du débit saisonnier des affluents et des besoins quotidiens de la production électrique.

En hiver à Castillon et Sainte-Croix, l'eau est peu renouvelée. Le turbinage se traduit alors par une baisse de niveau ou marnage dont l'effet sur le volume d'eau stockée est considérable comme le montrent les figures 19 et 20.

Ainsi la capacité est réduite de :

77% à Castillon où elle passe de 150Mm3 à 35 avec 35 m de marnage	
59% à Ste-Croix "	873Mm3 à 361 avec 20 m "
59% à la Chaudanne "	18Mm3 à 7,5 avec 14 m "

2.112 - La circulation annuelle

Les exemples de profils thermiques d'été et d'hiver figurés p.48 et 49 montrent que les 3 lacs les plus grands, marnés ou non, sont monomictiques de deuxième ordre. On retrouve exactement cette situation à la Chaudanne et Quinson où, malgré la grande vitesse du renouvellement des eaux, il existe une stratification estivale. La thermocline située entre 10 et 20 mètres sépare nettement un épilimnion et un hypolimnion. On a déjà insisté sur l'importance des eaux froides de l'hypolimnion dans la vie du cours d'eau. Au contraire, les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau sont homogènes de la surface au fond durant toute la saison froide.

La provision calorifique, qui traduit la différence de température des eaux entre l'hiver et l'été, augmente avec l'altitude des retenues (figure 21 p.47). Les eaux sont plus froides en hiver à Castillon qu'à Sainte Croix et Gréoux.

2.113 - Le niveau d'eutrophie

Les valeurs des principaux paramètres physiques et chimiques relevés dans les 5 lacs du Verdon permettent de les classer tous parmi les lacs oligotrophes, indépendamment de l'importance du marnage (d'après diverses classifications des

	CASTILLON	CHAUDANNE	Ste-CROIX	QUINSON	GREUX	SERRE-PONCON
1	655	685	1591	1661	1820	3580
2	55	57	109	121	135	75
3	1	1	1	1	1	1
4	54	54	54	54	55	54
5	5	5	5	5	5	5
6	830	790	477	404	359	780
7	95	68,7	83	50	54	115
8	200	65	2182	170	329	2894
9	3300	3300	3300	3300	102	1
10	149	16	873	20	80	1272
11	35	14	20	5	1,5	58
12	15,2	12,7	31,7	33,6	36	77
13	112	7	28	7	27	155
14	50	17	64	26	19	115
15	11	8	301	8	4,8	1050
16	4	2,3	4,3	2,3	2,3	4
17	12	12	12	1	12	12
18	76	47	210	105	55	317
19	68	28	94	44	32	360
20	-	-	-	-	-	-
21	82	65	162	100	130	700
22	31	26	3	5	12	19

Figure 18 - Caractéristiques des retenues du Verdon et de Serre-Ponçon

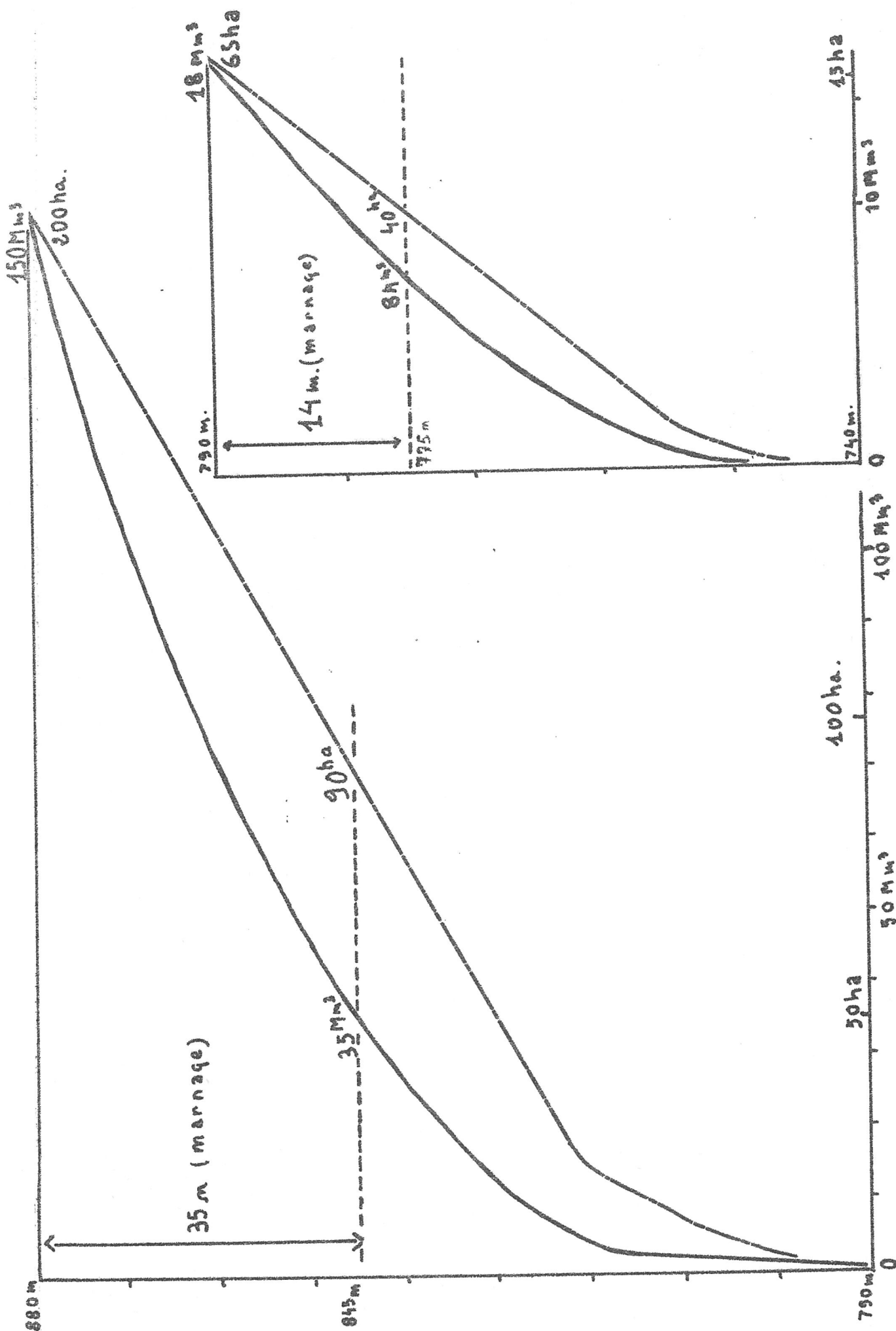


Figure 19 - Courbes de capacité (—) et de surface du plan d'eau (---) des lacs de barrages de Castillon et la Chaudanne.

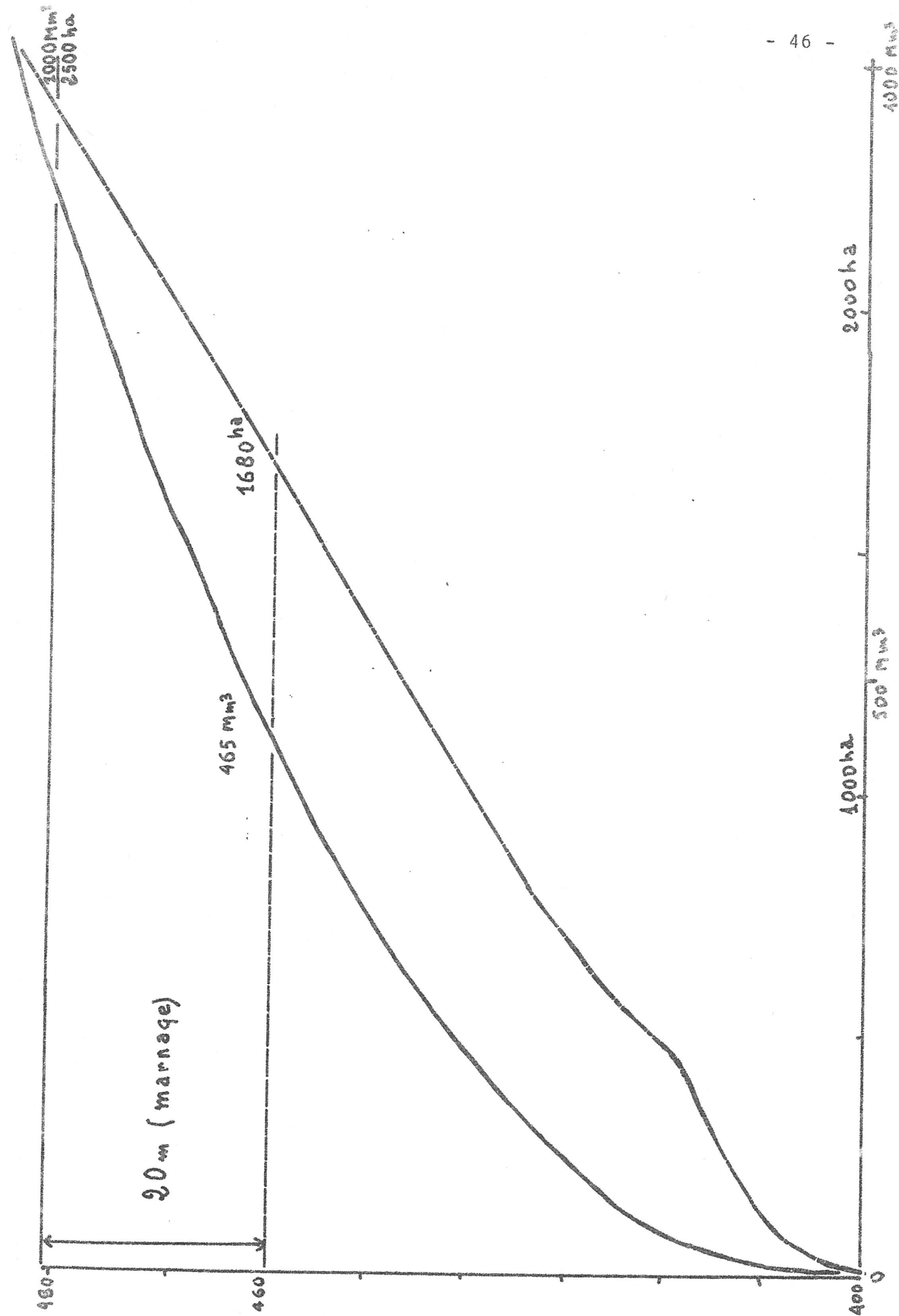


Figure 10 - Courbes de capacité (---) et de surface du plan d'eau (—) du lac de barrage de Sainte-Croix.

Transparence en m.	4	4	6	6	4,8	
pH en unités pH	8	7,9	8	8	8	
Conductivité en mhos/cm/cm ²	230	231	347	357	340	
Provision calorifique en cal/cm ²	110.10 ³	110.10 ³	70.10 ³	30.10 ³	40.10 ³	
Déficit relatif en O ₂	4,5	4,5	14,3	6,7	24,4	
Oxydabilité en mg/l d'O ₂	1	1	1	1	1	
Matières en suspension en mg/l	2,8	5,1	1,6	2,4	1,6	
Ca ⁺⁺ en mg/l	50	52	58	61	58	
Mg ⁺⁺ en mg/l	2,6	2,7	4,8	5,5	4,8	
HCO ₃ ⁻ en mg/l	153	157	172	184	178	
Cl ⁻ en mg/l	4	4	38	35	30	
Na ⁺ en mg/l	1,3	1,5	21,9	20,3	14,1	
K ⁺ en mg/l	0,6	0,5	1,4	1,5	1,2	
SO ₄ ⁼ en mg/l	11	12	25	23	21	
NO ₃ ⁻ en mg/l	0,3	0,3	0,3	0,1	0,3	
NO ₂ ⁻ en mg/l	traces	traces	traces	traces	traces	
PO ₄ ⁼ en mg/l	0,02	0,03	0,02	0,01	0,03	

Figure 21 - Principales caractéristiques physiques et chimiques des retenues du Verdon : valeurs moyennes de l'eau de surface.

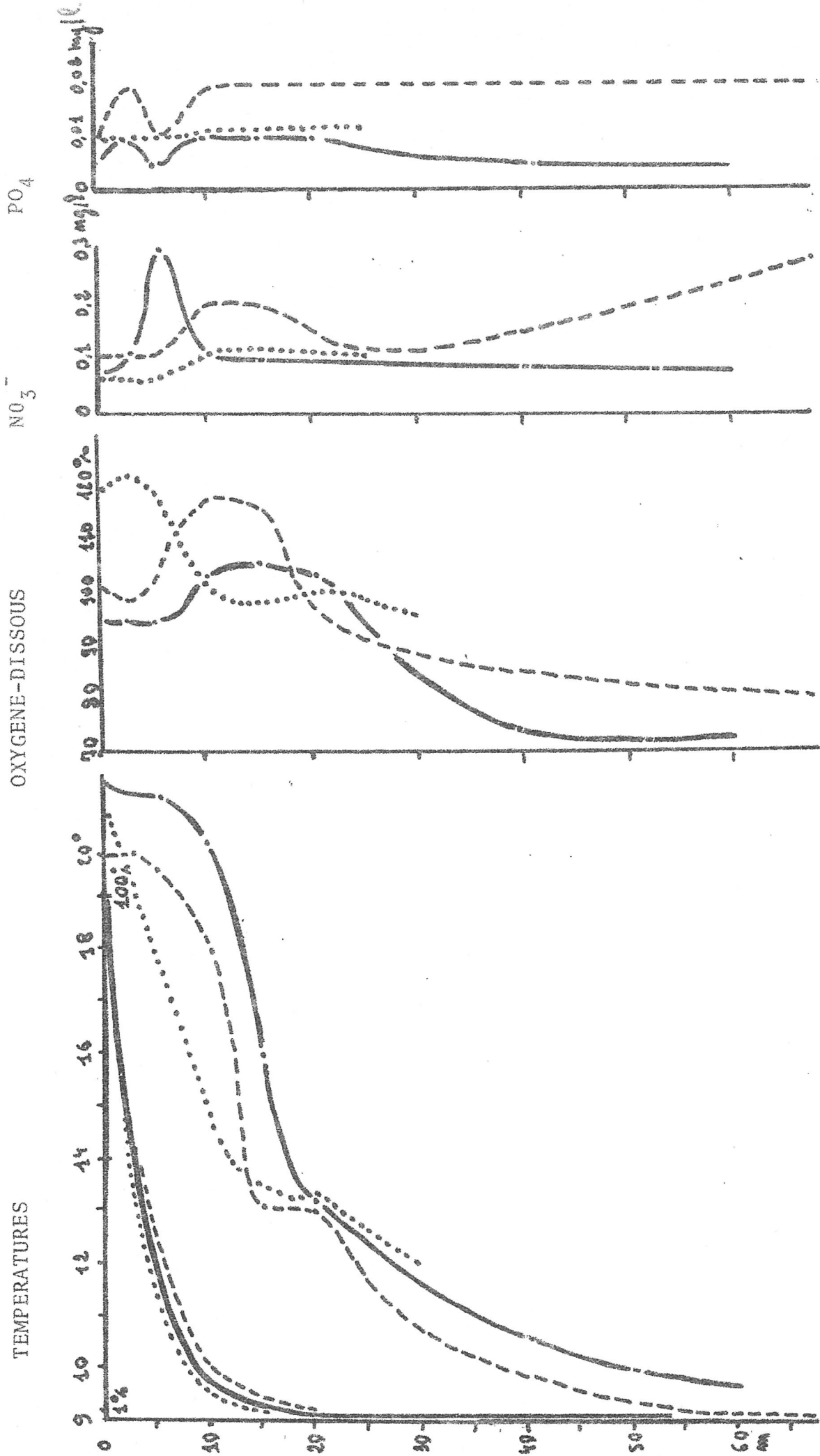


Figure 22 - Gradients sur face-fond des paramètres courbe d'extinction, température, oxygène dissous, nitrates et phosphates dans les lacs de Castillon et Sainte-Croix (marnés) Gréoux (non marné) en juillet 1978.

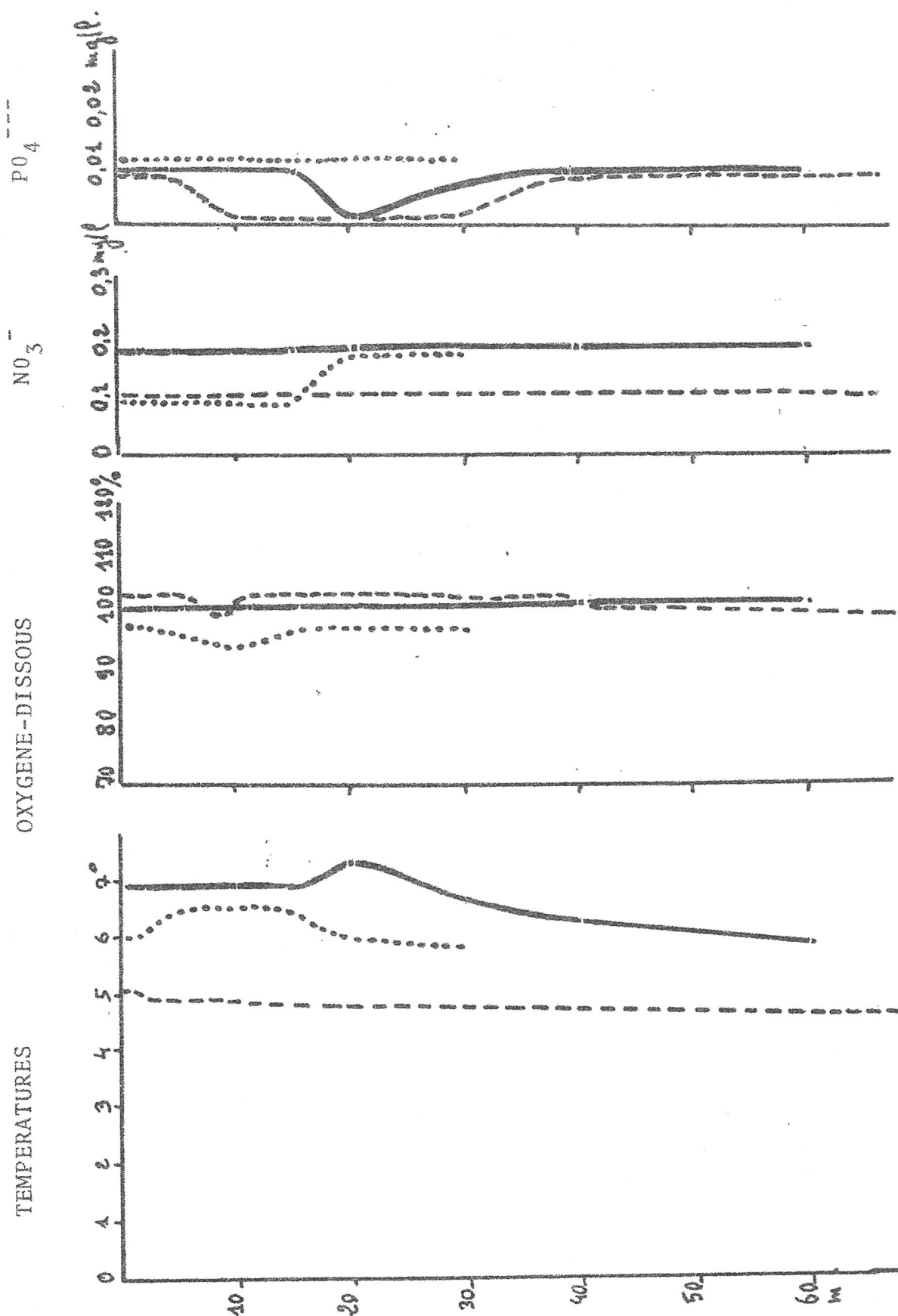


Figure 23 - Gradients surface-fond en février 1978:
température, oxygène-dissous, nitrates
et phosphates, dans les lacs de Castillon (---)
Sainte-Croix (—) Gréoux (.....).

stades trophiques dont celle de Sakamoto (1966), Mathieu et al. (1979) :

- La profondeur, en été, égale à la profondeur maximale est très largement supérieure à 15 m (puisque le marnage a lieu en hiver).

- La transparence, mesurée au disque Secchi à 4m, où exprimée par la profondeur à laquelle la courbe d'extinction atteint 1% de la lumière mesurée en surface $\geq 15m$; et ce, malgré une quantité relativement élevée de matières minérales en suspension (de 1,6 à 3,1 mg/l).

- Le pourcentage de saturation en oxygène dissous en profondeur $\geq 80\%$ en été.

- Les teneurs moyennes en nitrates $\leq 0,5$ mg/l

- Les teneurs moyennes en phosphates $\leq 0,03$ mg/l

La nature marno-calcaire du bassin versant influence la chimie des eaux, bicarbonatées calciques. La minéralisation est plutôt faible dans Castillon et Chaudanne, forte dans Sainte-Croix, Quinson et Gréoux.

A noter, une forte pollution organique dans l'anse d'Esparron, sur le lac de Gréoux, due aux rejets du village adjacent très fréquenté en été et aux vents dominants qui empêchent la circulation des eaux. Cette pollution est résorbée en hiver.

2.12 - Les biocénoses

2.121 - Les bactéries (figures 24 et 25 p.52 et 53)

L'étude de trois séries de prélèvements ne permet pas d'effectuer une analyse de l'évolution saisonnière des communautés bactériennes dans les différents biotopes. Une analyse de ce type nécessiterait des échantillonnages beaucoup plus fréquents, en raison de la dynamique parfois très rapide des populations bactériennes. Nous pourrions donc seulement comparer la distribution des microflore dans les différentes couches d'eau d'une même

retenue où de différentes retenues, lors d'un même cycle de prélèvement.

Les populations bactériennes hétérotrophes aérobies strictes ou facultatives sont en général peu développées et caractéristiques de masses d'eau oligotrophes (de l'ordre de 1×10^2 à 3×10^3 cellules par millilitre d'eau). Elles sont particulièrement réduites dans la retenue de Sainte-Croix, où elles varient entre $11,5 \times 10^1$ et 6×10^2 . Inversement les effectifs bactériens sont plus importants dans la zone d'Esparron située à proximité du déversement des eaux usées de cette commune. Les concentrations bactériennes sont ici comprises entre $1,5 \times 10^5$ et $1,6 \times 10^6$ cellules/ml d'eau. De telles valeurs correspondent à une zone eutrophe.

En ce qui concerne les microflores indicatrices de pollution d'origine fécale il convient de tenir compte essentiellement des numérations d'Escherichia coli dont la présence est beaucoup plus significative de contamination réelle que les coliformes totaux et même fécaux. La présence simultanée de fortes concentrations d'Escherichia coli et de Streptocoques fécaux du groupe D est une confirmation d'une pollution récente d'origine fécale. C'est le cas en particulier de la zone de prélèvement dans l'anse d'Esparron où on observe plus de 1.000 Escherichia coli pour 100 ml d'eau.

Dans les autres retenues (Quinson, la Chaudanne, Castillon Sainte-Croix) les Escherichia coli sont en général absentes ou uniquement représentées par quelques cellules éparses par 100 ml.

La contamination paraît probable dans la couche d'eau profonde (de 20 mètres au fond) de la retenue de Sainte-Croix en septembre 1977, où on observe simultanément des concentrations relativement élevées en coliformes, Escherichia coli et Streptocoques fécaux.

Du point de vue de leur distribution quantitative les communautés bactériennes ne sont pas distribuées de manière homogène dans les différentes couches d'eau étudiées.

La couche d'eau superficielle, correspondant aux cinq premiers centimètres, présente souvent des concentrations minimales en bactéries hétérotrophes aérobies par rapport aux couches sous-jacentes, sauf en période hivernale.

GREOUX

QUINSON

SAINTE-CROIX

CASTILLON

LA CHAU

DANNE

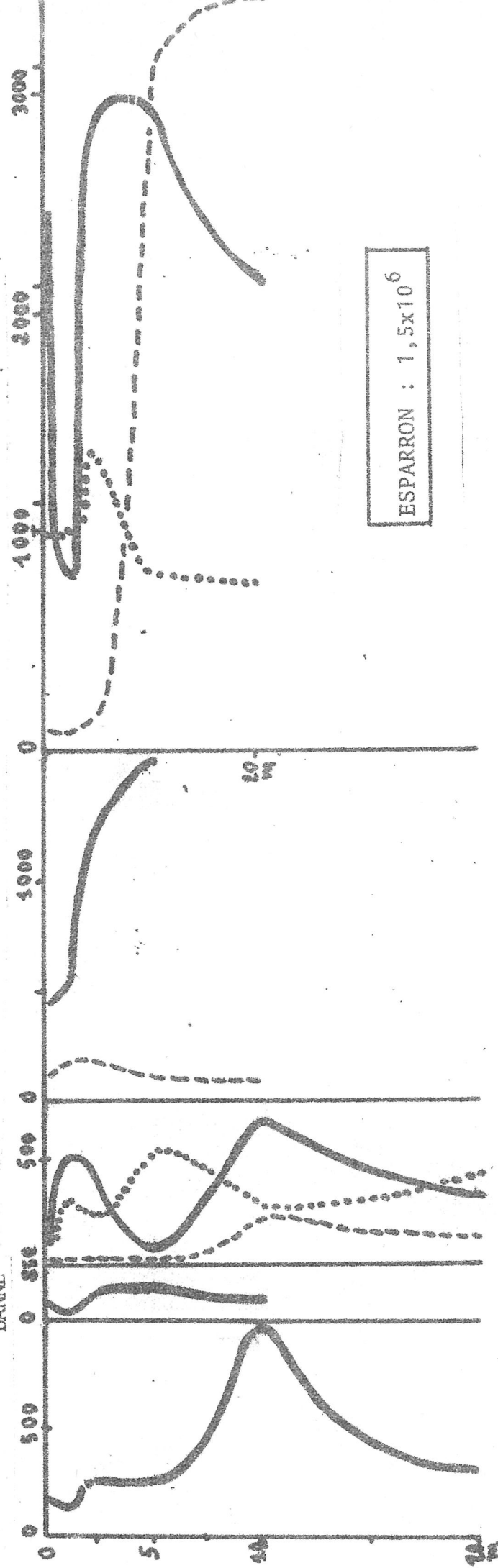
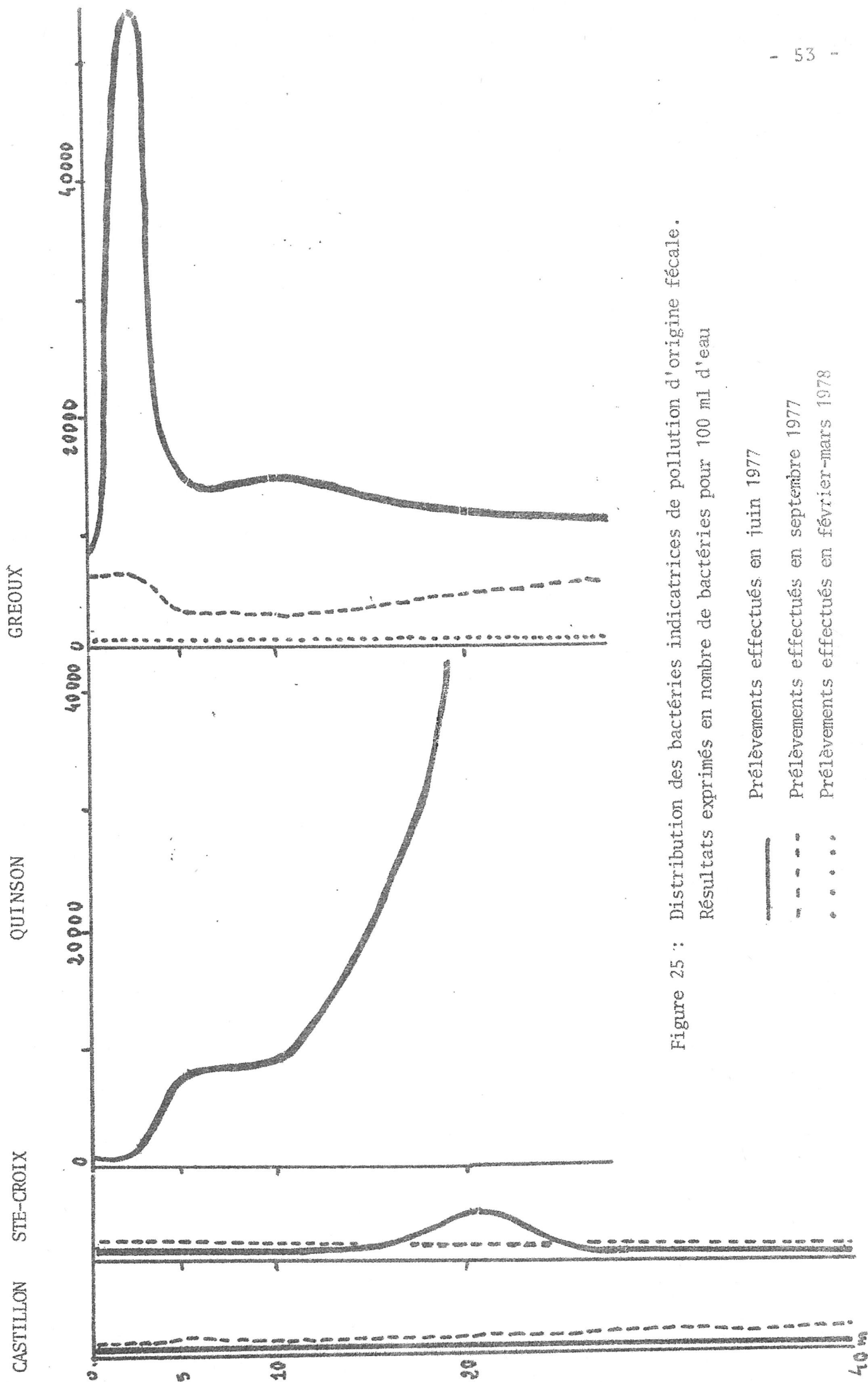


Figure 24 : Nombre de bactéries hétérotrophes aérobies par millilitre d'eau
Résultats obtenus par numération des colonies formées sur milieu
gélosé peptoné.

- Prélèvements effectués en juin 1977
- - - Prélèvements effectués en septembre 1977
- Prélèvements effectués en février-mars 1978



En période estivale on observe une stratification avec des couches d'eau à concentration bactérienne maximale à 20 mètres de profondeur, sous la thermocline, dans les retenues de Castillon et de Sainte-Croix. En ce qui concerne cette dernière retenue la stratification apparaît nettement lors du prélèvement effectué en septembre 1977, où au niveau 20 m on observe la présence de bactéries indicatrices de pollution.

On note une pollution estivale dans les zones les plus fréquentées (Anse de Moustiers sur le lac de Sainte-Croix, marné, avec 100 coliformes fécaux; Anse d'Esparron sur le lac de Gréoux, non marné, avec 200 coliformes fécaux). En hiver la répartition verticale des germes est plus homogène et toute trace de pollution disparaît.

2.22 - Phytoplancton

2.221 - Composition spécifique

Une soixantaine d'espèces ont été inventoriées. La composition du phytoplancton montre une grande ressemblance dans les cinq lacs, qu'ils soient soumis ou non au marnage.

Dans les cinq retenues, les espèces algales dominantes appartiennent aux genres suivants :

- Diatomées : essentiellement représentées par le genre Cyclotella (C.kuetzingiana et toutes ses variétés), et le genre Synedra (Synedra rumpens)

- Chlorophycées : avec la présence de volvocales appartenant au genre Chlamydomonas.

- Chrysophycées : avec le développement d'espèces appartenant au genre Dinobryon (D.divergens, D.sociale)

- Dinophycées : avec les genres Peridinium (P.willei, P.cinctum, P.inconspicuum; et Ceratium (C.hirondinella).

- Les populations phytoplanctoniques de l'anse d'Esparron, dans la retenue de Gréoux, sont tout à fait différentes et composées essentiellement de volvocales (Pandorina morum et Chlamydomonas sp.).

- Densités algales - Biomasses

Les densités algales sont relativement peu élevées. La densité de matériel nutritif dosé, quoique peu élevée, pourrait supporter des biomasses phytoplanctoniques plus fortes, en l'absence de facteurs limitants. Il est possible que la limitation du phytoplancton soit due à une quantité importante des matières minérales en suspension (fig. 21 p. 47).

Dans la zone productive (0-20m) les moyennes obtenues à partir des biovolumes (on obtient des résultats équivalents à partir de la Chlorophylle $\bar{a}$) pour l'ensemble des prélèvements sont :

0,36 mg/l à Castillon
0,16 mg/l à la Chaudanne
0,47 mg/l à Sainte-Croix
0,23 mg/l à Quinson
0,98 mg/l à Gréoux
41,30 mg/l dans l'anse d'Esparron

. On constate, indépendamment du marnage, pour les 3 grands lacs une augmentation de la biomasse phytoplanctonique quand l'altitude baisse. Les 2 petits lacs de la Chaudanne et Quinson sont très pauvres en phytoplancton, en relation avec un temps de renouvellement de l'eau très court, défavorable à la vie planctonique. Là encore les résultats obtenus dans l'anse d'Esparron sont particuliers.

- Evolution saisonnière (figure 25 et 26, p. 58 et 59.)

On distingue très nettement deux phases dans le développement des populations planctoniques :

Phase hivernale et printanière très pauvre dans tous les lacs, quelle que soient leur altitude et leur capacité (quelques dizaines ou centaines de milliers de cel/litre, soit 0,05 mg/l, y compris dans l'anse d'Esparron). On peut noter à ce propos que le marnage hivernal qui se traduit par une diminution considérable du volume d'eau n'aboutit pas à une concentration du phytoplancton.

. La pauvreté du phytoplancton au printemps est remarquable. Dans les lacs naturels on assiste plutôt à un "bloom" algal à cette saison. Dans le bassin versant du Verdon, la fonte des neiges au printemps provoque la crue de la rivière. Les eaux sont très chargées en matières en suspension qui pourraient, en particulier à cette période, limiter l'essor du phytoplancton en s'opposant à la pénétration de la lumière. Le même phénomène a été observé sur la retenue du Chastang dans le Massif Central.

La productivité primaire est également très faible pendant cette phase, le plus souvent inférieure à 1 mg/C.ass./m³/h.

La phase été-automne les densités algales sont nettement plus importantes, entre 1 et 5x10⁶ cel/l. A ces densités sont associées des biomasses voisines de 1 à 5 mg/l. Les biomasses atteintes à l'anse d'Esparron (150 mg/l) rendent compte d'un état nettement eutrope à cet endroit.

La productivité primaire dépasse souvent 5 mg/C.ass/m³/h elle a été très élevée en septembre 77 à la Chaudanne (30 mg/c à 2,5 m de profondeur).

Comme l'indique le tableau ci-dessous les biomasses algales en période chaude ont été nettement moins élevées en 1977 après un marnage important qu'en 1978 après une absence de marnage.

	1977	1978
Castillon	0,30 mg/ 1	0,60 mg/1
La Chaudanne	0,10	0,30
Sainte-Croix	0,19	1,65
Quinson	0,03	1,28
Gréoux	0,30	2,60
Anse d'Esparron	31,--	145,--

	Castillon	Chaudanne	Ste-Croix	Quinson	Gréoux	Anse Esparron
<i>Achnanthes lanceolata</i> Bréb.	+	+		+	+	+
<i>Achnanthes minutissima</i> Kütz.	+	+	+		+	+
<i>Amphipleura pellucida</i> Kütz.				+		
<i>Amphora ovalis</i> Kütz.	+		+		+	+
<i>Amphora ovalis</i> var. <i>pediculus</i> Kütz.		+	+	+		+
<i>Anabaena</i> sp.		+			+	
<i>Ankistrodesmus convolutus</i> Corda					+	+
<i>Ankistrodesmus gellicum</i> Chod. Bourr.			+		+	
<i>Ceratium hirsutinella</i> (O.F. Müller) Schran.	+	+	+	+	+	
<i>Chlamydomonas</i> sp.	++	++	+++	++	+++	++++
<i>Cocconeis pediculus</i>	+	+	+	+		
<i>Cocconeis pediculus</i> <i>placentula</i> v. <i>euglypta</i> Ehr.	+	+	+	+	+	+
<i>Coscinodiscus lacustris</i> Grün					+	
<i>Cryptomonas</i> sp.	++	+	+	+	++	+
<i>Cyclotella kützingeriana</i> Thwaites	++++	++++	++++	++	++++	+++
<i>Cymbella affinis</i> Kütz.		+				+
<i>Cymbella chrenbergii</i> Kütz.			+			
<i>Cymbella sinuata</i> f. <i>ovata</i> Kütz.	+			+	+	+
<i>Cymbella ventricosa</i> Kütz.	+	+	+	+	+	+
<i>Diatoma elongatum</i> Agardh.	+	+		+		+
<i>Dinobryon bavaricum</i> Imh.	+		+		+	
<i>Dinobryon divergens</i> Imh.	+++	++	+++	++	+++	+
<i>Dinobryon sociale</i> Ehr.	+	+	+	+	+	++++
<i>Eucocconeis flexella</i> Kütz.			+			
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	+		++	+	+	+
<i>Fragilaria pinnata</i> Ehr.	+	+	+		+	
<i>Frustulia vulgaris</i> Thwaites					+	+
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kütz.) Pabb.		+			+	
<i>Gomphonema bohemicum</i> Reich et Fricke	+	+	+		+	+
<i>Gomphonema parvulum</i> Kütz.		+	+		+	
<i>Kirchneriella obesa</i> (W. West) Schmidle	+				+	+
<i>Melasira italica</i> (Ehr.) Kütz.			+	+	+	
<i>Melasira varians</i> C.A. Ag.	+				+	
<i>Navicula bacillum</i> Ehr.					+	+
<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.	+	+		+	+	
<i>Navicula gracilis</i> Ehr.	+	+	+	+	+	
<i>Nitzschia amphibia</i> Grun.		+	+	+		+
<i>Nitzschia dubia</i> W. Smith	+	+			+	
<i>Nitzschia romana</i> Grun.	+	+				+
<i>Panorina morum</i>						++++
<i>Peridinium cinctum</i> (Müller) Ehr.	+	++	+	+	+	++
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemm.	+	++	+	+	+	+++
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehr.					+	+
<i>Oscillatoria</i> sp.			+	+	+	+
<i>Scenedesmus ecoris</i> (Refs.) Chod.		+	+		+	+
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Bréch.	+		+	+	+	+
<i>Synedra accus</i> Kütz.		+		+	+	+
<i>Synedra rumpens</i> Kütz.	+++	+	+	++	+++	+++
<i>Synedra ulna</i> Kütz.		+		+	+	
<i>Synedra vaucheria</i> Kütz.	+				+	+
<i>Surinella angustata</i> Kütz.		+	+		+	

Figure 26 - Le phytoplancton dans les retenues (liste systématique - classes d'abondance).

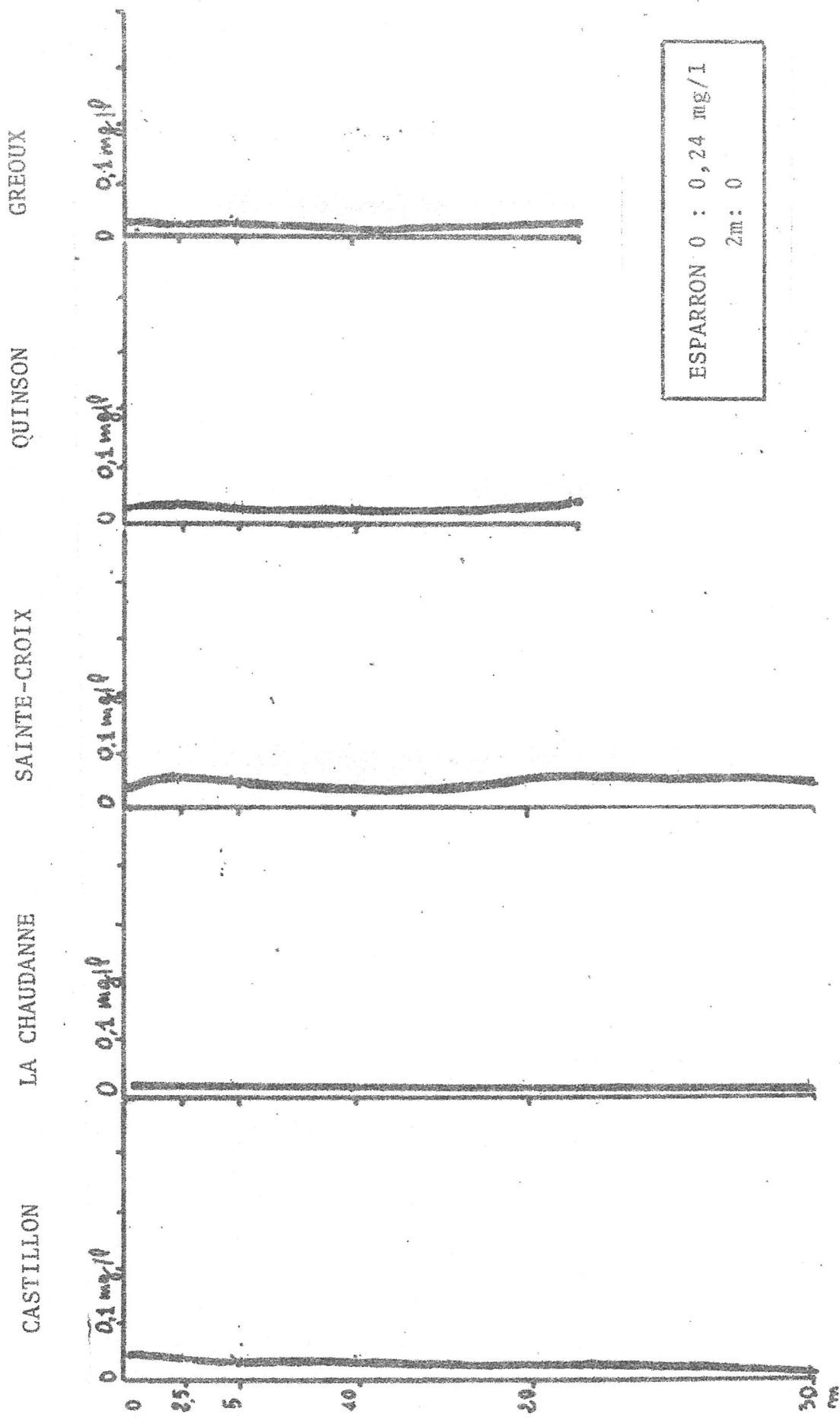


Figure 25 - Gradient surface-fond de la biomasse algale dans les lacs de barrage du Verdon en hiver et au printemps.

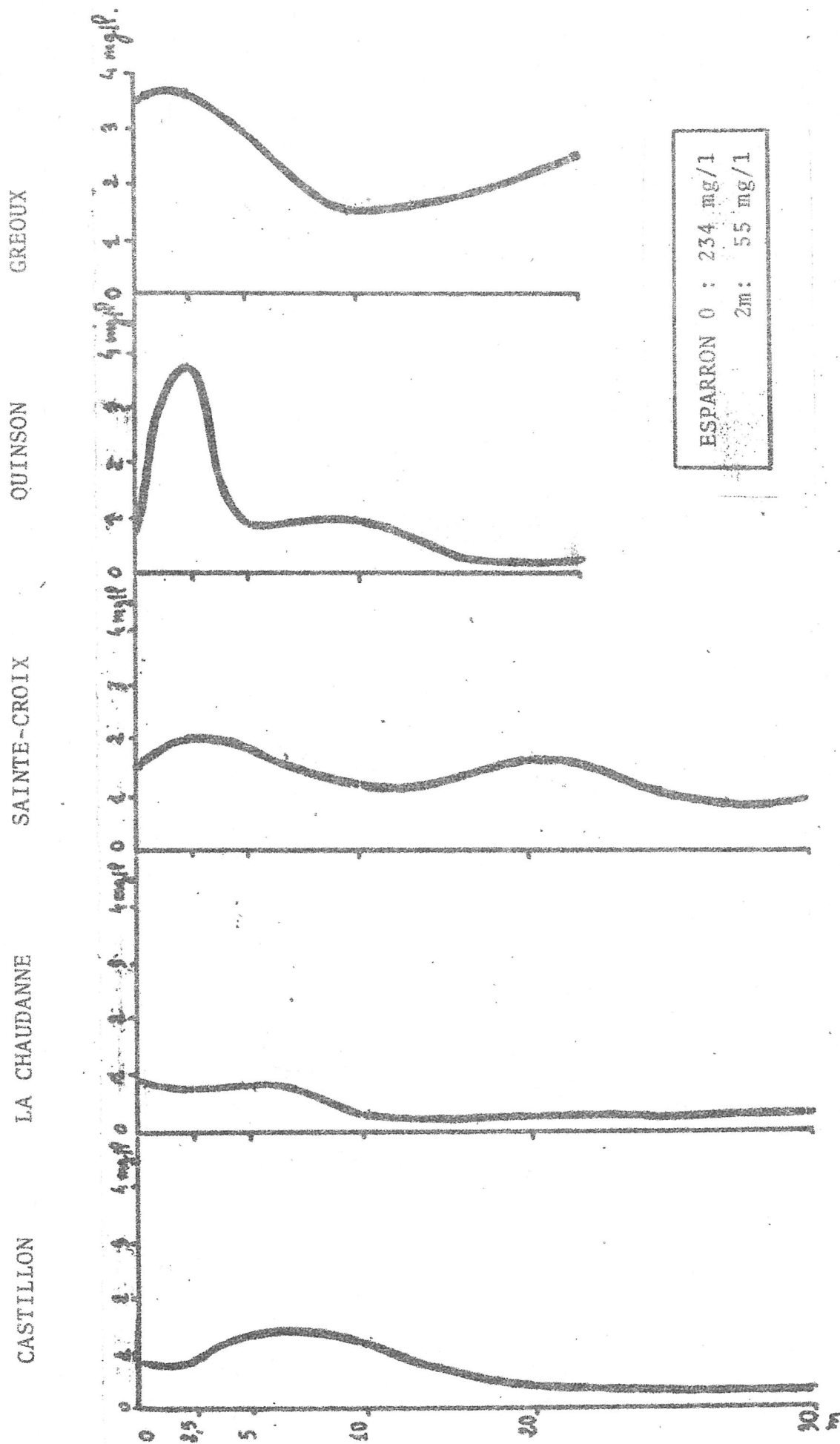


Figure 26 - Gradient surface-fond de la biomasse algale dans les lacs de barrage du Verdon en été et en automne.

D'une année à l'autre, les espèces dominantes ont pu changer. Par exemple, le peuplement de l'été 1977 a été dominé par les Diatomées (Cyclotella kuetzingiana) celui de l'été 1978 par les Chrysophycées du genre Dinobryon, dans les lacs de Castillon et de Sainte-Croix.

Il est très important de constater que si l'eutrophication augmente plus ou moins d'un été à l'autre, les lacs du Verdon retrouve un état typiquement oligotrophe en hiver, même dans l'anse d'Esparron.

Les valeurs des rapports P/B et P/Chl a (P, productivité primaire; B, biomasse; Chl a, Chlorophylle a) sont comparables à ceux donnés dans la littérature. Pour cette raison ils ne sont pas détaillés ici.

2.23 - Le zooplancton

2.231 - Composition spécifique, espèces dominantes

Copépodes :

- Acanthodiaptomus denticornis (WIERZ.)
- Cyclops vicinus vicinus (ULIAN.)
- Megacyclops viridis viridis (JUR.)
- Macrocyclus albidus (JUR.)
- Microcyclus varicans (SARS)

Cladocères :

- Daphnia hyalina (LEYD.)
- Ceriodaphnia reticulata (JUR.)
- Bosmina longirostris (MUL.)
- Alona rectangula (SARS)
- Chydorus sphaericus (MUL.)

Rotifères : non déterminés.

L'absence des Ostracodes dans le secteur pélagique, leur rareté dans la zone néritique, sont tout à fait remarquables. On pourrait les attribuer au manque de végétation enracinée généralement colonisée par ces crustacés.

Autre point remarquable, l'absence des Harpacticides que l'on aurait pu rencontrer dans la zone néritique.

La composition spécifique est la même pour les cinq lacs. Les espèces représentées sont largement distribuées dans les eaux intérieures. Il s'agit d'espèces banales comme c'est fréquemment le cas dans les milieux artificiels où quelques espèces pionnières ont un développement rapide.

On peut remarquer le développement des Cladocères représentés par 2 espèces abondantes D.hyalina, C.reticulata. Viennent ensuite les Copépodes avec deux espèces abondantes A.denticornis, C.vicinus vicinus.

Le nombre d'espèces inventoriées est en général plus grand dans les lacs naturels de la région. Ces derniers possèdent une zone néritique avec une végétation enracinée ce qui permet l'essor d'un nombre plus élevé de Cyclopidés, de Chydoridés et d'Ostracodes. C'est ainsi que dans les lacs de Tourves par exemple, on peut récolter 3 fois plus d'espèces dans ces 3 groupes. Cependant si l'on considère uniquement la zone pélagique des lacs naturels, la structure du peuplement zooplanctonique est comparable à celle des lacs de barrage du Verdon: 1 espèce de Cladocère du super genre Daphnia et une espèce de Calanide du super genre Diatomus, une espèce du super genre Cyclops. Ces espèces changent quand on passe d'une altitude à une autre. Elles sont les mêmes aux mêmes altitudes, dans les lacs naturels et artificiels de la région alpine.

2.232 - Densité des effectifs, biomasses (figures 29 et 30 p. 66 et 67)

L'abondance relative des différents groupes n'est pas la même dans le lac de Castillon que dans les 4 autres retenues. En effet, à Castillon, le développement des Copépodes et des Rotifères est très faible.

Les 4 autres lacs se ressemblent quant au développement relatif des 3 groupes planctoniques représentés (dominance des Cladocères puis des Copépodes et enfin des Rotifères).

Le développement du zooplancton est beaucoup moins important dans les lacs de la Chaudanne et de Quinson qui sont en fait des bassins de compensation où le temps de séjour des eaux est très bref. On peut penser que le renouvellement trop rapide des eaux est défavorable à la vie planctonique mais aussi que la nourriture peu abondante dans ces 2 lacs limite l'essor des zooplanctontes.

Les densités sont comparables à Castillon et Gréoux alors que 3 facteurs auraient pu entraîner un développement plus important du zooplancton dans le deuxième lac :

- l'altitude moins élevée (357 m au lieu de 880 m) avec des eaux moins froides en hiver (5° au lieu de 7)
- une biomasse phytoplanctonique plus grande (0,98 mg/l contre 0,36).
- l'absence de marnage

Malgré une biomasse algale peu élevée (0,47 mg/l) le zooplancton est nettement plus développé à Sainte-Croix que dans les 4 autres lacs du Verdon.

En ce qui concerne les biomasses, la valeur la plus élevée évaluée à Sainte-Croix (1680 mg/m³) est inférieure à celles trouvées dans les lacs oligotrophes comme le lac de Tazenat (2550 mg/m³). Elle est très inférieure à celle des lacs qualifiés de mésotrophes comme le lac Pavin (9861 mg/m³, LAIR 1975).

Qu'il s'agisse des Rotifères, des Cladocères ou des Copépodes les fortes concentrations de jour se rencontrent le plus souvent dans la tranche d'eau comprise entre 0 et 20 m de profondeur, là où le phytoplancton est le plus abondant. Cependant le zooplancton colonise toute la colonne d'eau de la surface au fond. On obtient aussi des diagrammes tout à fait classiques, en forme de poire dont la base est dirigée vers le haut (figures 31 et 32 p. 68 et 69)

2.233 - Evolution saisonnière

Si l'on examine les prélèvements effectués à Castillon on distingue nettement 2 phases (figures 31 et 32)

En hiver, le peuplement de Cladocères (les Copépodes et

les Rotifères sont peu nombreux dans Castillon) est peu abondant (prélèvements de décembre 75, janvier 76, février 76).

En été la densité des Cladocères est deux fois plus importante, en particulier du fait de l'essor des populations de D.hyalina et B.longirostris. Ce phénomène est particulièrement net dans les prélèvements de juin 77 et août 78.

Dans les autres lacs la distinction de ces deux saisons est beaucoup moins apparente. Les densités du zooplancton peuvent être au contraire plus élevées en hiver : c'est le cas à Sainte-Croix où les effectifs les plus forts ont été enregistrés en décembre 1975, janvier 1976 et février 1978 et à Gréoux, en février 1976 et 1978.

Comme pour le phytoplancton les densités et les biomasses correspondantes ont été plus élevées en 1978 qu'en 1977.

2.234 - Mise en place du zooplancton :

Sur les cinq lacs de barrages deux sont récents (Sainte-Croix et Quinson), mis en eau respectivement en 1974 et 1975). La vidange décennale de la Chaudanne en octobre 1974 a éliminé tout le plancton qui a dû recoloniser la retenue.

Sainte-Croix

Avant que le barrage ne soit plein le zooplancton était déjà bien représenté. Le peuplement équilibré comprenait tous les éléments : Cladocères, Copépodes et Rotifères (Analyse des prélèvements de janvier 1974).

Quand la retenue fut remplie on assista à une explosion du zooplancton, avec en particulier le développement des Copépodes : Calanides et Cyclopides (Analyse des prélèvements de décembre 1975).

Ensuite la densité du zooplancton a baissé en 1976 et 1977 pour redevenir très importante en 1978. Il est probable que la colonisation immédiate du plan d'eau se soit faite à partir

du barrage de la Chaudanne. Dans les prélèvements de faune effectués au fur et à mesure dans le cours du Verdon entre la Chaudanne et Sainte-Croix, on récolte en effet du zooplancton, abondant sur plusieurs kilomètres de rivière en aval de la Chaudanne, plus rare ensuite, mais toujours présent (cf.p.35)

L'explosion du zooplancton en 1974 peut s'expliquer par la richesse des sels nutritifs contenus dans les sols cultivés sur lesquels le plan d'eau a été installé. La mise en eau du barrage a en effet été suivie d'un " bloom " phytoplanctonique puis d'un développement rapide du zooplancton.

La Chaudanne

La retenue de la Chaudanne fonctionne comme bassin de compensation du barrage de Castillon. Après la vidange décennale, la remise en eau s'est faite en quelques semaines. Le plancton de Castillon amené avec l'eau ne subit pas un long transit en eau courante comme c'est le cas pour Sainte-Croix. Cependant la densité du zooplancton est restée très faible pendant l'année 1976 (analyse des prélèvements de décembre 75, janvier, février, juin 1976).

La recolonisation de cette retenue sur des vases pauvres en matières organiques, nitrates et phosphates a donc été plus lente.

Quinson

Comme dans le cas de Sainte-Croix la colonisation a été rapide . Les effectifs dans le prélèvement de mai 1976 sont les plus élevés parmi ceux récoltés à Quinson. Mais la nature rocheuse du fond des gorges de Baudinard peut expliquer un développement plus limité du zooplancton par la suite.

Conclusion

La vie pélagique dans les lacs de barrage du Verdon présente des caractéristiques particulières qui les différencient des lacs naturels de la région :

- évolution très rapide à partir de la mise en eau favorisée par les apports en sels nutritifs des sols cultivés submergés.
- peuplement constitué d'espèces banales peu nombreuses, en particulier pour le zooplancton dominé par les Cladocères, en relation avec l'absence de zone néritique marquée.
- phase estivale à caractère mesotrophe avec le développement du phytoplancton et de populations bactériennes indicatrices d'une pollution dans les zones les plus fréquentées comme l'anse de Moustiers sur le lac de Sainte-Croix et surtout l'anse d'Esparron sur le lac de Gréoux. L'eutrophisation a été plus marquée en 1978 qu'en 1977.
- phase hivernale où l'on revient à une situation plus oligotrophe que dans les lacs naturels.

Par contre, ces caractéristiques sont les mêmes que dans de nombreux autres lacs de barrages comme ceux de Serre-Ponçon, du Chastang ou encore du Bicaz en Roumanie.

Cette étude n'a pas permis de mettre en évidence une influence du marnage sur la vie pélagique : les caractéristiques ci-dessus concernent aussi bien les lacs à fort marnage (Castillon, Sainte-Croix) que les lacs non marnés (Quinson, Gréoux). Cependant les biomasses phyto et zooplanctonique ont été nettement plus élevées en 1978 après un hiver sans marnage. Il serait intéressant de suivre l'évolution de ces biomasses pendant plusieurs années encore pour savoir si les hivers sans marnage correspondent à un développement plus important du plancton, et réciproquement si les hivers à fort marnage correspondent à des populations plus réduites.

Le renouvellement trop rapide des eaux dans les lacs de la Chaudanne et Quinson paraît préjudiciable au développement du phyto et zooplancton. Toutefois, cette interprétation semble infirmée par l'eutrophisation estivale constatée dans le bassin de compensation de Serre-Ponçon alimenté il est vrai par des eaux plus riches en sels nutritifs.

Groupes	Effectifs	Biomasses
Cladocères	51,84%	60,27 %
Copépodes	37,13%	33,45 %
Rotifères	11,03%	6,28 %

Figure 27 - Pourcentages des effectifs et des biomasses des 3 groupes zooplanctoniques représentés dans les 5 barrages.

Espèces	Effectifs	Biomasses
<i>Daphnia hyalina</i>	23,92 %	29,12 %
<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	22,12 %	26,58 %
<i>Bosmina longirostris</i>	5,80 %	4,57 %
<i>Acanthodiaptomus denticornis</i>	17,85 %	15,52 %
<i>Cyclops vixinus vixinus</i>	19,28 %	17,93 %
Rotifères ^x	11,03 %	6,28 %

Figure 28 - Pourcentages des effectifs et des biomasses des espèces dominantes recensées dans les 5 barrages.

x Ensemble des espèces.

Lacs	Marnage	Effectifs /m3	Biomasses mg/m3
Castillon	oui	1517	503
Chaudanne	oui	928	198
Sainte-Croix	oui	3899	1680
Quinson	non	948	351
Gréoux	non	1365	579

Figure 29 -

Effectifs et Biomasse du zooplancton dans les cinq lacs de barrage du Verdon.

Tranches d'eau	Castillon	Chaudanne	Sainte-Croix	Quinson	Gréoux
0 - 5 m	1.689	998	5.509	1.378	1.385
5 - 10 m	1.869	800	3.727	874	1.245
10 - 20 m	1.240	985	2.681	687	865
20 - 40 m	748	-	2.244	-	-

Figure 30 -

Effectifs en fonction de la profondeur

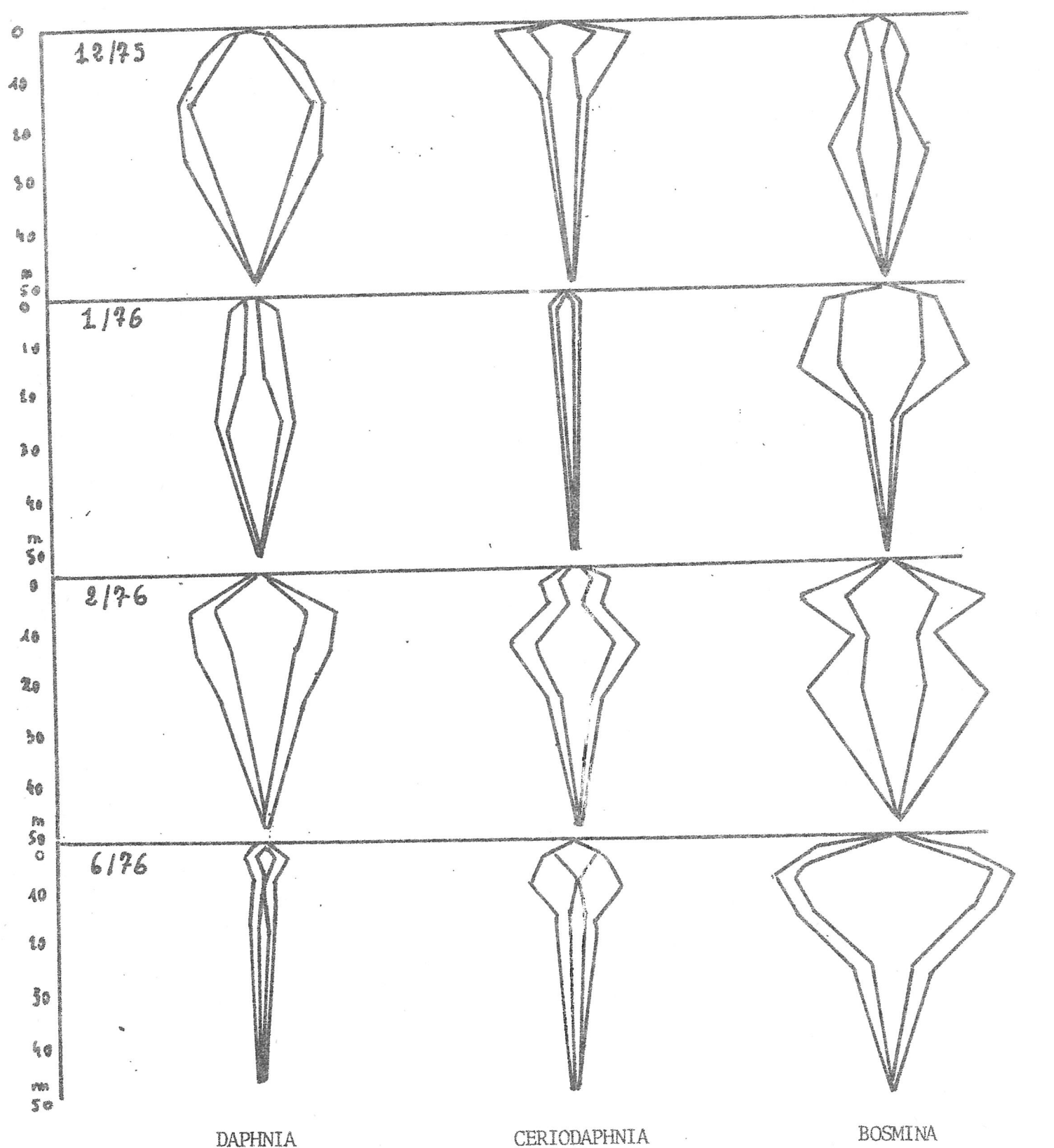


Figure 31 - Répartition verticale du zooplancton

Exemple du lac de Castillon (1975 et 1976)

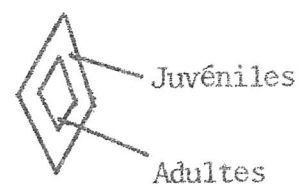
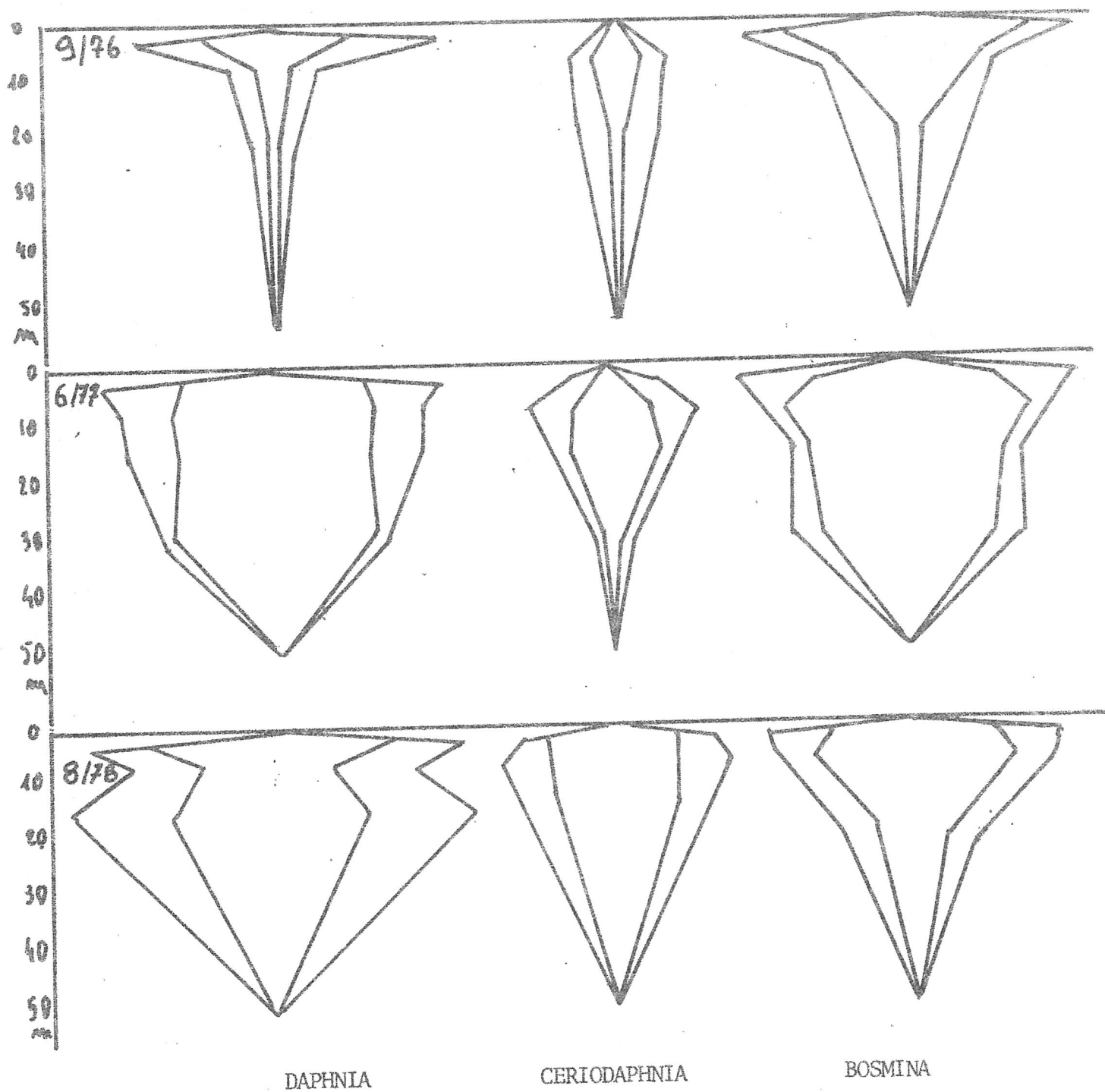


Figure 32 - Répartition verticale du zooplancton
Exemple du lac de Castillon (1976 à 1978)

3. INFLUENCE DU MARNAGE SUR LA VIE BENTHIQUE

3.1. Milieu abiotique

3.11 - Substrat des lacs (figures 33,34,35 et 43,p.71,72 et 73).

La répartition des sédiments dans les lacs du Verdon et dans Serre-Ponçon est fonction des apports allochtones des cours d'eau qui s'y jettent et des dépôts en éléments minéraux dus au fonctionnement du milieu lentique.

Les cartes ci-après représentent la granulométrie des zones exondées en avril 1979 à Castillon, Sainte-Croix et Serre-Ponçon.

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. Des galets sont déposés dans le lit des rivières au fond des lacs ou 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 de barrage et dans les parties centrales des lacs. Ce dépôt est d'autant plus important que la rivière amont est chargée en matières en suspension, le lac ouvert et plus ancien.

C'est ainsi qu'à Quinson (100 m de large; mise en eau en 1974), l'épaisseur du sédiment fin est nulle; au contraire, elle atteint 3 m à Castillon (largeur 2 km; mise en eau en 1948), 5m dans la branche Ubaye de Serre-Ponçon où les apports de la rivière sont très élevés.

- Les surfaces découvertes sont très importantes. On peut les calculer d'après les courbes de surfaces (graphiques 19 et 20 p.45 et 46) ou par pesée des parties correspondant aux zones découvertes sur les cartes (figures 33,34 et 35). On obtient les mêmes résultats par les deux méthodes

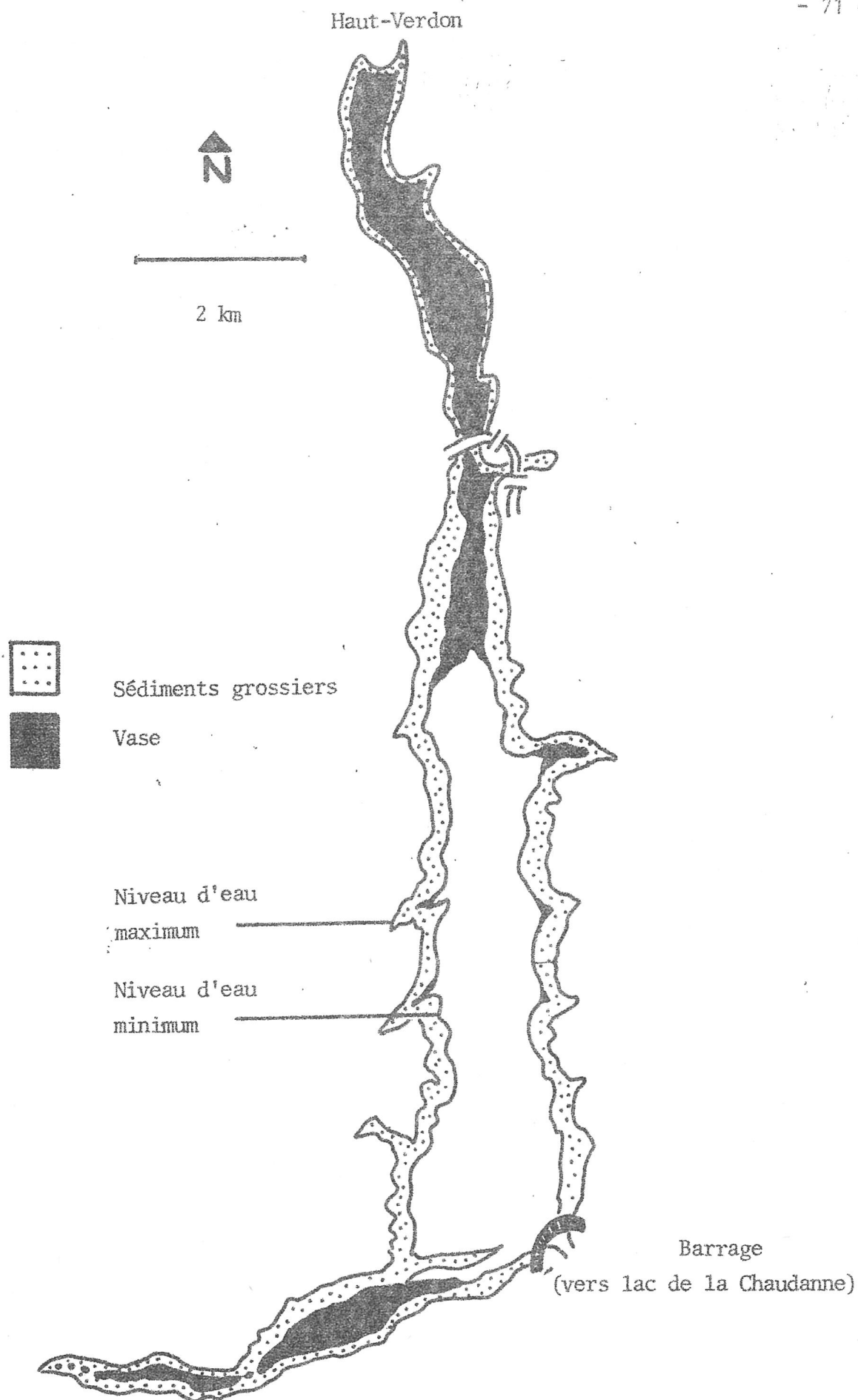


Figure 33 - Retenue de Castillon en période de marnage

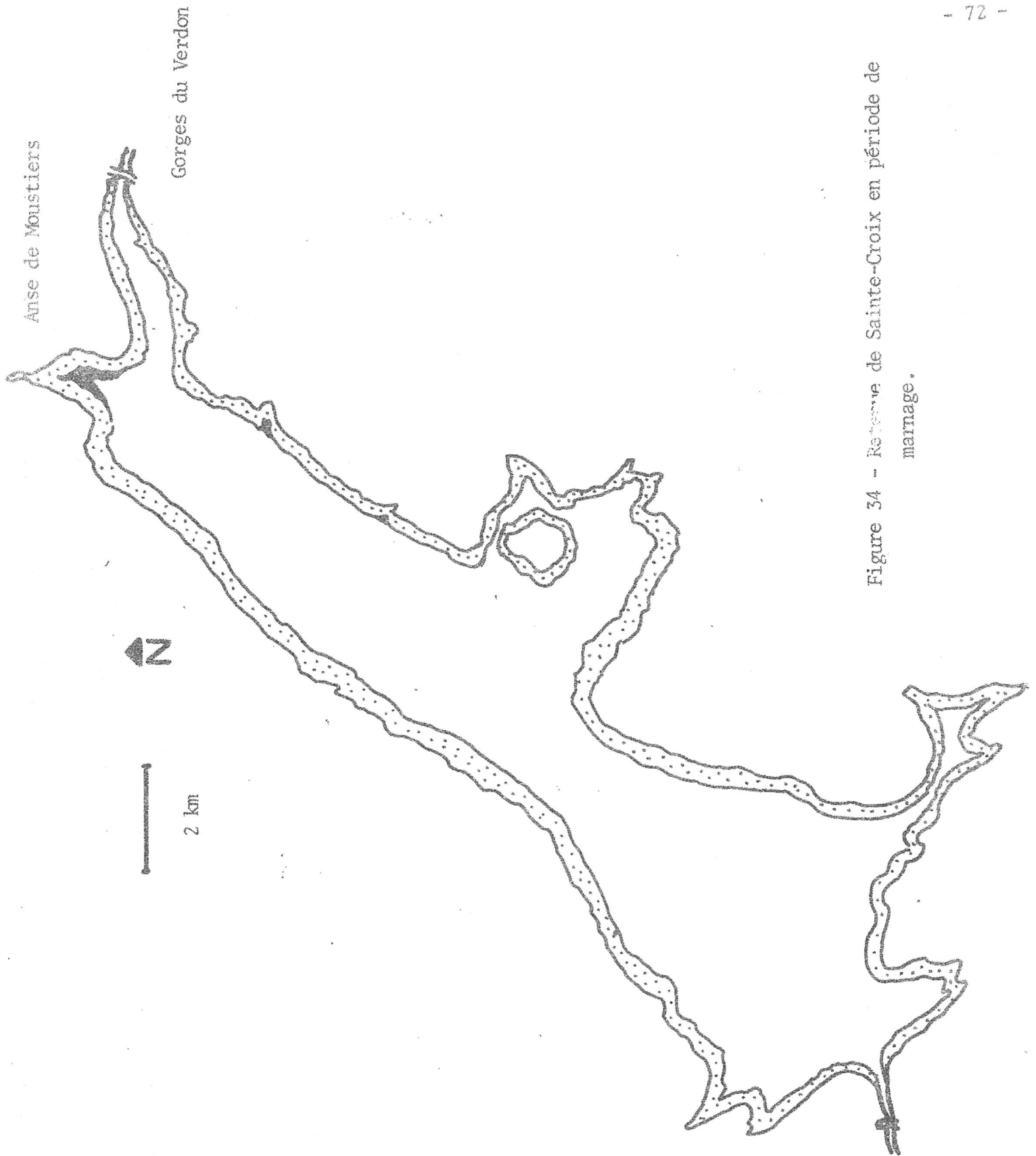


Figure 34 - Réserve de Sainte-Croix en période de marnage.

Barrage
(vers lac de Quinson)

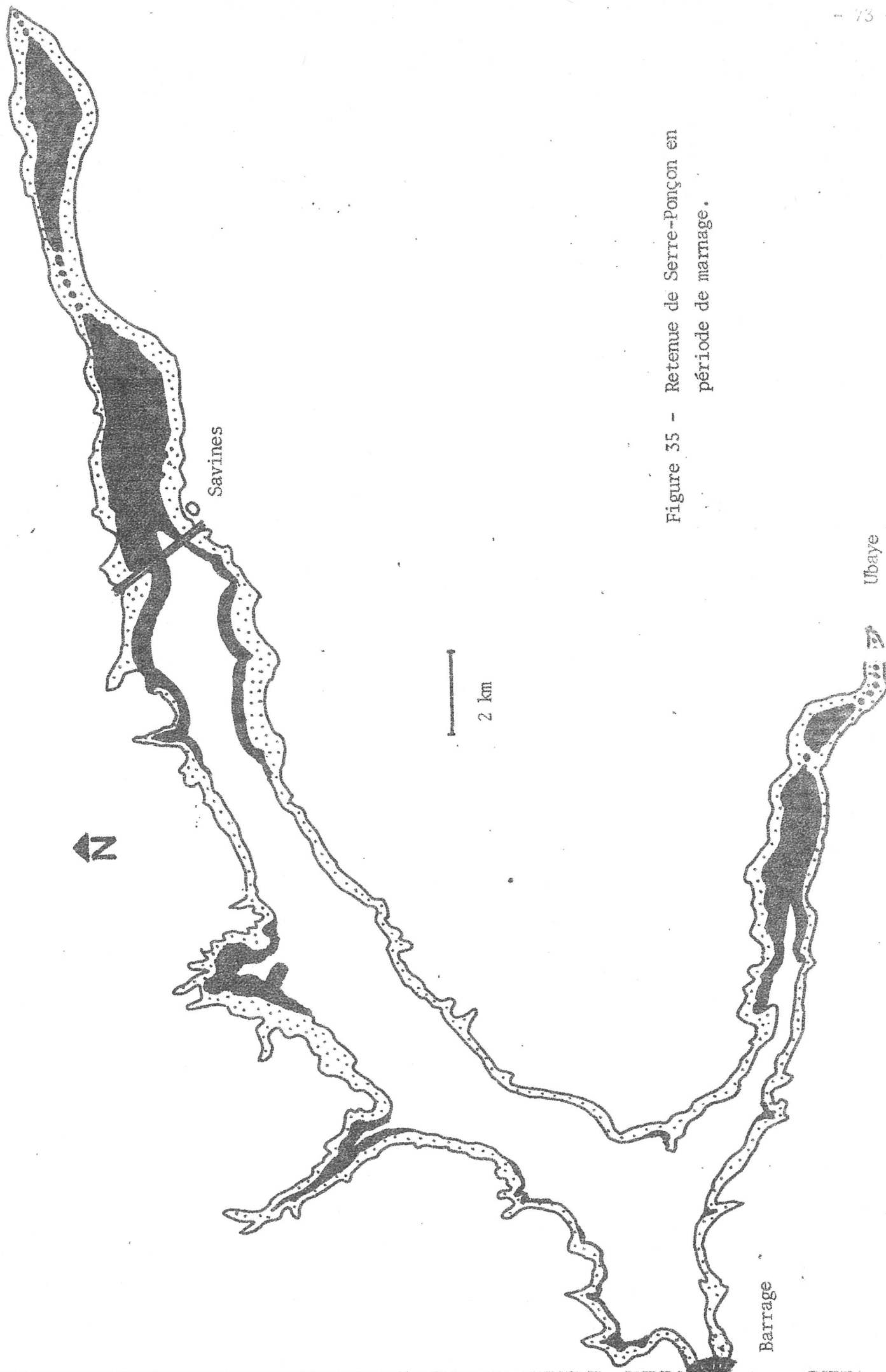


Figure 35 - Retenue de Serre-Ponçon en période de marnage.

	Surface totale (ha)	Surface découverte (ha)	%
Castillon	200	110	55
Chaudanne	65	25	38
Sainte-Croix	2182	600	27
Serre-Ponçon	2694	1215	42

Surfaces découvertes par le marnage

3.12 - La chimie des vases

Les analyses ont été confiées à la Société du Canal de Provence.

La figure 36 p.75 montre que les vases sont riches en CO_3 ca (de 40 à 60%) mais relativement pauvres en sels nutritifs (NO_3^- , 0,3 mg/g; PO_4^{---} de 0,04 à 0,008%). La vase des lacs les plus riches en phytoplancton est également la plus riche en phosphates.

Le pourcentage en Carbone est voisin de 1. Il est plus élevé à :

- Sainte-Croix, dans l'anse de Moustier (1,81%)
- Quinson, au niveau de l'herbier (2,98%)
- Gréoux, dans l'anse d'Esparron (3,60%)

On n'a pas noté de différences exploitables dans les échantillons prélevés sous l'eau en hiver et en été, ou encore sur les échantillons prélevés en hiver dans les zones émergées. Il

	Castillon	Chaudanne	Ste-Croix	Quinson	Gréoux	Esparron
CO ₃ Ca %	45	43	53	45	48	58
C %	0,86	1,1	1,2	1,5	0,9	2,0
N ‰	1,0	0,70	1,4	1,4	0,69	2,9
NO ₃ - mg/g	0,30	0,28	0,39	0,30	0,35	0,30
NO ₂ - mg/g	t	t	t	t	t	t
NH ₄ - mg/g	t	1	t	t	1	t
PO ₄ = ‰	0	0	0,04	0,04	0,08	0,06
K mg/g	-	-	0,26	0,40	0,23	0,53
Na mg/g	-	-	0,22	0,28	0,23	0,23
T mg/g	-	-	162	28	31	15
Cr%	-	-	38	33	40	27

Figure 36 - Analyses des vases effectuées par le Canal de Provence. Valeurs moyennes.

est bien évident que pour suivre le stockage et le relargage des nutriments il serait nécessaire de distinguer les différentes formes de l'azote et du phosphore. De même, pour connaître les possibilités trophiques de la vase, il faudrait étudier plus en détail les différents états de la matière organique.

3.2. Les biocénoses

3.21 - Les bactéries des sédiments (figure 37p.77)

Dans les sédiments superficiels correspondant à la couche prélevée entre 0 et 2 cm, les populations sont comprises entre 3.5×10^5 et $1,5 \times 10^7$ cellules/ml de vase. Là encore, les concentrations maximales sont observées dans la zone d'Esparron, où les effectifs sont compris entre 9×10^6 et $1,5 \times 10^7$ bactéries/ml.

La valeur minimale est observée au centre de la retenue de Sainte-Croix avec 3×10^5 cel./ml.

En période de marnage les concentrations bactériennes sont supérieures à 1×10^6 cel./ml de vase. Si le nombre d'échantillons étudiés n'est pas suffisant pour permettre une comparaison par rapport à l'état immergé on peut en déduire cependant que les populations bactériennes se maintiennent pendant le marnage. (Cela a été vérifié à Serre-Ponçon).

Du point de vue de la distribution des bactéries habituellement considérées comme indicatrices de pollution d'origine fécale, on note la présence fréquente de fortes concentrations de coliformes totaux (5×10^4 coliformes/ml de vase) et de Coliformes fécaux, mais à concentration moindre (de l'ordre de 10^3) dans les divers échantillons de chaque retenue. Par contre on ne peut déceler la présence d'Escherichia coli que dans les sédiments de la zone d'Esparron polluée par des eaux usées d'origine urbaine. Les concentrations y sont comprises entre 10^3 et 10^5 cellules par millilitre.

Ces résultats confirment la large ubiquité des bactéries dites coliforme et donc l'absence de signification de leur observation dans un milieu naturel. Cette appellation recouvre, en fait, divers genres et espèces de bactéries communes dans les eaux et les sols non pollués.

Il est donc préférable d'utiliser comme espèce indicatrice de pollution fécale Escherichia coli.

3.22 - La végétation

La végétation enracinée et les herbiers à characées, dont on connaît l'importance sur la diversité et la densité de la faune benthique et vagile dans les lacs naturels, sont complètement éliminés des lacs soumis au marnage (Castillon, la Chaudanne, Sainte-Croix, Serre-Ponçon). Ils sont encore très réduits dans les retenues à niveau constant, comparativement aux lacs naturels : on note un embryon de roselière (Phragmites communis; Scirpus holoschaenus) et des herbiers à characées et Potamogeton densus peu étendus dans les zones néritiques correspondant à deux élargissement du lac de Quinson et de Gréoux.

La pauvreté en macrophytes, qui résulte à la fois de la morphométrie et du régime d'exploitation des lacs de barrage, est une des causes principales de leur oligotrophie.

L'extension des zones rocheuses sur les pentes abruptes permet le développement d'un periphyton (figure 38 p.79) dont l'apport trophique est loin d'être négligeable pour les jeunes alevins des Cyprinidés.

A remarquer, l'absence de diatomées à la Chaudanne où seules des cyanophycées encroutantes se développent sur les zones rocheuses submergées. Les lames immergées à Quinson ont disparu.

3.23 - La faune benthique

3.231 - Inventaire faunistique

La faune benthique comprend essentiellement des larves

	Castillon	Chaudanne	Ste-Croix	Gréoux
<u>Achnanthes lanceolata</u>				+
<u>Achnanthes minutissima</u>	xxx		xxx	xx
<u>Amphora ovalis var.pediculus</u>				x
<u>Amphipleura pellucida</u>	x			
<u>Anomoconeis follis</u>	x			
<u>Cocconeis placentula var.euglypta</u>			+	+
<u>Cocconeis pediculus</u>			+	+
<u>Cymbella affinis</u>	+		+	+
<u>Cymbella cesatii</u>	+			
<u>Cymbella delicatula</u>				+
<u>Cymbella microcephala</u>	+		++	+
<u>Cymbella prostata</u>	+		+	
<u>Cymbella ventricosa</u>				+
<u>Denticula tenuis var.crassula</u>			+	+
<u>Diploneis ovalis</u>				+
<u>Fragilaria crotonensis</u>	+			+
<u>Fragilaria pinnata</u>				2
<u>Gomphonema bohelicum</u>			x	xxx
<u>Gomphonema olivaceum</u>			+	
<u>Gomphonema olivaceum var.calcarea</u>				+
<u>Nitzschia amphibia</u>			+	
<u>Nitzschia dissipata</u>			+	+
<u>Nitzschia romana</u>	+		++	++
<u>Rhoicosphenia curvata</u>				+
<u>Synedra rumpens var.fragilaroides</u>			+	
<u>Synedra vaucheriae</u>			+	
<u>Surirella ovata</u>			+	
<u>Cyclotella kützingiana</u>	xxx		xx	xx

Figure 38 - Diatomées du periphyton des lacs de retenues du Verdon.
(Liste systématique, classes d'abondance)

	Castillon	La Chaudanne	Ste-Croix	Quinson	Gréoux	Esparron
<u>TANYPODINAE</u>						
<u>Macropelopiini</u>						
<u>Procladius choreus</u>	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<u>Procladius culiciformis</u>		+	+			
<u>Pentaneurini</u>						
<u>Albabesmya sp.</u>			+			
<u>CHIRONOMINAE</u>						
<u>Chironomini</u>						
<u>Chironomus commutatus</u>	+					++++
<u>Chironomus thummi</u>					+++	+++
<u>Chironomus plumosus</u>						+
<u>Cryptochironomus groupe defectus</u>	+				+	
<u>Endochironomus tendens</u>	+					
<u>Cryptotendipes sp.</u>			+			
<u>Polypedulum nubeculosum</u>			+		+++	+++
<u>Limnochironomus nervosus</u>					+	
<u>Paratendipes sp.</u>						++
<u>Dicrotendipes sp.</u>			+			
<u>Harnischia sp.</u>			+			
<u>Tanytarsini</u>						
<u>Cladotanytarsus sp.</u>			+			
<u>Cladotanytarsus mancus</u>			+	++		
<u>Tanytarsus bathophilus</u>			+	++		
<u>Tanytarsus medius</u>				++	+	
<u>Tanytarsus lugens</u>				++		
<u>Micropsectra fusca</u>			+		+	
<u>Micropsectra sp.3</u>						+
<u>ORTHOCLADIINAE</u>						
<u>Diaesini</u>						
<u>Prodiamesa bathyphila</u>	+	+	+			+
<u>Prodiamesa olivacea</u>						
<u>Metriocnemini</u>						
<u>Parakiefferiella sp.</u>				+		
<u>Orthocladiini</u>						
<u>Psectrocladius barbimanus</u>				+		

Figure 39 : Larves de Chironomides des retenues du Verdon(liste systématique classes d'abondance)

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
Parametriocnemus 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 40 - Liste faunistique des larves de Chironomides récoltées dans la vase de la retenue de Serre-Ponçon.

	Castillon	La Chaudanne	Ste-Croix	Quinson	Gréoux	Esparron
<u>Enchytraeidae</u>				+		
<u>Limbriculidae</u>						
<u>Limbriculus variegatus</u>		+				
<u>Naididae</u>						
<u>Ophidonais serpentina</u>			+	+		
<u>Tubificidae</u>						
<u>Tubifex tubifex</u>	+		+	+	+	+
<u>Limnodrilus immatures</u>	++	++	+++	+	+	+
<u>Limnodrilus hoffmeisteri</u>	+		++			
<u>Limnodrilus profundicola</u>	+			+		
<u>Limnodrilus claparedeinus</u>	+		+			
<u>Limnodrilus udekemianus</u>			+			
<u>Potamothrix immatures</u>	++				++	
<u>Potamothrix keuscheri</u>	+				+	+
<u>Aulodrilus pluriset</u>					+	
<u>Tubificidae (soies indéterminées)</u>	++	+	+++	+	+	

Figure 41 - Oligochètes récoltés dans la vase des lacs du Verdon.
(liste systématique, classes d'abondance Dét.Giani)

de Chironomides et des Oligochètes. Accessoirement on rencontre des Nématodes des Hydracariens, des oeufs de résistance de Cladocères, des Copépodites IV de Cyclopidés en diapause, des Ostracodes, quelques éphémères et Ceratopogonides.

La figure 39 p.80 montre que dans les lacs du Verdon on a recensé 26 espèces réparties en 3 sous-familles avec 3 espèces de Tanypodinae, 19 espèces de Chironominae et 4 espèces d'Orthocladiinae.

La liste des espèces récoltées à Serre-Ponçon où des débris végétaux sont beaucoup plus abondants est plus longue : 58 espèces dont 7 tanypodinae, 24 chironominae et 27 orthocladiinae (figure 40 p.81)

12 espèces d'Oligochètes ont été recensées dans le benthos des lacs du Verdon, 3 espèces à Serre-Ponçon où peu de prélèvements ont été étudiés (figure 41 p.82)

L'espèce largement dominante dans tous les lacs et à toutes les profondeurs est Procladius choreus.

Les Chironomides sont plus abondants à Serre-Ponçon, à Gréoux et plus encore dans l'anse d'Esparron (Chironomus commutatus, C.thummi, Polypedulum nubeculosum).

On rencontre des espèces réputées d'eau courante parmi les Orthocladiinae, près du cours submergé du Verdon et de la Durance.

3.212 - Répartition de la faune benthique

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.

Des prélèvements ont été faits à Serre-Ponçon en juin, août et novembre 1978, dans des stations situées 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 (figure 42 p.90)

La faune colonise toutes les profondeurs de 0 à 100 m, mais le développement relatif des larves de Chironomides change du bord au centre des lacs : elles sont plus nombreuses au bord (62%) puis se raréfient vers le centre (13%). Au contraire les Oligochètes passent de 8% au bord à 65% dans les zones les plus profondes (figure 43 p.90).

Dans la figure 44 p.91, on a fait une estimation de la densité à partir de la moyenne arithmétique $\bar{X}$ des quantités de Chironomides et d'Oligochètes capturés dans plusieurs échantillons pris dans chaque lac depuis le printemps 1977, à raison d'un prélèvement par saison.

Le peuplement benthique est peu dense à Castillon et à la Chaudanne où il est équilibré entre Oligochètes et Chironomides.

Sainte-Croix est le lac le plus riche en faune benthique (508 individus au litre). Ces résultats corroborent ceux obtenus sur les biomasses du zooplancton et des poissons dans ce même lac. C'est également le seul lac qui présente une faune benthique où les Oligochètes dominent.

A Quinson, le peuplement sur l'ensemble du lac est comparable à ce qu'il est à la Chaudanne. La prise en considération des prélèvements effectués dans l'herbier, très riche en larves de Chironomides, mais qui correspond à un secteur très localisé donne une image faussée, par excès, de la faune benthique dans le lac.

Gréoux et Serre-Ponçon ont des densités de population du même ordre comprenant plus de 3/4 de larves de Chironomides.

L'anse d'Esparron possède également une densité remarquable d'invertébrés benthiques (306/l) due à l'importante pollution organique qui résulte du déversement direct des eaux usées du village.

D'après ces résultats, il semble qu'il n'y ait pas d'influence majeure des variations du niveau d'eau sur la densité des invertébrés benthiques, d'un lac marné à un lac non marné. Ainsi, les trois retenues où le marnage est important possèdent des

peuplements benthiques différents : densité forte à Sainte-Croix, moyenne à Serre-Ponçon, et faible à Castillon. Par contre, la densité de la faune benthique dépend de l'état d'eutrophie.

3.213 - Mode de survie à l'assèchement

- Au début du retrait des eaux, on a constaté dans des zones relativement planes, la présence d'une grande quantité d'Oligochètes et de Chironomes dans l'eau et dans la vase du bord.

C'est le cas à Sainte-Croix en septembre 1978, où l'on obtenait 46 individus par litre dans une zone exondée distante d'un mètre de la limite des eaux, et 289 individus par litre (dont 283 Chironomes) dans une zone distante de 10 cm.

C'est encore le cas à Serre-Ponçon en novembre 1978, où on a trouvé 540 individus par litre (dont 538 Chironomes) à 20 cm du bord.

Ainsi une certaine quantité de Chironomes bons nageurs peuvent suivre un retrait progressif et lent de l'eau.

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

- Après 4 et 5 mois d'assèchement, on a récolté à Serre-Ponçon de grandes quantités de 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, à Castillon, 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).

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.

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.

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 reprendre leur cycle biologique dès la remontée du niveau, au printemps. Mais la survie n'est possible que dans le cas où la période de marnage se situe en hiver. Dans ces conditions, l'humidité relative du sédiment est toujours égale à 100% et la température ne dépasse pas 10°C. Les larves sont tuées lorsque la prolongation de l'exondation entraîne une dessiccation poussée de la vase comme à Castillon, en mai 1978. Ces constatations laissent penser que les conséquences d'un marnage estival seraient beaucoup plus néfastes aux larves de Chironomides.

Les Oligochètes ont pu coloniser le fond des lacs par ce qu'ils se montrent capables de tirer partie de la teneur en oxygène de ce milieu et par ce qu'ils peuvent s'adapter à une anaérobiose facultative. Ces limicoles 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.

Lorsqu'une baisse importante du niveau des eaux intervient, les Oligochètes des zones de marnage se trouvent soumis à des conditions d'humidité et de température défavorables. On sait par ailleurs que certains limicoles résistent en s'enkystant sous une enveloppe de mucus durci secrété par les téguments. Il existe des kystes d'été sous lesquels les vers (Lamprodilus) peuvent se multiplier asexuellement et supporter une dessiccation de plusieurs mois. Au début des froids ($6^{\circ} > T^{\circ} < 15^{\circ}$ chez Aelosoma) il y a formation de kystes d'hiver qui ne résistent pas à l'assèchement et qui libèrent leurs hôtes lorsque l'eau redevient tiède ($18-20^{\circ}$). 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 à 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 n'apporte plus d'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 déplacement 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: sous cet état seulement, 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.

	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

Figure 42 - Répartition des Oligochètes et des larves de Chironomides dans les différents substrats des lacs de retenues.

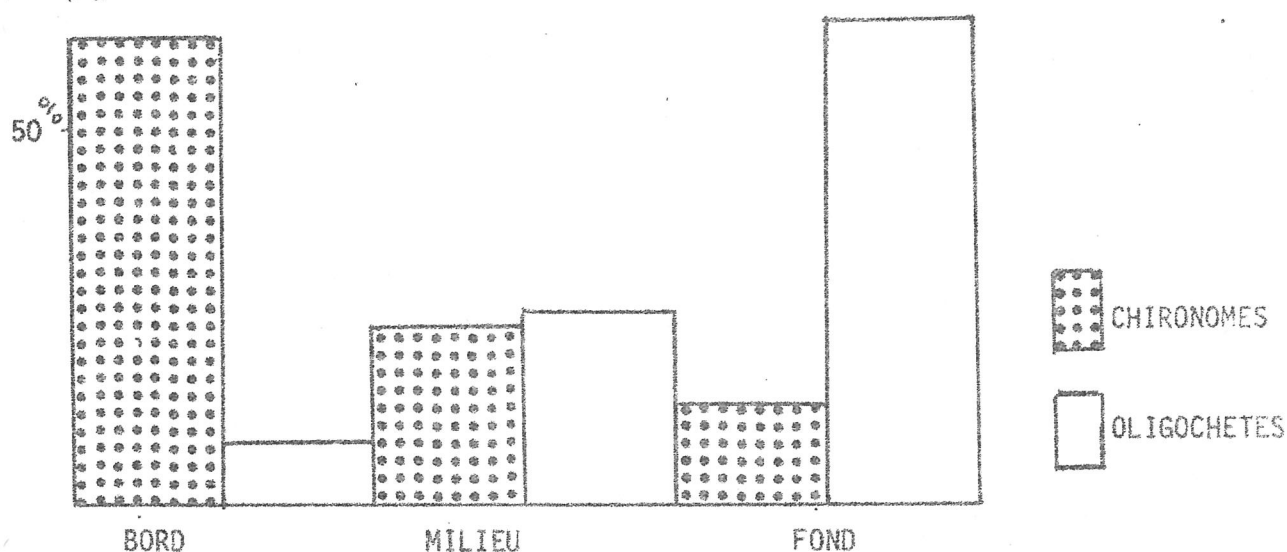


Figure 43 - Variations des populations d'Oligochètes et de Chironomes en fonction de la profondeur.

Lacs	Serre-Ponçon	Castillon	Chaudanne	Sainte-Croix	Quinson	Gréoux	Esparron	
Bord 0-30m	137 4	25 0		91 798	656 ⁺ 14	130 13	475 125	Chironomes Oligochètes
Milieu 30-60m	165 53	12 2	34 25	68 242	6 16	39 28	6 4	Chironomes Oligochètes
Fond + de 60m	27 51	56 110	5 23	32 290				Chironomes Oligochètes
	110 36	31 38	20 24	64 444	331 15	85 21	241 65	Chironomes Oligochètes
Densité	146	69	44	508	346	106	306	Chironomes + Oligochètes
Dominance	75 25	45 55	45,5 54,5	12,6 87,4	95 5,1	80,2 19,8	78,8 21,2	% Chironomes % Oligochètes

Figure 44 - Densité de la faune benthique dans les stations des lacs du Verdon et de Serre-Ponçon.
(individus/litre)

+ dans l'herbier

D - LES PROBLEMES PISCICOLES

1. Dans le cours de la rivière

Le Verdon est encore une excellente rivière à truite. Si la restitution d'eau froide est favorable à ce poissons dans le Bas-Verdon, le régime d'éclusee après la Chaudanne, les gravières dans les Haut et Moyen Verdon ne peuvent être que préjudiciables aux frayères.

Depuis 7 ans, les pêcheurs ont remarqué la présence de truites malades au niveau et en amont de Sainte-Croix, jusqu'à Allos, de chevesnes malades dans le lac de Sainte-Croix. Malgré des recherches approfondies menées pour E.D.F. il ne nous a pas été possible de déterminer les causes et la nature de cette maladie.

Les chevesnes et les truites malades sont plus ou moins recouverts de lésions tégumentaires en relief formant des taches dépigmentées recouvertes de mucus blanchâtre et disposées principalement sur la partie dorsale, près de la tête. Ces taches intéressent seulement la peau. Les branchies ne sont pas colmatées. La dissection montre le parfait état des muscles et des viscères ainsi que l'absence de crustacés et de vers parasites (cependant les lésions atteignent les muscles sur certaines truites capturées par les pêcheurs dans le Haut-Verdon).

Les analyses bactériologiques qui ont été confiées au laboratoire d'Ichtyopathologie de l'INRA, à Versailles, se sont révélées négatives. Les chevesnes et les truites ne sont pas atteints d'une maladie virale ou de mycose par ailleurs fréquentes et bien connues chez les poissons.

La mesure des teneurs en pesticides organochlorés dans les muscles et la graisse d'échantillons de truite n'a pas aboutit à la constatation de concentrations anormales (dans les muscles, en g/kg 7,2 de HCH; 133,2 de DP5; 8,4 pp'DDE; pas de HCB; dans les graisses en mg/kg 0,35 de HCH; 6,08 de DP5; 3,83 de pp'DDE; pas de HCB).

Enfin, la recherche de pollutions éventuelles, par exemple à partir du camp militaire de Canjuers, a montré, au contraire, la qualité des eaux, non seulement du Verdon, mais aussi de ses affluents.

2. Dans les lacs de retenues

2.1 - Inventaire (figure 45,p.95)

19 espèces ont été recensées. Elles appartiennent à 6 familles. Les Salmonidés ne sont représentés que par la truite fario (forme lacustre). Les Cyprinides fournissent le plus grand nombre d'espèces (12) et d'individus (99,50% des 2794 poissons pêchés). Ils sont principalement représentés par les espèces que l'on trouve couramment dans les plans d'eau, comme le gardon et le barbeau, mais aussi par le chevesne et le toxostome considérés jusqu'ici comme affectionnant surtout les eaux courantes.

2.2 - Répartition

Pour un même effort de pêche, le stock le plus important se trouve dans Sainte-Croix (58% des poissons pêchés). La faune piscicole est également bien représentée dans Gréoux (24%). Les trois autres lacs sont plus pauvres : 9% à Quinson, 6% à Castillon vidangé en 1971, 2% à la Chaudanne vidangé en 1974.

Le toxostome, poisson sans intérêt gastronomique, est de loin l'espèce la plus abondante dans les retenues du Bas-Verdon. Il représente la moitié de l'effectif de la population piscicole du lac de Sainte-Croix. La limite de sa distribution naturelle située à la sortie des Grandes Gorges (Aiguines) explique son absence dans Castillon et la Chaudanne.

Le gardon, espèce introduite, se développe bien dans les zones où un herbier aquatique est présent, comme à Gréoux. Son absence de Quinson s'explique par le non alevinage de la retenue.

La truite, présente sur tout le Verdon, est particulièrement bien développée à Sainte-Croix et Quinson où les individus atteignent un poids supérieur à 5 kg. Dans Castillon et Sainte-Croix, cette espèce peut remonter le Verdon à la recherche de frayères. Ailleurs, les lacs ne sont en libre communication avec aucun cours d'eau.

La reproduction des Salmonidés pourrait s'effectuer dans les retenues où l'on a observé, à deux occasions, la fraie de quelques individus sur la berge graveleuse et peu pentue des retenues de Sainte-Croix et de Quinson. Le maintien d'un niveau constant pendant la période de fraie serait alors d'un grand intérêt. La pêche de truites à Gréoux, retenue complètement fermée, confirme cette hypothèse qu'il serait capital de conforter.

2.3 - Structure des populations

2.31 - Diversité (D', Schannon, 1963, figure 46 p.95)

La comparaison de la structure des populations piscicoles de chacun des lacs par le calcul de l'indice de Shannon et de l'équitabilité montre que le peuplement n'est généralement pas équilibré par suite de la dominance d'une ou deux espèces.

2.32 - Degré d'affinité (Ia, Southwood, 1966, figure 47 p.95)

On reconnaît 4 groupes d'espèces. Le groupe 1 se compose d'espèces autochtones qui ont survécu et se sont développées après la mise en eau des retenues. Le groupe 3, où les affinités sont très fortes, est formé par des espèces introduites par les associations de pêche.

2.33 - Analyse multidimensionnelle (composantes principales normées, figure 48 p.96 et analyse factorielle des correspondances figure 49 p.96)

L'analyse multidimensionnelle a permis d'avancer des explications supplémentaires quant à la structure des populations piscicoles des lacs artificiels du Verdon :

- l'alevinage est un des facteurs principaux explicatifs

de la composition piscicole des retenues de Castillon et la Chaudanne puisque c'est le rotengle qui apparaît comme l'espèce de poisson caractéristique de ces lacs. Cette espèce semble très bien supporter la grande amplitude des variations saisonnières de température et de niveau qui sont typiques de ces 2 plans d'eau très proches l'un de l'autre sur les graphiques.

- la mise en eau récente et l'importante biomasse zooplanctonique qui en résulte seraient responsables de l'abondance des populations de toxostomes, de chevesnes, de tanches, de barbeaux et de truites dans Sainte-Croix. A Gréoux, le développement du gardon semble résulter de la présence d'hydrophytes et des invertébrés qu'ils abritent.

- La production piscicole dans les retenues du Verdon est sous la dépendance de facteurs variables selon les lacs. Mais il n'y a pas de corrélation entre la production piscicole des lacs du Verdon et leur régime d'exploitation (niveau constant ou marnage).

2.4 - Croissance des poissons

Elle est différente suivant les plans d'eau. La construction des histogrammes de fréquence des tailles montre un développement plus important des individus dans les lacs avals. L'examen de la relation longueur-poids des poissons ($p = a l^b$) a mis en évidence un fort embompoint chez les truites de la retenue de Sainte-Croix où le coefficient d'allométrie b atteint 3,8 pour 2,8 à Castillon, 2,9 à Quinson et 3,1 à Gréoux. Ce phénomène est certainement lié à la très forte productivité générale du milieu lors de la mise en eau de la retenue.

Lacs	Cas- tillon (1)	Chau- danne (2)	Sainte- Croix (3)	Quinson (4)	Gréoux (5)
SALMONIDAE <i>Salmo fario</i> (TRUI.)	16	1	44	29	9
CYPRINIDAE <i>Spirinthus bipunctatus</i> (SPIR.)	—	—	—	—	1
<i>Rutilus rutilus</i> (GARD.)	126	16	22	—	335
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (ROT.)	5	33	3	—	2
<i>Barbus barbus</i> (BARB.)	—	—	65	11	12
<i>Phoxinus phoxinus</i> (VAIR.)	—	—	—	5	3
<i>Leuciscus soufia</i> (BLAG.)	1	—	2	39	4
<i>Leuciscus cephalus</i> (CHEV.)	9	—	576	124	115
<i>Chondrostoma nasus</i> (HOTU)	—	—	—	—	10
<i>Chondrostoma toxostoma</i> (TOXO.)	—	—	848	41	163
<i>Tinca tinca</i> (TANC.)	3	1	53	5	2
<i>Cyprinus carpio</i> (CARP.)	1	2	1	—	1
<i>Gobio gobio</i> (GOUL.)	2	—	—	5	2
ESOCIDAE <i>Esox lucius</i> (BROC.)	1	2	1	—	1
ANGUILLIDAE <i>Anguilla anguilla</i> (ANGU.)	—	—	2	1	2
COTTIDAE <i>Cottus gobio</i> (CHAB.)	—	—	3	1	—
<i>Zingel asper</i> (APRO.)	—	—	—	3	—
PERCIDAE <i>Percia fluviatilis</i> (PERC.)	1	3	13	—	11
<i>Lucioperca lucioperca</i> (SAND.)	—	—	—	—	1

Figure 45 - Inventaire piscicole des retenues du Verdon. Résultat des pêches en nombre d'individus capturés.

Lacs	Castillon	Chaudanne	Sainte-Croix	Quinson	Gréoux
I sh	1,37	1,73	1,73	2,34	2,04
E	0,41	0,62	0,45	0,68	0,50

Figure 46 - Valeurs de l'indice de diversité et de l'équitabilité dans les lacs du Verdon.

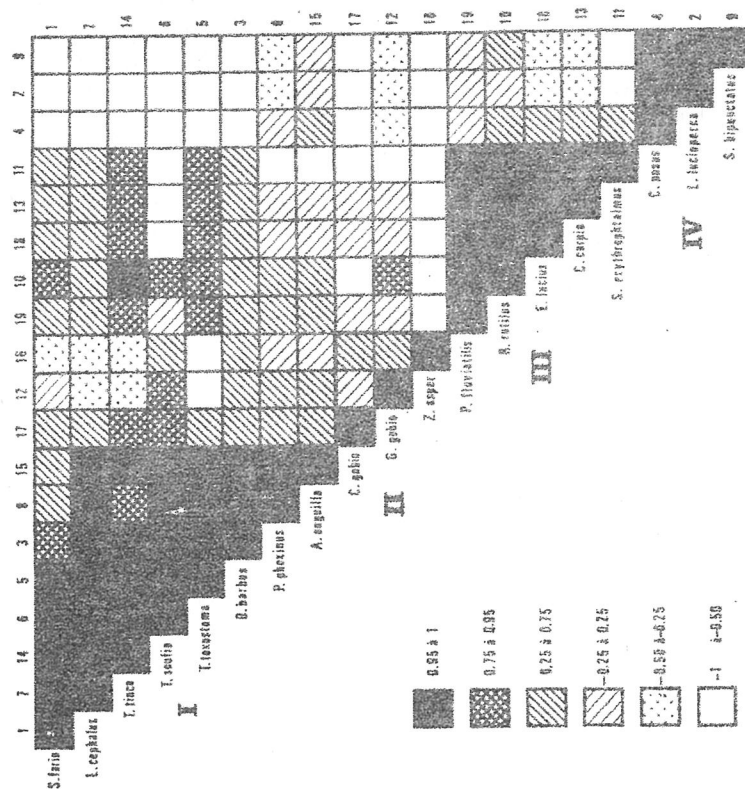


Figure 47 - Matrice des indices d'association des espèces de poissons. I, II, III, IV = groupements d'espèces

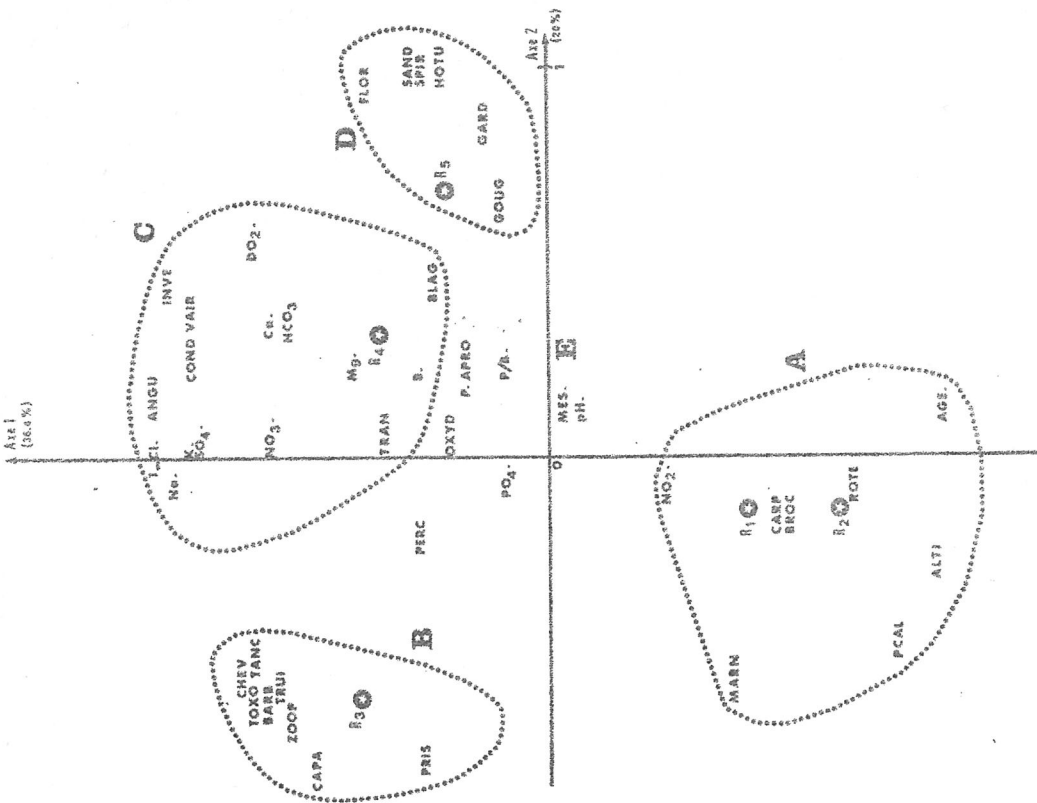


Figure 49 - Analyse factorielle des correspondances.
Position des retenues et des variables mésologiques et biocénotiques (dont les poissons) sur le plan des deux premiers axes.

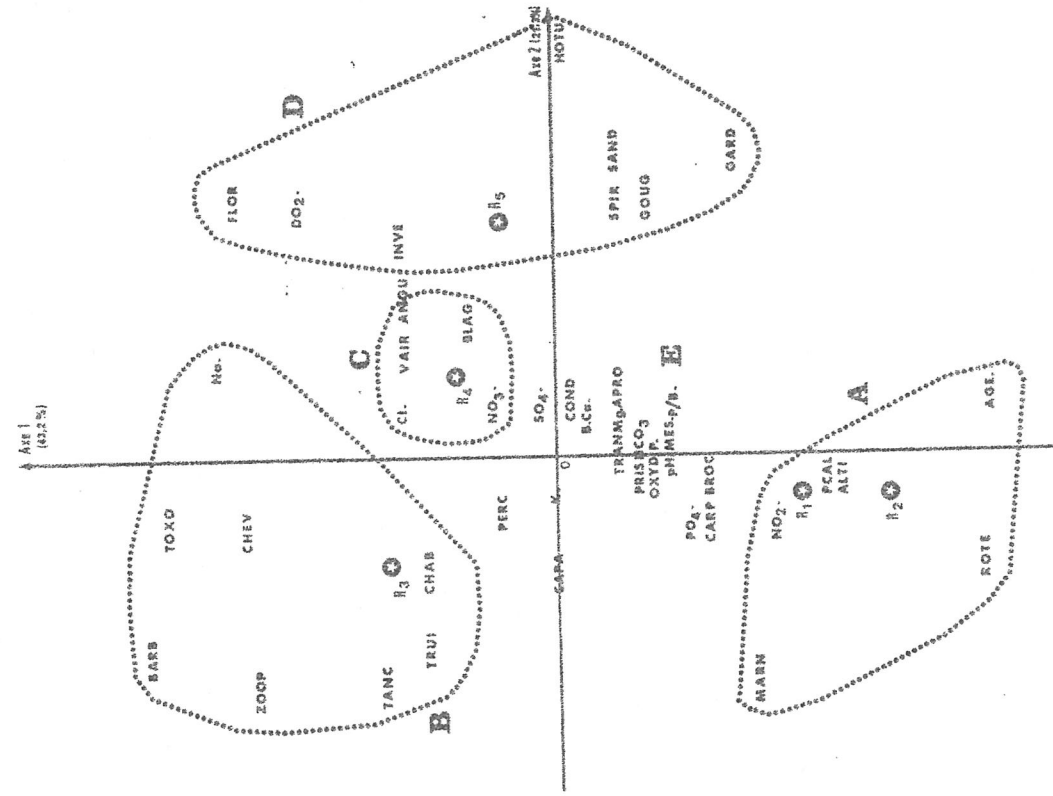


Figure 48 - Analyse en composantes principales normées. Position des retenues et des variables mésologiques et biocénotiques (dont les poissons) sur le plan des deux premiers axes.

Il apparaît à la suite de cette étude que le marnage hivernal pratiqué sur 3 lacs de retenue du Verdon et sur le lac de Serre-Ponçon n'est pas préjudiciable à la vie planctonique. Ce résultat devra être confirmé par le suivi de plusieurs cycles annuels consécutifs.

La production planctonique (phyto et zoo) a été plus élevée en 1978 après un hiver sans marnage. Il serait intéressant de pouvoir confirmer cette observation et vérifier l'hypothèse selon laquelle le marnage pourrait limiter le processus qui aboutit à l'eutrophisation estivale.

L'essentiel de la flore benthique est éliminé par le marnage. Par contre le zoobenthos résiste en quiescence (Chironomides et Oligochètes) à une longue période de marnage hivernal. Il n'en serait pas de même à la suite d'un marnage en été pour les larves de Chironomides tuées par la dessiccation du substrat.

Les conditions et les limites de la survie des Invertébrés benthiques nous semblent mériter une étude approfondie, ainsi que les possibilités de régénération des Oligochètes liées à une diapause qui intervient chez ces animaux en cas de marnage prolongé.

Des observations encore fragmentaires laissent entrevoir la possibilité, pour les truites, de frayer dans les retenues. Si ces possibilités étaient confirmées par des études ultérieures on peut imaginer l'intérêt que présenteraient :

- d'une part, l'intervention de la baisse de niveau avant la période de fraie,
- d'autre part, le maintien d'un niveau constant pendant l'incubation des oeufs.

L'implantation des barrages est fortement préjudiciable à la faune d'invertébrés caractéristiques du rhithron, en particulier dans 2 cas :

- celui d'un débit réservé trop faible,
- celui de l'adoption du régime d'éclusées.

La biomasse de ces Invertébrés (donc les possibilités trophiques de la rivière pour les truites) est affectée avant leur diversité spécifique.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- BOUCHAUD (B.) et CLAVEL (P.) 1978 - Les exploitations de granulats d'alluvions et les aménagements de cours d'eau dans l'écosystème aquatique. Leurs incidences sur le périphyton et la production primaire dans le cours inférieur de la Dore. Rapport financé par le Ministère de l'environnement et du Cadre de Vie. Université de Clermont II : 213 p.
- COLLOMB (G.) GREGOIRE (A.) CHAMPEAU (A.) 1979 - Typologie des retenues françaises. La Houille blanche (A paraître).
- CORDIER (B.) 1965 - L'analyse factorielle des correspondances. Thèse de Doct. 3ème cycle. Univ. de Rennes : 66 p.
- DOUGLAS (B.) 1958 - The Ecology of the attached Diatoms and other algae in a small stony stream. J.Ecol., 46 : 295-322.
- GAGNEUR (J.) 1976 - Etude des Diptères du Lot et étude de la retenue de Cajarc. Thèse de 3ème cycle. Toulouse 189 p.
- GREGOIRE (A.) 1975 - Effets de la vidange décennale de la retenue de la Chaudanne sur les biocénoses du Verdon (octobre 1974). Rev.Biol.Ecol.Medit., 2 (2) : 15-26.
- LAIR (N.) 1975 - Rôle du zooplancton dans les réseaux trophiques de deux lacs du Massif Central français. Thèse d'Etat 166 p. Univ. de Clermont-Ferrand.
- LAVILLE (H.) 1972 - Recherches écologiques sur les chironomides (Diptera) des lacs de montagne. Thèse de doctorat, Sciences, Université de Toulouse : 413 p.
- MAC CAULEY (U.J.E.) 1976 - Efficiency of a trap for catching and retaining insects emerging from standing water. Oikos 24 (3) : 479-482.
- MARGALEF 1957 - La théorie de la información en ecología. Mem.Real.Acab. Cien. Artes.Barcelone 32 (13) 373-449.
- MATHIEU (P.) GENTES (P.) et GAUTHIER (J.P.) 1979 - L'âge de nos lacs. Rapport INRS-Eau. Québec 57 p.
- MILBRINK (G.) et WIEBERHOLM (T.) 1973 - Slumping efficiency of 4 types of mud bottom slumpers. Oikos 24 (3) : 479-482.
- SAKAMOTO (M.) 1966 - The chlorophyll amount in the euphotic zone in some Japanese lakes and its significance in the photosynthetic production of phytoplankton Community. Bot.Mag.Tokyo, 79, p.77-78.
- WHITTAKER et FAIRBANK 1957 - Studies of plankton copepods communities in the Columbia basin in southeast Washington. J.ecol. (47) 83-101.
-