

LES POPULATIONS DE DIATOMÉES D'UNE RIVIÈRE A DÉBIT RÉGULÉ : LE VERDON

par G. MILLERIOUX¹, A. GREGOIRE² et A. CHAMPEAU³

L'évolution de la structure des populations de diatomées a été suivie le long du Verdon à l'aide de substrats artificiels immergés, en tenant compte de l'emplacement des apports et des barrages. Le but était de déterminer l'impact des ouvrages hydro-électriques sur un cours d'eau fortement aménagé.

Cet impact se présente sous deux formes liées au type d'exploitation des aménagements. Le régime d'éclusées entraîne une réduction de la biomasse des diatomées mais un maintien de la diversité spécifique, alors que la restitution d'un débit réservé faible et constant permet le développement d'une flore algale relativement abondante mais peu diversifiée. Dans ces deux cas de figures, les effets induits par les barrages sont amortis vers l'aval par les autres composantes du milieu.

Diatom populations of a regulated river : the Verdon.

The structural development of diatom populations has been followed along the Verdon, using submerged, artificial substrata and taking into consideration the presence of deposits and dams. The aim of this study was to determine the impact of hydro-electric constructions on the regulated river.

The impact is considered in two categories according to the type of regulation. The damming brings about a reduction of diatom biomass but maintains species diversity, whilst the restoration of a low but constant flow produces a relatively abundant but less diverse algal flora. In both categories, the effects caused by the damming are weakened towards the river mouth through other features of the environment.

1. — INTRODUCTION

Le Verdon est caractérisé par une eau de bonne qualité (Grégoire et Champeau 1978). Toutefois, la présence de cinq barrages hydro-électriques aux modes d'exploitation variés risque d'entraîner des modifications dans la structure des biocénoses de ce cours d'eau.

Comme Coste (1978) l'a mentionné dans son étude de la Seine, « il est préférable de porter une attention plus marquée aux formes benthiques associées plus étroitement aux conditions locales ». Afin de

1. Equipe d'Hydrobiologie Régionale, Université de Clermont II, B. P. 45, 63170 Aubière.

2. E.D.F., Direction de l'Équipement, Département S.E., 3, rue de Messine, 75008 Paris.

3. Laboratoire de Biologie-Ecologie, Université de Provence I, 1, place Victor-Hugo, 13331 Marseille Cédex 3.

déceler l'impact d'aménagements hydro-électriques sur une rivière, nous avons donc pris en compte les diatomées, algues benthiques les mieux représentées dans le Verdon.

Les diatomées sont considérées comme de bons indicateurs de la qualité physico-chimique de l'eau. Les indices diatomiques mis au point par Coste (1974) et Descy (1976) sont basés sur l'étude quantitative des communautés de diatomées ainsi que sur la polluo-sensibilité et la valeur indicatrice d'une centaine de taxons déterminées par analyse multivariable. Ces algues réagissent à la variabilité des facteurs biotiques et abiotiques qui interviennent dans le milieu.

Les observations portant sur la composition spécifique du phytobenthos dans les cours d'eau à débit régulé sont très succinctes. D'une manière générale, la décroissance de la turbidité de l'eau à l'aval du réservoir, favorise le développement des algues vertes et en particulier des diatomées (Lowe 1979). Dans une analyse plus fine, Douglas (1958) a recherché les conditions de développement de l'espèce *Achnanthes* à l'aval des aménagements hydro-électriques. Il en déduit que le facteur de débit est prépondérant en regard de la lumière et de la température.

2. — LE MILIEU

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 3 tronçons par les aménagements hydro-électriques d'E.D.F. (fig. 1) :

- le « Haut-Verdon » compris entre la source (3 052 m) et la retenue de Castillon (880 m),
- le « Moyen-Verdon » coulant au fond des Grandes Gorges, entre les retenues de la Chaudanne (720 m) et de Sainte-Croix (480 m),
- le « Bas-Verdon » aménagé sur les 2/3 de sa longueur et conservé à l'état naturel seulement de Gréoux (310 m) à sa confluence avec la Durance (254 m).

Son bassin versant, d'une altitude moyenne de 1 055 m, s'étend sur une superficie de 2 218 km². De forme très allongée, la vallée représente une succession de zones larges et de gorges correspondant à la nature des terrains traversés.

La granulométrie du fond des tronçons encaissés est caractérisée par des blocs et galets (57 % du cours d'après CARZON 1957) alors que le lit des zones élargies est formé de graviers et de vase (43 % du cours).

Le régime de ce cours d'eau est de type pluvio-nival avec un débit moyen annuel naturel de 30 m³/s au confluent.

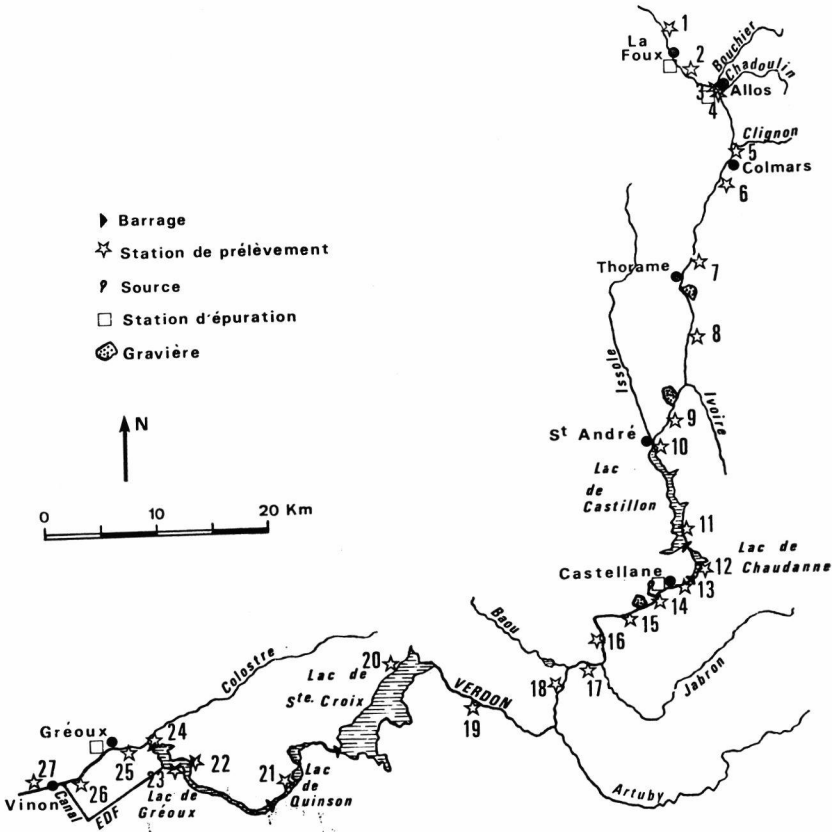


FIG. 1. — Le Verdon. Carte de situation.

En amont de Castellane, les terrains en majorité imperméables rendent le régime tributaire de la pluviosité. Celui-ci est de type torrentiel avec 2 périodes de basses eaux (hiver et été) séparées par 2 périodes de crues (automne et printemps).

Dans le Grand Canyon, le régime réel du Verdon est très irrégulier car soumis aux lachures des usines hydro-électriques de Castillon et Chaudanne. Il peut ainsi passer en une journée de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (débit réservé) à $42 \text{ m}^3/\text{s}$ (turbinage maximal).

L'hydrologie du Bas-Verdon est aussi sous l'étroite dépendance du programme d'exploitation des barrages E.D.F. Au droit de la retenue de Gréoux, le Verdon est dérivé de son cours naturel dans un canal dont le débit peut atteindre $55 \text{ m}^3/\text{s}$. La plus grande partie, soit $21 \text{ m}^3/\text{s}$ en moyenne, est utilisée par la Société du Canal de Provence pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation. Le reste retourne à la rivière après utilisation par l'usine hydro-électrique de Vinon, 14 km

plus en aval. Le tronçon court-circuité est alimenté par le Colostre (environ $1 \text{ m}^3/\text{s}$) et le débit réservé laissé au barrage de Gréoux ($1 \text{ m}^3/\text{s}$ en été, $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ le reste de l'année).

L'évolution des principaux paramètres physico-chimiques de l'eau le long du cours du Verdon est reportée sur la figure 2. La composition physico-chimique de l'eau est fortement influencée par la nature géologique de son bassin versant. Les terrains marno-calcaires expliquent le caractère bicarbonaté calcique de l'eau.

Les marnes, très sensibles à l'érosion, sont les constituants principaux des matières en suspension véhiculées par le cours d'eau en période de crues. Les apports en limons dans la retenue de Castillon sont évalués à $40\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ (Carzon 1957). Mais comme l'ont rapporté de nombreux auteurs, notamment Grégoire (1975) sur le Verdon, Vegvari (1976) sur la rivière Tiscia, Webster, Benfield et Cairns (1979) sur la New River, les retenues jouent souvent un rôle de bassin de décantation pour les matières en suspension.

Dans la région de Castellane, l'accroissement de la minéralisation est dû à des apports de chlorures de sodium et de sulfates suite au lessivage des couches profondes de sel gemme et de gypse par les eaux de percolation.

L'activité humaine réduite explique les faibles teneurs en sels nutritifs et en matières organiques caractérisant l'eau du Haut et Moyen Verdon.

La pollution organique décelée dans le Bas-Verdon (Grégoire, Rivier et Rondon 1975) a pour origine l'assainissement insuffisant des villages riverains auquel s'ajoute l'activité agricole du bassin versant du Colostre.

Enfin, du fait de la stratification thermique estivale des réservoirs et de la localisation des prises d'eau en profondeur, les eaux restituées sont fraîches toute l'année. Les teneurs élevées en oxygène dissous de l'hypolimnion des retenues entraînent, en outre, une bonne oxygénation de l'eau à l'aval des barrages (Grégoire et Champeau 1978).

3. — LES DIATOMÉES DU PERIPHYTON

3.1. — Techniques et méthodes

Les vingt-sept stations prospectées ont été choisies en fonction des apports exogènes : principaux affluents, sources de pollutions (rejets urbains, gravières), aménagements hydro-électriques (*fig. 1*). Au niveau de chaque station, des analyses physico-chimiques et des inventaires biocénétiques ont été réalisés.

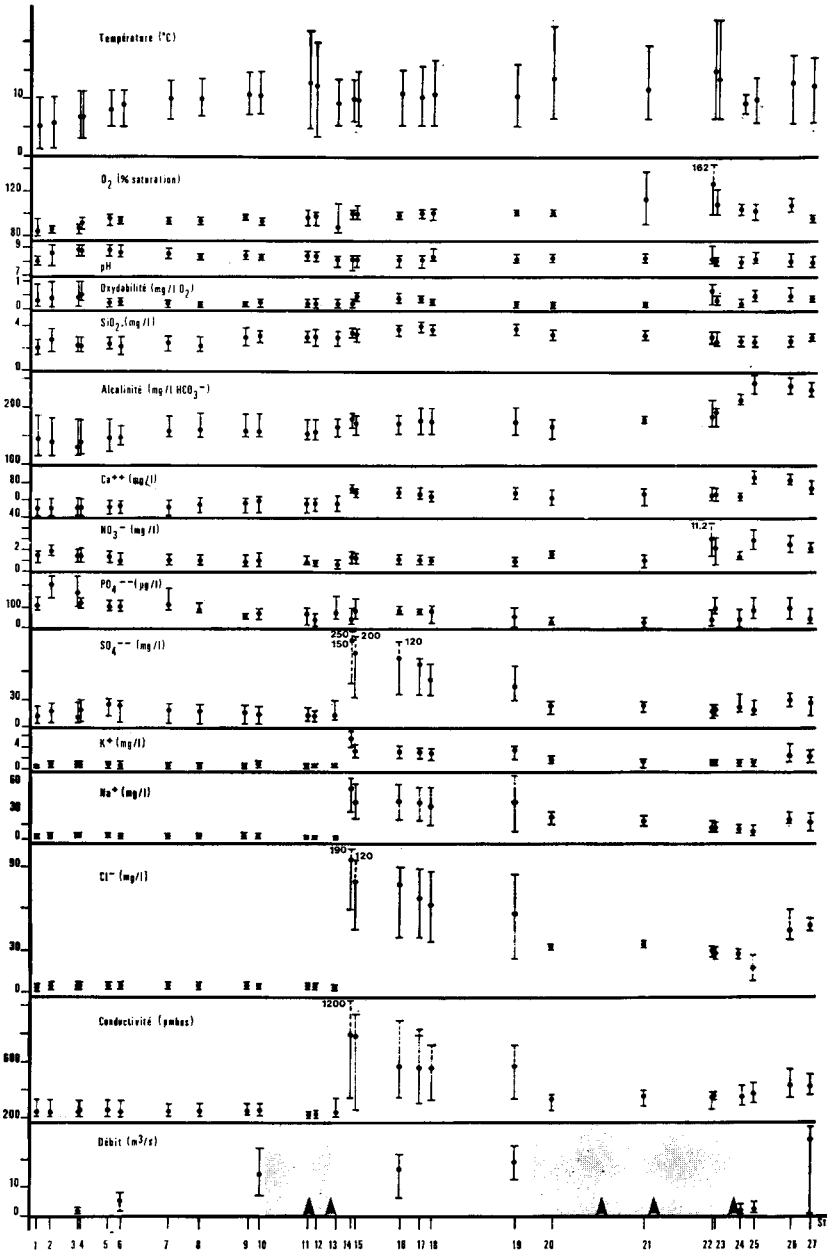


Fig. 2. — Evolution des caractéristiques physico-chimiques de l'eau le long du Verdon. Valeurs moyennes, minimales et maximales. Les flèches correspondent à l'emplacement des barrages et les parties hachurées aux retenues. (St.: stations).

Des substrats artificiels mobiles destinés au piégeage du périphyton, ont été laissés en dérive pendant environ un mois, du 1^{er} au 30 août 1978, période retenue par différents auteurs utilisant cette technique (Castenholz 1961, Wilhm et coll. 1978). Cet appareillage, constitué par des lames de verre porte-objet (Bouchaud et Clavel 1978) est préférable aux diatomètres trop voyants en région touristique. Toutefois, les substrats artificiels ayant disparu dans sept 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 (emploi du lugol fort, Bourrelly 1966). 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 (Van Dam 1974 ; Coste 1975) et une surface minimum correspondant à 30 champs optiques est explorée (utilisation d'un microscope Wild M 20, objectif $\times 50$ à immersion). L'inventaire réalisé n'est donc pas exhaustif. La présence d'espèces dont la fréquence est inférieure à 1 % peut être considérée comme accidentelle (Cholnoky 1968).

Les résultats des comptages de diatomées sur les substrats artificiels sont reportés dans le tableau 1 et la figure 3.

Le degré de structure des populations périphytiques a été estimé par le calcul de la diversité spécifique D' (Margalef 1961) dont les valeurs sont reportées sur le tableau 1 et la figure 4.

Afin de regrouper les stations pouvant présenter des affinités entre elles, une analyse mathématique des données a été réalisée. En raison du type des données dont nous disposons, nous avons choisi l'analyse factorielle des correspondances de Cordier (1965).

3.2. — Distribution des espèces

L'examen du tableau I permet de constater qu'un grand nombre d'espèces sont présentes aussi bien sur substrat naturel que sur substrat artificiel. C'est le cas d'*Achnanthes minutissima*, espèce dominante récoltée dans toutes les stations. Les observations de divers auteurs tendent à démontrer la nature ubiquiste de cette espèce ; Van Dam (1974), Evans et Marcan (1976) la signalent dans les eaux haute-

ESPECES	STATIONS																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	*18	*19	20	21	22	23	24	25	26	27
<i>Achnanthes funcoides</i> Gréb.																											
<i>Achnanthes minutissima</i> Kütz																											
<i>Achnanthes ovata</i> var. <i>pedunculata</i> Kütz																											
<i>Achnanthes pedunculata</i> Kütz																											
<i>Anomoeoneis foetida</i> (Ehr.) Cleve																											
<i>Cocconeis acuta</i> Kütz																											
<i>Cocconeis pleurexata</i> var. <i>superciliosa</i> (Ehr.) (Ehr.) Cleve																											
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehr. (Ehr.) Cleve																											
<i>Cyclotella nitidissima</i> (Gréb) Gréb																											
<i>Cyclotella nitidissima</i> (Gréb) Gréb																											
<i>Cymbella affinis</i> Gréb. (Gréb.) W. Smith																											
<i>Cymbella affinis</i> Kütz																											
<i>Cymbella exaristata</i> (Gréb.) Gréb																											
<i>Cymbella delicatula</i> Kütz																											
<i>Cymbella microcephala</i> Gréb																											
<i>Cymbella parvata</i> (Hertley) Cleve																											
<i>Cymbella sinuata</i> Gréb. ovata Hunt																											
<i>Cymbella verticosa</i> Kütz																											
<i>Denticula tenuis</i> var. <i>ovoides</i> (Gréb.) Hunt																											
<i>Dicoma vulgare</i> Bory																											
<i>Dicoma tenuis</i> Gr.																											
<i>Diploneis ovalis</i> (Mills) Cleve																											
<i>Fragilaria crotonensis</i> Milton																											
<i>Fragilaria pinnata</i> Ehr.																											
<i>Gomphonema bohemicum</i> Reich. et Fricke																											
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Lyngby) Kütz																											
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>caespitosum</i> Cleve																											
<i>Gomphonema parvum</i> Kütz																											
<i>Mastocella gracilis</i> Ehr.																											
<i>Mastocella capricornata</i> Kütz																											
<i>Mastocella amphibia</i> Gréb																											
<i>Mastocella dissimilis</i> (Kütz) Gréb																											
<i>Mastocella tenuis</i> Gréb																											
<i>Rhacocerosia curvata</i> (Kütz) Gréb																											
<i>Synedra acuta</i> Kütz																											
<i>Synedra ampersa</i> var. <i>angusticauda</i> (Kütz) Gréb																											
<i>Synedra urina</i> (Nitzsch) Ehr.																											
<i>Synedra vancouverica</i> (Kütz) Gréb																											
<i>Synedra ovalis</i> Kütz																											
Nombre total de cellules par cm ² (x10 ⁸)	8	137	10	21	2,59	1,93	1,26	2,24	1,54	1,09	2,6	26	26	0,37	1,594	30				106	226	115				2639	10870
Diversité spécifique D'	2,02	2,39	2,25	2,53	2,59	1,93	1,26	2,24	1,54	1,09	1,59	1,40	1,40	2,03	0,36	2,23	2,57	2,55	2,74	3,06	3,27	1,61				1,84	2,16

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

ment oxygénées, Schoemann (1972) dans les milieux peu riches en matières organiques, Stockner et Armstrong (1971) la considèrent par contre comme une espèce courante du potamon.

Des remarques analogues peuvent être formulées pour les espèces du genre *Cocconeis* également très bien représentées sur le Verdon. Toutefois *Cocconeis placentula* considérée par Pierre (1968) comme une espèce pouvant vivre dans les milieux eutrophes 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 *Achnantes minutissima* et *Cocconeis placentula* var. *euglypta* constituent à elles seules plus de la moitié des algues dénombrées. Sur le Verdon, elles cohabitent et supplantent alors les autres espèces, comme c'est souvent le cas (Brown et Austin 1973).

Leur association entraîne une compétition au bénéfice de l'une ou l'autre espèce : *C. placentula* var. *euglypta* domine aux stations 2 et 8, *A. minutissima* aux stations 16 à 26. Si, dans de rares cas, un équilibre s'établit entre elles (station 13), les deux espèces ont alors un petit développement.

Des espèces comme *Cocconeis pediculus*, *Cymbella affinis*, *C. ventricosa*, *Gomphonema bohemicum*, *G. olivaceum*, *Nitzschia romana*, *Surirella ovata*, quoique montrant des populations plus réduites sont également présentes tout le long du Verdon.

Par contre, d'autres espèces sont inféodées à un tronçon limité du Verdon :

- *Ceratoneis arcus* 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* uniquement en aval de Castillon,
- *Amphora ovalis* var. *pediculus* et *Nitzschia romana* dans le cours inférieur.

Selon Van Dam (1974) *A. ovalis* var. *pediculus* se trouve dans les stations où il existe des variations de la concentration en oxygène. La station 26 où elle montre un développement important est caractérisée par la présence d'un herbier d'hydrophytes recouvrant plus de 40 % du fond de la rivière. La consommation élevée d'oxygène au cours de la nuit pourrait expliquer la présence de cette espèce. La prolifération de *N. romana* à la station 27 est associée à l'enrichissement du Verdon en matières organiques et en éléments nutritifs.

Enfin, parmi les espèces inventoriées certaines sont planctoniques :

- *Cyclotella kützingiana* est présente sur les lames immergées dans les retenues ou à leur aval immédiat,
- *Fragilaria crotonensis* est localisée aux stations 6, 11, 13.

3.3. — Analyse des peuplements dans les 3 secteurs du Verdon

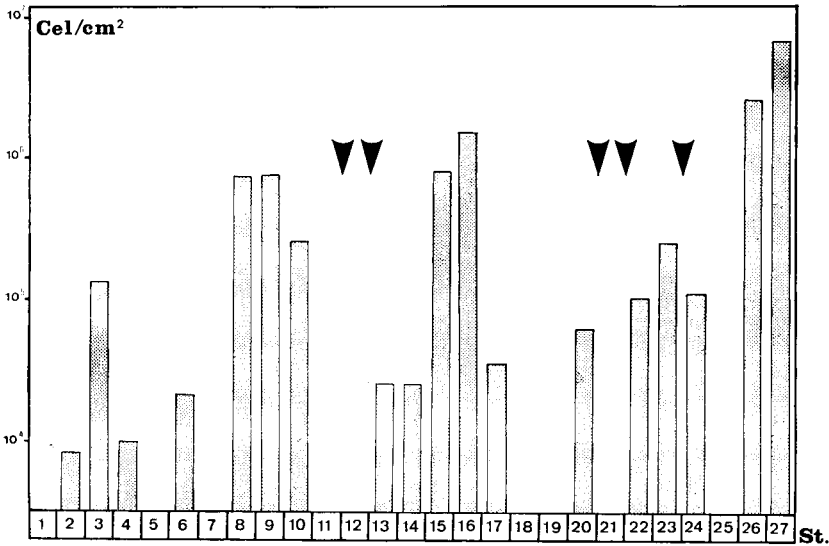


FIG. 3. — Variation de l'intensité de colonisation par les cellules (Cel.) de diatomées des lames immergées dans les différentes stations (St.). Les flèches correspondent à l'emplacement des barrages.

3.3.1. — LE HAUT-VERDON (stations 1 à 12)

Près de la source, la colonisation des lames aux stations 1 et 2 est très faible. Puis, les stations 3 à 7 situées à l'amont de Thorame sont caractérisées par des populations périphytiques bien diversifiées ($D' > 2$) mais peu nombreuses ($55 \cdot 10^3$ cel/cm² en moyenne). A ce niveau, le Verdon est pauvre en éléments nutritifs (fig. 2). Les apports en matières en suspension des affluents (Chadoulin et Clignon) semblent expliquer la faible colonisation des stations 4, 5 et 6 (10 - $20 \cdot 10^3$ cel/cm²), 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 sur la Dore, dans le Massif Central. Les matières en suspension colmatent les substrats et limitent ainsi le développement du périphyton. La colonisation plus importante observée à la station 3 ($137 \cdot 10^3$ cel/cm²) située à l'aval de la station d'épuration d'Allos peut être attribuée à un enrichissement local

du Verdon en éléments nutritifs. En outre, cette station est située dans un tronçon plus ensoleillé.

Le bon développement du périphyton (entre 271.10^3 et 77.10^3 cel/cm²) 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. Les valeurs de D' sont également plus petites qu'aux stations 2 à 6 (1,54 à 2,24).

3.3.2. — LE MOYEN-VERDON (stations 13 à 21)

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 (20.10^3 cel/cm²). La diversité spécifique, quoique plus faible que dans les stations du Haut-Verdon, présente des valeurs similaires à celles observées à l'amont des barrages de Castillon et Chaudanne ($D' = 1,5$). A la station 13, les espèces périphytiques sont très mal représentées. Cette station est sous l'impact direct de très fortes variations journalières de débit induites par le turbinage de l'usine de Chaudanne (0,5 à 42 m³/s). Ces conditions hydrauliques semblent s'opposer à la colonisation des substrats naturels et artificiels. Selon Douglas (1958), le développement des populations d'*Achnantes* est fortement influencé par les variations de débit. Toutefois, dès la station suivante, l'action des éclusées est moins nette : à la station 14 la colonisation encore 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 par la station d'épuration de Castellane et par les eaux usées du camping situé sur les bords de la rivière (837.10^3 et 1594.10^3 cel/cm²). 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 mais peu diversifiées ($D' = 0,86$). La pollution organique décelée à cet endroit semble en être la cause (Archibald 1972 ; Wilhm et coll. 1978).

3.3.3. — LE BAS-VERDON (stations 22 à 27)

Les stations situées entre la retenue de Quinson et le Colostre sont faiblement colonisées par rapport aux stations décrites précédemment (106 à 226.10^3 cel/cm²). Les lames étaient immergées soit dans les retenues, soit à leur aval immédiat. Comme à la station 13 (aval retenue de Chaudanne), à la station 24 (aval retenue Gréoux) des espèces planctoniques sont piégées au niveau du substrat. Malgré ce phénomène, les valeurs de D' sont relativement faibles à l'aval immédiat des retenues (1,59 et 1,61). La composition spécifique du périphyton de la

station 24 est, du fait de nombreuses *Cymbella* et de la dominance d'*Achnanthes minutissima*, différente de celle de la station 13. Au niveau des facteurs de l'environnement le seul changement entre ces deux stations vient de l'hydraulicité : la station 13 est soumise à un régime d'éclusées alors que la station 24 a un débit réservé faible mais constant de 1 m³/s environ.

Par contre, les fortes valeurs de la diversité notées dans les retenues ($D' > 3$, stations 20, 22 et 23) résultent de la cohabitation d'espèces planctoniques et d'espèces périphytiques sur les substrats rocheux.

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 eutrophisation est accentuée par le faible débit réservé en aval du barrage de Gréoux.

A l'aval immédiat du barrage de Gréoux, le développement sélectif de quelques espèces périphytiques semble résulter de la constance des facteurs abiotiques (principalement température basse et faible débit. La diversité spécifique diminue brusquement à la station 24 ($D' = 1,61$) pour augmenter ensuite et atteindre 2.16 à la station 26.

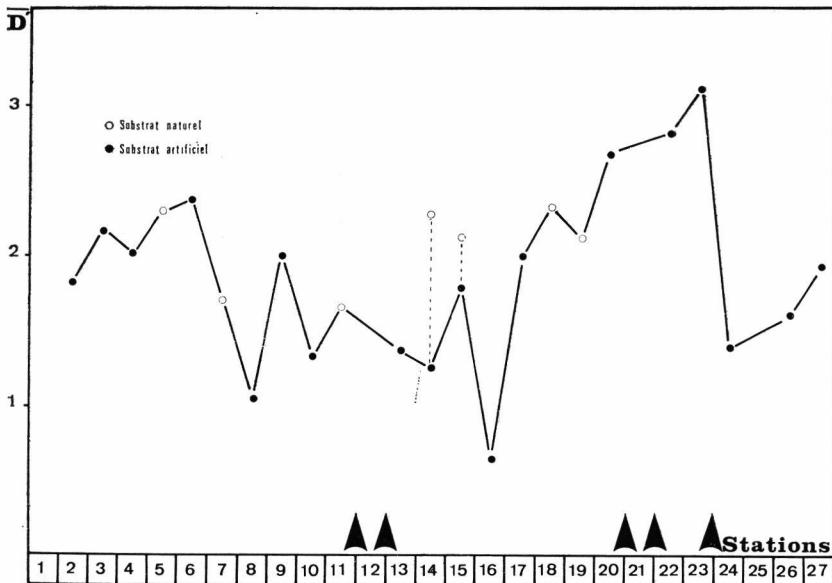


FIG. 4. — Variation de la diversité spécifique des diatomées le long du Verdon. Les flèches correspondent à l'emplacement des barrages.

3.4. — Analyse factorielle des correspondances de Cordier

Les deux premiers axes rendent compte de 36,49 % de l'inertie totale de l'ensemble des points (Tableau II).

TABLEAU II. — Valeurs propres, taux d'inertie et inertie cumulée pour les trois premiers axes.

	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

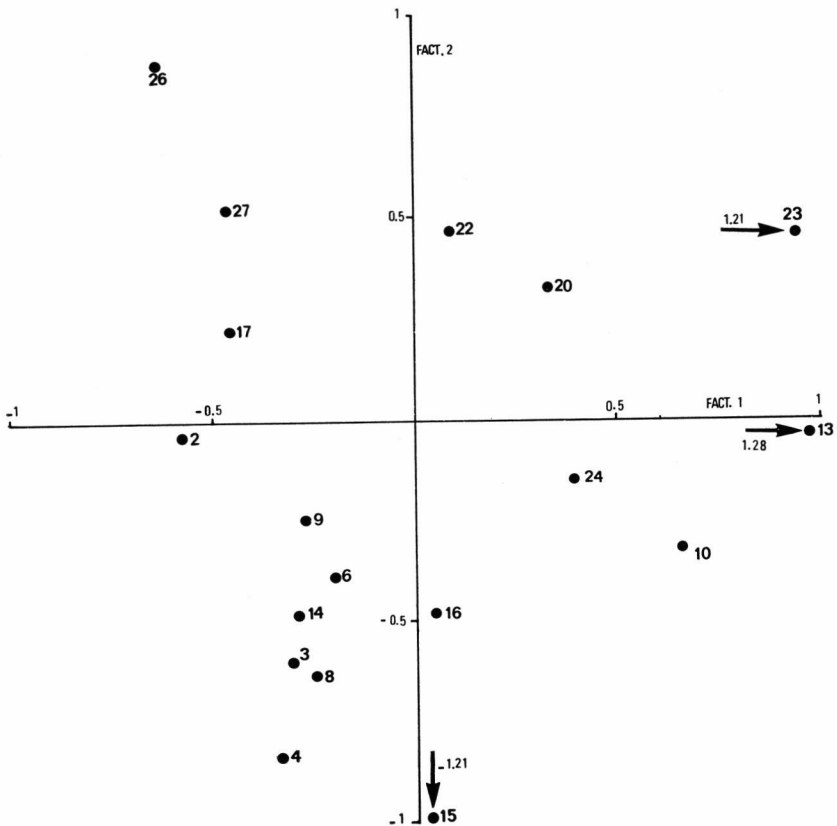


FIG. 5. — Analyse factorielle des correspondances sur les données relatives au peuplement de diatomées. Représentation des stations dans le plan des deux premiers axes d'inertie.

La représentation graphique de la distribution des stations dans l'espace des axes 1 et 2 (*fig. 5*) 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 systématique 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.

3.5. — Conclusions

Au terme de cette étude, nous pouvons constater que, sur le cours du Verdon, l'intensité de la colonisation des substrats est liée à 3 raisons essentielles :

1. 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.

2. 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 du Verdon court-circuité situé à l'aval du barrage de Gréoux, les populations périphtiques 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.

3. 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.

L'impact des aménagements hydro-électriques sur les populations de diatomées du Verdon est ainsi lié au mode d'exploitation des ouvrages :

- lorsque le tronçon de cours d'eau aménagé est soumis à un régime d'éclusées (aval du barrage de la Chaudanne), la densité des

cellules algales chute tandis que la diversité spécifique se maintient ;
— lorsqu'il n'est restitué à l'aval du barrage qu'un débit faible mais constant (aval du barrage de Gréoux), la densité des cellules algales ne subit pas de modifications significatives par rapport au secteur de rivière amont, mais la diversité spécifique est fortement réduite.

Dans ces deux situations, la notion de distance par rapport aux barrages est importante. Les effets directs induits par les aménagements hydroélectriques sont tamponnés, en moins de deux mille mètres, par les autres composantes du milieu : nature physique de l'eau, intensité de l'éclairement, présence de sources salées, rejets d'eau usée chargés en sels nutritifs et matières organiques.

TRAVAUX CITÉS

- ARCHIBALD (R. E. M.). 1972. — Diversity in some South African Diatom associations and its relation to water quality. *Water research*, 6 : 1229-1238.
- 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.
- BOURRELLY (P.). 1966. — *Les algues vertes* (I), Ed. Boubée et C^{ie}, Paris : 511 p.
- BROWN (S. D.) et AUSTIN (A. S.). 1973. — Diatom succession and interaction in littoral periphyton and plankton. *Hydrobiologia*, 43 (3-4) : 333-356.
- CARZON (J.). 1957. — Monographie hydrobiologique du Verdon. Doc. ronéo. E.D.F. R.E.H. Alpes III.
- CASTENHOLZ (R. W.). 1961. — An evaluation of a submerged glass method of estimating production of attached algae. *Verh. int. Ver. Limnol.*, 14 : 155-159.
- CHOLNOKY (B. J.). 1968. — *Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässern*. Cramer Ed., 699 p.
- CORDIER (B.). 1965. — L'analyse factorielle des correspondances. Thèse de Doct. 3^e cycle. Univ. de Rennes : 66 p.
- COSTE (M.). 1974. — Etude sur la mise au point d'une méthode biologique de détermination de la qualité des eaux en milieu fluvial. Etude effectuée par la Division Qualité des Eaux, Pêche et Pisciculture, C.T.G.R.E.F., Paris, 78 p.
- COSTE (M.). 1975. — A biological method for the assessment of the quality of the Main River based on benthic and periphytic diatom communities. *Commission of the European communities health protection directorate* : 11 p.
- COSTE (M.). 1978. — Sur l'utilisation des diatomées benthiques pour l'appréciation de la qualité biologique des eaux courantes. Méthodologie comparée et approche typologique. Thèse doct. Etat. Université de Franche-Comté : 143 p.
- DESCY (J. P.). 1976. — Etude quantitative du peuplement algal benthique en vue de l'établissement d'une méthodologie d'estimation biologique de la qualité des eaux courantes. Application au cours belge de la Meuse et de la Sambre. In : Recherche et Technique au Service de l'Environnement, CEBEDOC, Liège : 159-206.
- DOUGLAS (B.). 1958. — The Ecology of the attached Diatoms and other algae in a small stony stream. *J. Ecol.*, 46 : 295-322.

- EVANS (G. H.) et MARCAN (E.). 1976. — Diatom community response to variations in effluent concentration. *Environ. Pollut.*, 10 (2) : 115-126.
- GRÉGOIRE (A.). 1975. — Effets de la vidange décennale de la retenue de la Chaudanne sur les biocénoses du Verdon (octobre 1974). *Rev. Biol. Ecol. Médit.*, 2 (2) : 15-26.
- GRÉGOIRE (A.), RIVIER (B.) et RONDON (J.). 1975. — Etude écologique d'une petite retenue : le seuil de Gréoux. *Rev. Biol. Ecol. Médit.*, 2 (3) : 19-34.
- GRÉGOIRE (A.) et CHAMPEAU (A.). 1978. — Impact de plusieurs aménagements hydro-électriques sur la qualité physico-chimique de l'eau d'une rivière : le Verdon. *Cahiers de Montereau* (8) : 21-25.
- JONES (J. G.). 1978. — Spatial variation in epilithic algae in a stony stream (Wilfin Beck) with particular reference to *Cocconeis placentula*. *Freshwater Biology*, 8 : 539-546.
- LOWE (R. L.). 1979. — Ecological factors controlling stream phyto-benthos in regulated streams. *Res. Commun. of First Internat. Symp. on Regulated streams. Erie (U.S.A.)*.
- MARGALEF (R.). 1961. — Communication of structure in planctonic populations. *Limnol. Oceanogr.*, 6 (2) : 124-128.
- PIERRE (J. F.). 1968. — Etude hydrobiologique de la Meurthe. Contribution à l'écologie des populations algales. *Bull. Acad. Soc. Lorraine Sci.*, 7 (4) : 261-412.
- SCHOEMAN (F. R.). 1972. — Diatoms from sewage works in the Republic of South Africa and South West Africa. *Revista de Biologia*, 8 (1-4) : 57-95.
- STOCKNER (J. G.). 1967. — Observations of thermophilic algal communities in Mount Lainier and Yellowstone National Park. *Limnol. Oceanogr.*, 12 : 13-17.
- STOCKNER (J. G.) et ARMSTRONG (F. A. J.). 1971. — Periphyton of the Experimental Lakes Area, Northwestern Ontario. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 28 (2) : 215-229.
- VAN DAM (H.). 1974. — The suitability of diatoms for biological water assessment. *Hydrobiol. Bull.*, 8 (3) : 274-284.
- VEGVARI (P.). 1976. — Factors, natural fundamentals, and artificial effects determining the hydroecological state of the river Tisza. *Tiscia (Szeged)*, 11 : 11-16.
- WEBSTER (J. R.), BENFIELD (E. F.) et CAIRNS (J.). 1979. — Model predictions of the effects of stream regulation on particulate organic matter transport. *Res. Commun. of first internat. symp. on regulated streams. Erie (U.S.A.)*.
- WILHM (J.), COOPER (J.) et NAMMINGA (H.). 1978. — Species composition, diversity, biomass and chlorophyll of periphyton in Greasy Creek, Red Rock Creek, and the Arkansas River, Oklahoma. *Hydrobiologia*, 57 (1) : 17-24.
-