

**Tome 69**

**fascicule 7**

**Septembre 2000**

Abonnement 190 F — Le numéro 25 F

ISSN 0366-1326

**BULLETIN MENSUEL**  
**DE LA**  
**SOCIÉTÉ LINNÉENNE DE LYON**

**Siège social : 33 rue Bossuet, F 69006 LYON**

**Rédaction : P. BERTHET**

---

## **Distribution de la matière organique particulaire (M.O.P.) et de la faune invertébrée au niveau des milieux aquatiques interstitiels du bassin du Sebou (Maroc central).**

**Badreddine Naamane\*, Hassan Chergui\* et Eric Pattee\*\***

\* Hydrobiologie et Écologie Générale, Faculté des Sciences Dhar el Mehraz, B P. 1796, Fès-Atlas, Maroc. Mél. <naamaneb@yahoo.com>

\*\* UMR CNRS Écologie des Hydrosystèmes fluviaux, Université Claude Bernard Lyon I, F 69622 VILLEURBANNE Cedex, France. Mél.<eric.pattee@wanadoo.fr>

Résumé. - L'organisation des peuplements interstitiels dans le sous-écoulement de trois cours d'eau de la région de Fès (le Sebou, le Sidi Harazem et Ain Chkef) est étudiée à l'aide de substrats artificiels enfouis dans le sédiment à trois profondeurs -10, -30 et -50 cm, en relation avec les apports de matière organique particulaire et les caractéristiques hydrogéomorphologiques des cours d'eau.

Dans le Sebou (principal cours d'eau de la région) les apports allochtones sont très faibles et la végétation riveraine est presque inexistante. Le sous-écoulement héberge un peuplement interstitiel pauvre. A Sidi Harazem (ruisseau issu d'une source chaude), les berges sont abruptes et boisées avec beaucoup d'arbres et arbustes riverains. La matière organique particulaire est très abondante. Le peuplement interstitiel est très riche en espèces et caractérisé par une très nette dominance des brouteurs, des racleurs et des dilacérateurs de grosses particules. A Ain Chkef (source froide), le peuplement interstitiel est très largement dominé par les collecteurs de fines particules, principalement des crustacés Ostracodes. Les observations réalisées sur l'organisation des peuplements aquatiques souterrains et la distribution de la matière organique particulaire des sous-écoulements montrent que :

— La répartition de la matière organique particulaire dans les alluvions diminue généralement avec la profondeur. Son abondance dépend de la saison et de la station.

— L'évolution spatio-temporelle des peuplements aquatiques souterrains semble cependant ne pas dépendre uniquement de celle de la matière organique particulaire. Des décalages et des discordances sont souvent notés au niveau de l'évolution de ces deux composantes. Il n'y a de corrélation entre poids des matières organiques et biomasse des invertébrés qu'à Ain Chkef.

Mots-clefs - Groupes fonctionnels trophiques, alluvions, cours d'eau, substrats artificiels.

### **The distribution of particulate organic matter and fauna in some aquatic sediments of the Sebou catchment (Central Morocco).**

Summary. - Macroinvertebrate interstitial populations and their relationship with stream geomorphological characteristics and particulate organic matter (POM) input were investigated in the underflow of three streams (Sebou, Sidi Harazem, and Ain Chkef) near the city of Fes. POM and fauna were sampled from artificial substrates buried -10, -30, and -50 cm deep in the sediment of the stream.

Accepté pour publication le 15 février 2000

Along Oued Sebou (the main watercourse in this region) riparian vegetation was scarce, allochthonous organic input was low, and underflow fauna was poor. Oued Sidi Harazem issued from a warm spring, riparian vegetation and particulate organic matter were abundant and interstitial populations were rich in species and dominated by browsers, scrapers and shredders. At Ain Chkef, a cold lentic spring, the populations were dominated by collectors of fine particles, mainly ostracod Crustacea.

The amount of particulate organic matter usually decreased with depth and it varied among the streams and seasons. Fluctuations in the underground aquatic populations did not seem directly related to those of POM, time lags and independent changes of these parameters were occasionally observed. Mass of organic matter and invertebrate biomass were only correlated in Ain Chkef.

Key-words : Trophic functional groups, alluvia, streams, artificial substrates.

## INTRODUCTION

Les plaines alluviales sont le siège d'une circulation d'eau souterraine assurant le transport d'énergie sous forme de nutriments et d'oxygène de la surface vers les profondeurs. Ce domaine aquatique souterrain est milieu de vie, où évolue une faune plus ou moins diversifiée et abondante (COLEMAN et HYNES 1970, MORRIS et BROOKER 1979). La vie dans de tels systèmes (obscurité permanente, absence de production primaire, pauvreté en matières organiques) est donc sous la dépendance de la circulation de l'eau dans les sédiments et des apports d'énergie de l'extérieur, soit verticaux dans les zones d'infiltration des eaux de surface, soit latéraux par apport de substances dissoutes provenant de tout le bassin versant (MARMONIER et DOLE 1986, MEYER et al. 1988).

Des travaux ont été réalisés sur la distribution de la macrofaune et la méiofaune du milieu hyporhéique (STERBA 1978, MARMONIER 1988, DOLE-OLIVIER et MARMONIER 1992). Ce dernier est défini par ANGELIER (1962) comme étant le volume alluvionnaire baigné par le sous-écoulement, constituant ainsi un milieu de transition entre les eaux superficielles et les eaux phréatiques. Pour le Maroc, encore peu de données concernent actuellement cette écotone.

Sur le bassin du Haut Sebou et la plaine de Saïss, nous avons étudié la relation qui s'établit entre l'organisation des peuplements souterrains du sous-écoulement et les apports de matière organique particulaire. Dans ce travail, on cherchait à connaître les différences hydrologiques et biologiques entre trois stations interstitielles, et à étudier la variabilité de la structure verticale des biocénoses correspondantes, c'est à dire « l'effet profondeur ».

## SITES D'ETUDE (figure 1)

L'étude a été réalisée de novembre 1996 à novembre 1997 dans trois cours d'eau de la région de la ville de Fès (Maroc) et déjà étudiés par NAAMANE et al. (1999) : l'oued Sebou (fleuve) et son affluent l'oued Sidi Harazem (ruisseau issu d'une source chaude) situés dans le bassin du Haut Sebou à lithologie très variée où prédominent les calcaires et les marnes, et l'Aïn Chkef, source froide située dans la plaine du Saïss, sur des terrains miocènes de calcaire lacustre, entre le Moyen Atlas et les rides pré-rifaines.

### Le Sebou

La station S est située à 6 km à l'est de Fès, immédiatement en aval du pont Portugais sur la route Fès-Al Hoceima. Elle est caractérisée par une grande variation de la profondeur de l'eau, la largeur du cours d'eau, la vitesse rapide de son courant, la pauvreté de sa végétation aquatique et riveraine (Tableau 1) et la dominance de matériaux grossiers (86 % de particules > 1 mm) avec présence de matériaux de taille supérieure à 64 mm jusqu'à la profondeur de -50 cm (NAAMANE et al. 1999).

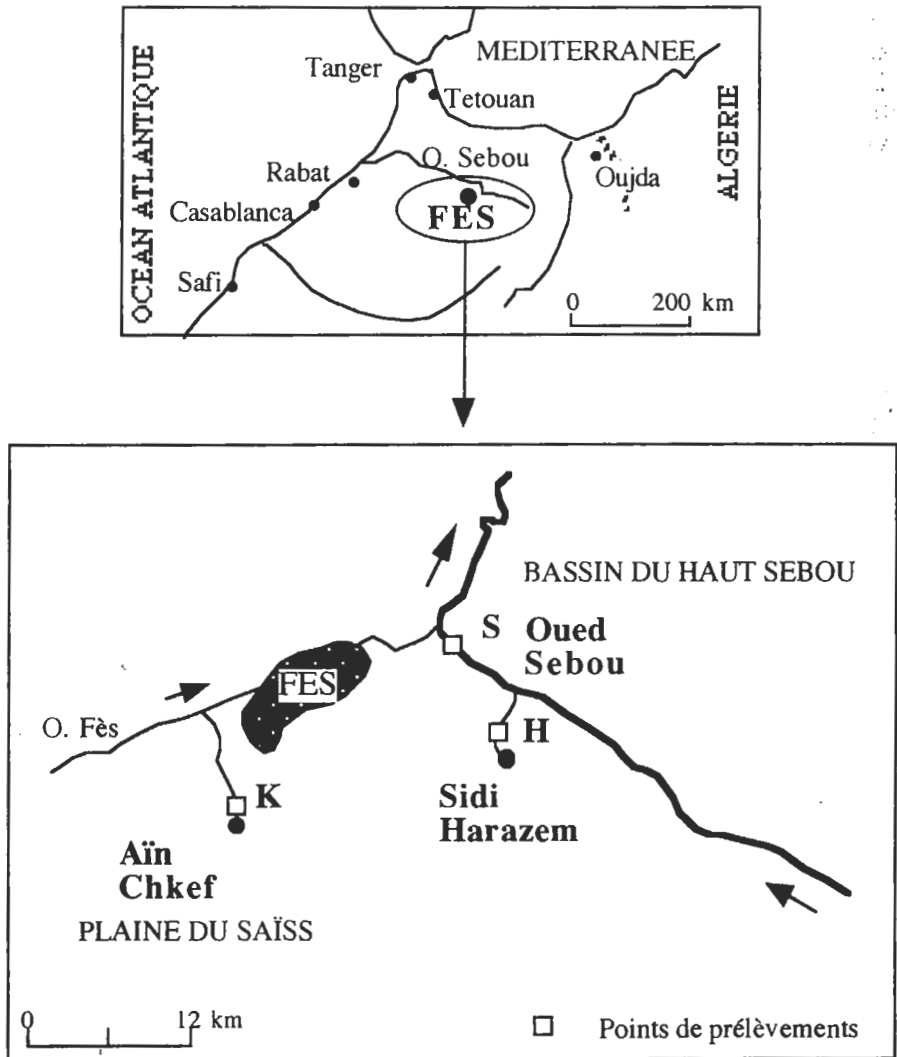


Figure 1 : Localisation géographique des stations d'étude dans la partie nord du Maroc.

Le Sidi Harazem

Il prend naissance dans les sources chaudes de Sidi Harazem (source hypothermale) et reçoit dans sa descente l'eau d'une résurgence froide et celle d'un petit affluent pollué par le village de Sidi Harazem. Les prélèvements étaient effectués au niveau de la station H (Tableau 1). Elle est située à 13 km à l'est de Fès, à une centaine de mètres de l'usine d'embouteillage de l'eau de Sidi Harazem. Les berges sont abruptes et couvertes de beaucoup d'arbres et d'arbustes.

L'Aïn Chkef

Cette résurgence qui émane des calcaires lacustres du Saïss est située à 6 km au sud de Fès. Elle donne naissance à un petit cours d'eau qui traverse la forêt d'Aïn Chkef. La végétation aquatique est importante (Tableau 1).

Les sédiments des stations d'Aïn Chkef et de Sidi Harazem sont dominés par des particules fines (sable et limons, respectivement 75 et 97 % de particules < 1 mm, (NAAMANE et al. 1999).

Tableau 1. - Caractéristiques des stations

	Sebou	Sidi Harazem	Aïn Chkef
Coordonnées Lambert	344,2 x 385,7	347,7 x 382,6	534,9 x 374
Altitude (m)	196	210	465
Profondeur (cm)	8 à 96	28 à 33	20 à 27
Largeur (m)	21	3	5 à 6
Vitesse maximum (cm/s)	70	25	18
Substrat superficiel	blocs, galets sable	cailloux, galets pierres	blocs, galets, sable et vase
Végétation aquatique	Algues vertes filamenteuses		<i>Oscillatoria</i> <i>Typha</i> , <i>Mentha</i> , <i>Helosciadium</i>
Végétation des rives	<i>Nerium oleander</i> <i>Foeniculum</i> chardons	<i>Rubus</i> sp. <i>Morus alba</i> <i>Arundo donax</i> <i>Cupressus</i> <i>Nephrolepis</i> <i>Convolvulus</i> <i>Rhamnus</i>	<i>Lavandula multifida</i> <i>Acacia cyanophylla</i> <i>Eucalyptus camaldulensis</i> <i>Morus alba</i> <i>Ficus carica</i> chardons

## MATERIEL ET METHODES

### Analyse physico-chimique de l'eau

L'évolution de facteurs caractéristiques du milieu aquatique a été suivie au cours d'un cycle annuel d'étude dans l'eau superficielle grâce à des flacons de 500 ml remplis directement dans l'oued, à proximité immédiate de l'emplacement des substrats et au fond de trous cylindriques artificiels à -50 cm de profondeur.

Parmi ces facteurs, la température, la conductivité, et le pH ont été mesurés directement sur le terrain. Deux autres facteurs sont mesurés au laboratoire : l'alcalinité et la dureté totale. L'oxygène dissous de l'eau superficielle a été mesuré par la méthode de Winkler, la réaction de précipitation puis dissolution du précipité par l'acide étant effectuée directement sur le terrain et la suite du dosage au laboratoire.

La mesure de l'oxygène dissous a été effectuée dans l'eau interstitielle. Celle-ci a été prélevée au moyen de la méthode des sondages tubés de BOU et ROUCH (1967) de novembre à mars 1999 (16/11 ; 02/12 ; 20/12 ; 08/01 ; 01/02 ; 23/02 et le 22/03), soit deux ans après les autres mesures, une fois que le matériel nécessaire a été disponible. L'eau interstitielle est directement pompée par l'intermédiaire d'une pompe péristaltique (type WAB) à partir d'une sonde enfoncée à -50 cm de profondeur, puis recueillie dans un flacon de 250 ml muni d'un bouchon rodé en évitant toute turbulence pour réduire les échanges gazeux avec l'air atmosphérique. Nous avons limité les quantités d'eau aspirée à 250 ml car l'aspiration prolongée peut entraîner l'eau des couches supérieures ou inférieures. L'oxygène a été mesuré comme précédemment.

### Périodicité de l'étude

Une série d'échantillonnages d'eau et de sédiment a été réalisée de novembre 1996 à novembre 1997 dans les trois stations, suivant une fréquence d'une campagne toutes les deux semaines. Lors de chaque période, le sédiment a été échantillonné à chacune des trois profondeurs -10, -30 et -50 cm, ce qui représente 648 prélèvements : 24 dates x 3 profondeurs x 3 stations x 3 répétitions. Les résultats sont représentés mensuellement (chaque point correspond à la moyenne de deux prélèvements).

### Technique des substrats artificiels

Les substrats artificiels nous ont paru les plus performants pour recueillir et prélever les macroinvertébrés benthiques du milieu superficiel et du milieu hyporhéique. Il s'agit de disposer dans le sédiment des cylindres en P.V.C. (50 cm de hauteur et 11,5 cm de diamètre interne) dont la paroi est perforée de trous de 15 mm de diamètre. Les supports du sédiment qui constitue le substrat lui-même consistent en 5 paniers de grillage galvanisé (maille de 5 mm) disposés les uns au-dessus des autres dans les tubes. Le diamètre externe de chaque panier est de 11,5 cm et sa hauteur est de 10 cm. L'espace entre le tube et le panier est donc réduit au minimum et la circulation de l'eau peut se faire à travers le sédiment. Le sédiment qui les remplit provient des alluvions de la zone prospectée, pour reconstituer au mieux le milieu. Il est au préalable nettoyé sous l'eau et séché au laboratoire afin d'éliminer toute trace d'organismes et de matière organique préexistants. Les

paniers ainsi remplis servent « d'habitat refuge » et permettent une étude de la stratification (MATHIEU *et al.* 1984). Ils ne représentent pas des pièges, les organismes peuvent évoluer librement dans tout leur volume et en sortir. L'extraction des paniers reste un des problèmes majeurs posé par ce type de technique. Il s'agit en effet de les retirer sans perdre leur contenu et la faune associée. Pour cela, la récupération et le remplacement des paniers se faisaient après avoir placé un demi-cylindre métallique de 50 cm de diamètre en amont du substrat, ce qui les protégeait de l'effet du courant. Les paniers étaient transférés le plus rapidement possible dans des boîtes en plastique, et ensuite remplacés par de nouveaux paniers.

Des substrats artificiels au nombre de trois étaient implantés dans chaque station. Au Sebou (S) où la vitesse du courant est élevée, ils étaient dans le chenal. Au Sidi Harazem (H) ils étaient situés à proximité des berges abruptes et boisées. A leur niveau, la hauteur d'eau restait importante même pendant l'étiage et la vitesse du courant était lente à moyenne. A Aïn Chkef (K) leur localisation était proche de la berge.

#### Matière organique des sédiments

« M.O. sup. 200 » représente la matière organique particulaire grossière dont la taille est supérieure à 200  $\mu\text{m}$ . L'analyse des sédiments a été principalement orientée sur cette fraction grossière. Tombée directement dans l'eau ou entraînée par l'eau ou le vent, cette fraction constitue le principal apport allochtone pour ces cours d'eau.

Les sédiments contenus dans chaque panier sont lavés de façon répétée sur un tamis de 200  $\mu\text{m}$  de vide de mailles sous un jet d'eau. La M.O. inférieure à 200  $\mu\text{m}$ , issue en partie de la décomposition des particules grossières, traverse le tamis et n'est donc pas prise en compte. Après avoir séparé manuellement les organismes du sédiment restant, ce dernier est séché à 40 °C pendant 48 heures, puis pesé à 0,1 mg près, ensuite passé dans un incinérateur à 550 °C pendant 1 heure et enfin pesé de nouveau à 0,1 mg près. La différence des deux pesées représente le poids des M.O. sup. 200.

#### Prélèvement de la faune

De nombreux travaux utilisant cette méthode des substrats artificiels ont pu mettre en évidence la diversité faunistique à l'intérieur des sédiments du lit des cours d'eau (COLEMAN et HYNES 1970, BISHOP 1973, MATHIEU *et al.* 1984). La durée optimale d'immersion des substrats pour atteindre l'équilibre du peuplement est différente selon les conditions locales. Les recherches sur les milieux non encore échantillonnés à l'aide de cette technique doivent être précédées d'expériences visant à connaître le temps optimum de colonisation. En milieu interstitiel, MATHIEU *et al.* (1984) ont trouvé qu'une stabilité spécifique est atteinte en un mois. Nous avons réalisé des prélèvements d'essais à intervalles de 15 et 30 jours pour les trois stations, pour chacune 4 prélèvements après une durée de pose de 15 j et 2 prélèvements après 30 j. Les résultats ont montré que :

— pour les invertébrés aquatiques, il n'y avait pas de différence entre les deux durées d'exposition (la richesse spécifique et les effectifs ne différaient pas).

— pour la quantité de M.O.P., aucune différence n'a été notée non plus.

A l'issue d'une durée d'exposition de 15 jours, la recolonisation des places vides à différentes profondeurs (- 10, -30 et -50 cm) était suffisante. Elle intéressait généralement tous les groupes systématiques, ce qui permettait d'avoir une vue d'ensemble du peuplement. Ces résultats sont à la fois qualitatifs et quantitatifs, autorisant des comparaisons. Ainsi, dans le présent travail, le temps d'échantillonnage a été fixé à 15 jours  $\pm$  1.

#### Tri et dénombrement des macroinvertébrés

Après les lavages répétés du contenu de chaque panier, les organismes sont séparés manuellement des débris organiques sous loupe binoculaire (cette étape est facilitée par l'addition de rose Bengale qui colore sélectivement les organismes, WILLIAMS et WILLIAMS 1974). Ces derniers sont conservés dans une solution de formol à 5%, puis dénombrés par groupes trophiques.

Pour caractériser la structure des peuplements, nous avons utilisé l'indice de diversité spécifique de SHANNON et WEAVER (KHALAF et TACHET 1977). Cet indice tient compte non seulement du nombre total d'individus et du nombre total d'espèces, mais aussi du nombre d'individus à l'intérieur de chaque espèce.

#### Mesure de la biomasse

Cette mesure est réalisée après conservation des animaux dans la solution formolée. HOWMILLER (1972), DONALD et PATERSON (1977), MASLIN et PATTEE (1981) ont montré que certaines substances (graisses, pigments) passaient en solution dans les liquides conservateurs. Le poids frais des organismes après conservation devient inférieur au poids initial. La biomasse des macroinvertébrés est mieux évaluée en mesurant le poids obtenu après séchage des animaux et leur liquide conservateur pendant 24 heures dans une étuve à 105 °C.

Les poids secs sont mesurés à l'aide d'une balance sensible au 1/10 de mg.

Certains prélèvements renfermant très peu d'individus par groupe faunistique, les macroinvertébrés de chaque panier ont été séchés et pesés dans leur totalité sans distinction systématique.

## RESULTATS

### **Données physico-chimiques (figure 2).**

#### *Eau superficielle*

##### — Température

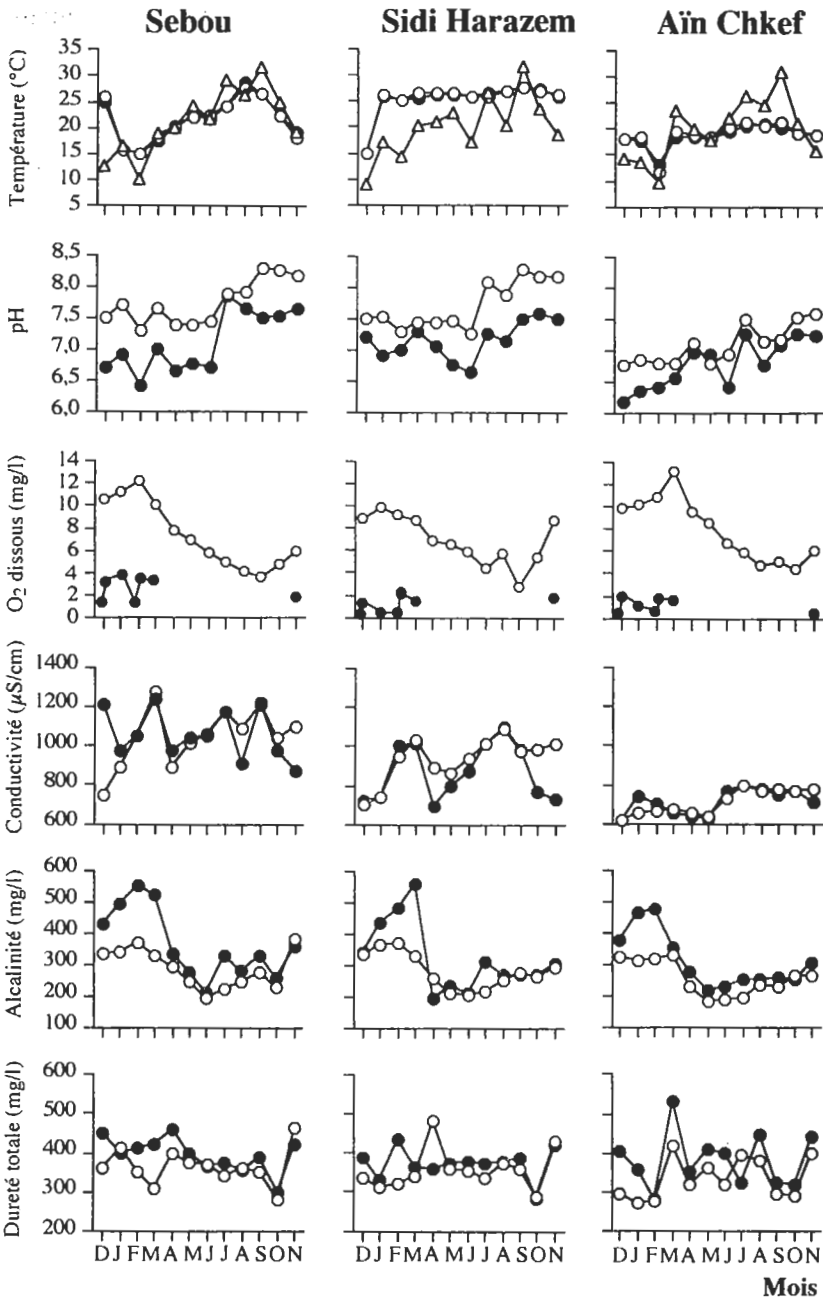
En H et K sauf en hiver, la température de l'eau varie peu, indépendamment de la température de l'air. L'eau de H provient d'une source chaude, elle avoisine 26 °C. Celle de K provient par contre d'une source froide, sa température ne dépasse pas les 21 °C. L'eau superficielle du Sebou présente des fluctuations thermiques importantes. Elle est plus exposée aux variations saisonnières, avec des valeurs basses en hiver (minimum en février : 15 °C) et élevées en été (maximum en août : 28 °C).

##### — pH

L'eau des trois stations présente généralement les mêmes évolutions en fonction du temps. Le pH est plus faible en hiver et s'élève en été.

##### — Oxygène

Les concentrations en oxygène dissous, exprimées en mg/l, au niveau des trois



**Figure 2 :** Variation des facteurs physico-chimiques de l'air (triangles blancs), de l'eau superficielle (points blancs) et de l'eau prélevée à -50 cm au fond des cylindres (points noirs) dans les trois stations de décembre 1996 à novembre 1997. Cependant les points noirs de l'oxygène dissous représentent la teneur de l'eau interstitielle récoltée par pompage de novembre 1998 à mars 1999.

stations augmentent en hiver pour diminuer en été. L'eau apparaît plus oxygénée à K et en S qu'en H.

— Conductivité

Respectivement pour S, H et K, la minéralisation varie entre 750 et 1275  $\mu\text{S}$ , entre 700 et 1087  $\mu\text{S}$  et entre 620 et 793  $\mu\text{S}$ . L'évolution dans le temps de la minéralisation des eaux des trois stations n'est pas identique : au cours de l'année 96-97, les valeurs en K sont faibles au printemps et légèrement plus élevées en été/automne. A la station du Sebou (la plus exposée aux changements de débit) l'amplitude des variations est plus élevée qu'à la station H.

— Alcalinité

Elle varie entre 204 et 372 mg/l en H, entre 183 et 330 mg/l en K. Les teneurs sont légèrement plus élevées en S (entre 195 mg/l et 384 mg/l). L'évolution dans les trois types d'eau est relativement identique au cours du temps, présentant des valeurs élevées en hiver et basses en été.

— Dureté totale

Les eaux des trois stations présentent des teneurs élevées en calcium et en magnésium avec des fluctuations durant toute la période d'étude.

*Eau prélevée au fond des cylindres.*

Au fond des cylindres, la température, la conductivité et la dureté sont voisines de celles de la surface, mais le pH est plus faible et l'alcalinité en hiver est plus élevée. La concentration en oxygène dissous de l'eau interstitielle prise en 1999 est nettement plus faible qu'en surface; elle varie de 0,2 à 1,9 mg/l en H et K. Dans le Sebou, cette eau est plus oxygénée ( 1,3 à 3,9 mg/l).

**Distribution de la matière organique supérieure à 200  $\mu\text{m}$  (M.O. sup. 200)**

Les macroinvertébrés ayant été enlevés au préalable, la M.O. sup. 200 est constituée en grande partie des débris végétaux sous forme de feuilles, de brindilles, de fragments de mousses, de rameaux et de fruits. En effet, son étude au niveau des sédiments des trois cours d'eau révèle l'existence d'apports allochtones. On a pu identifier : dans le Sebou des feuilles mortes en dégradation de l'espèce *Nerium oleander* ; dans le Sidi Harazem des feuilles et des tiges d'*Arundo donax*, des fruits de *Morus alba* et des déjections de bétail ; enfin à Aïn Chkef, des feuilles et des fruits de *Morus alba* et de *Ficus carica*.

Les quantités globales de M.O.P. accumulées dans chacune des trois stations varient du simple à plus du double au cours des 13 campagnes d'étude (figure 3). A Sidi Harazem on constate une décroissance progressive au cours de l'étude, avec d'une part des pics qui coïncident avec les apports importants de l'automne (D-J-F) et avec la lenteur du courant au printemps-début été (M-J-J) qui facilite la sédimentation, et d'autre part des minimums qui coïncident avec des crues en avril et en novembre (figure 4) mais pas en décembre-janvier. La figure 5 montre clairement une ségrégation de la station H, pour laquelle les quantités globales accumulées sont les plus importantes. Ces quantités demeurent les plus élevées, quelle que soit la saison.

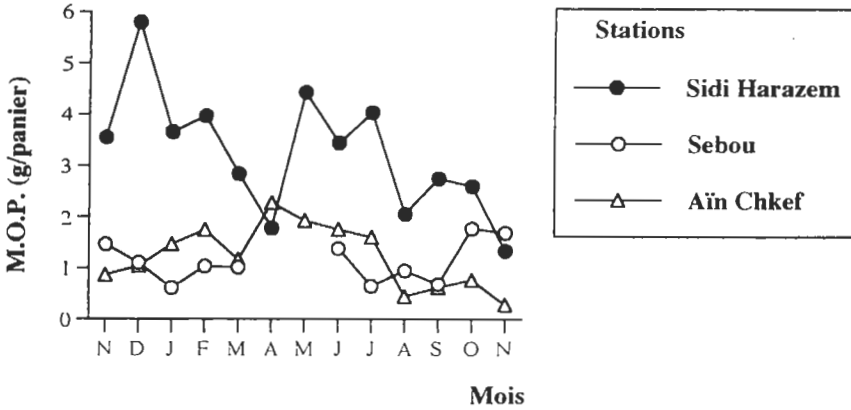
Des teneurs faibles s'observent généralement en faciès lotique (station S) où il y a peu de variations, les concentrations restant relativement stables au cours de l'année. Mais la valeur la plus basse est enregistrée au niveau de la station K (0,279 g/panier) en novembre 1997.

### Stratification

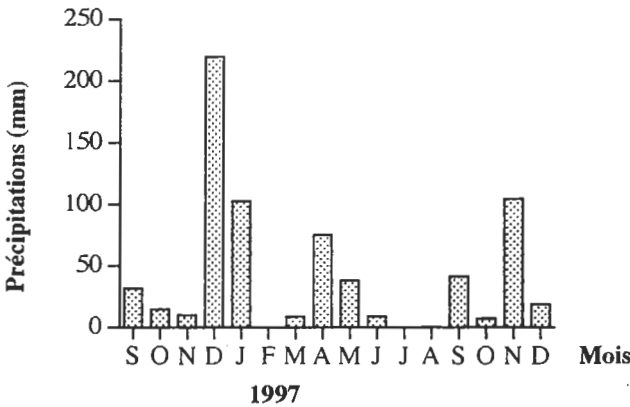
D'une façon générale, ce sont les paniers les plus superficiels (0 -10 cm) qui accumulent le plus de M.O.P. avec parfois l'installation d'un gradient décroissant en profondeur observé nettement à la station K à partir de mai 1997 et jusqu'en septembre (figure 5).

Les variations les plus importantes se manifestent en surface avec une plus grande stabilité au niveau des couches inférieures.

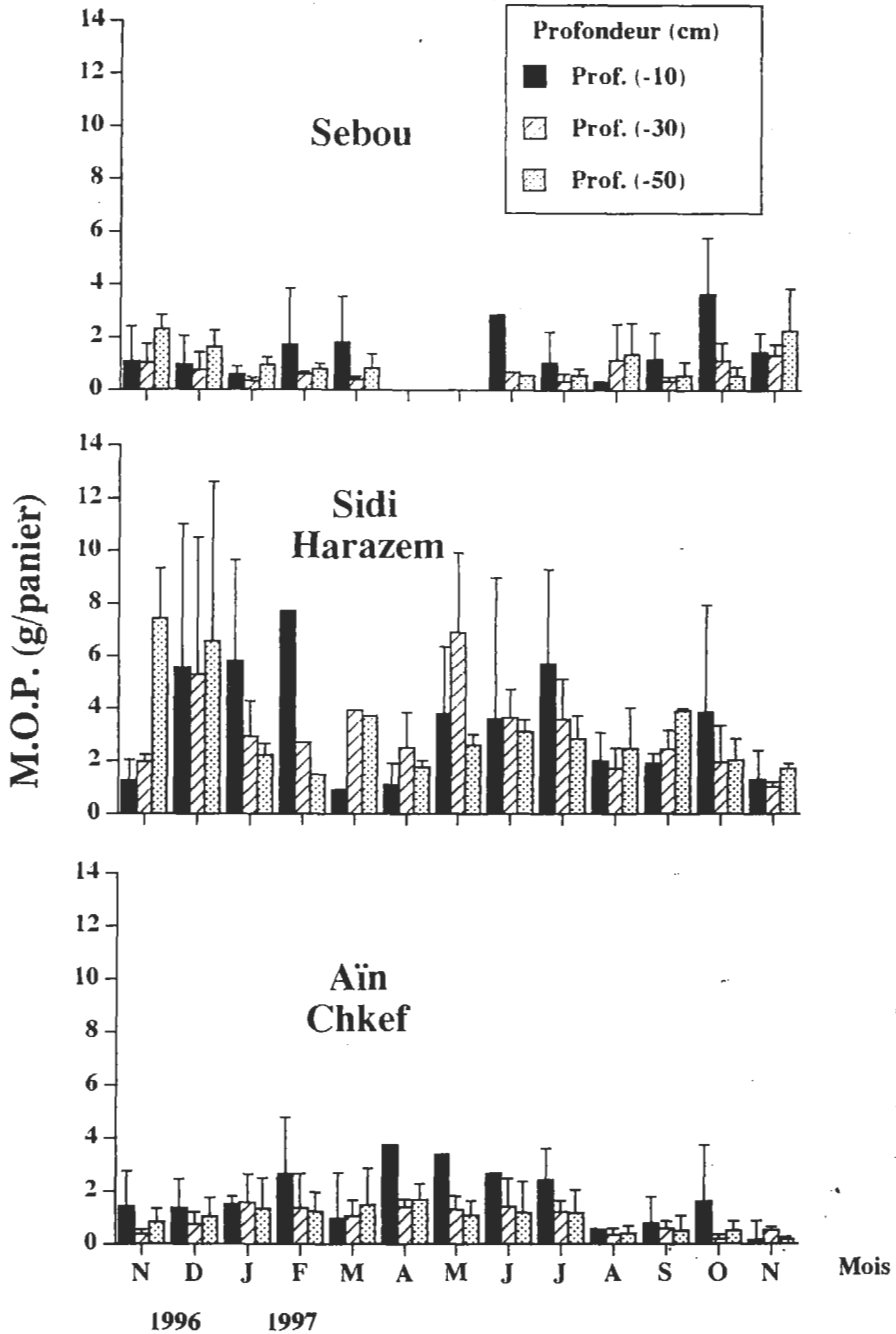
La figure 6 montre aussi que, dans la station H, les concentrations en M.O. sup. 200 sont plus élevées en moyenne que dans les autres stations, plus variables, et presque identiques aux trois niveaux. Dans les stations K et S, les concentrations sont plus importantes en surface que plus bas dans les sédiments.



**Figure 3 :** Évolution des quantités moyennes de matière organique de taille supérieure à 200 µm dans le sédiment de trois stations au cours du cycle annuel d'étude. Chaque point représente la moyenne de six prélèvements mensuels effectués aux trois profondeurs (18 valeurs au total). Au niveau de la station du Sebou, l'absence de prélèvement en avril et mai est due au vandalisme.



**Figure 4 :** Pluviométrie mensuelle durant l'année 96-97 à proximité de la station du Sebou (données communiquées par la direction de l'Hydraulique de Fès, Maroc).



**Figure 5 :** Accumulation de la matière organique particulaire > 200 µm en fonction des stations, de la profondeur dans les sédiments et du temps. Les barres verticales indiquent l'écart type. Au niveau de la station du Sebou, l'absence de prélèvement en avril et mai est due au vandalisme.

### Matière organique particulaire (g/panier)

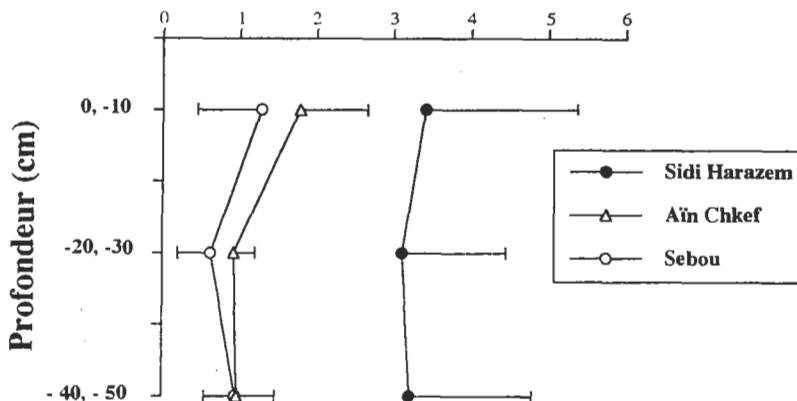


Figure 6 : Stratification des matières organiques particulières > 200  $\mu\text{m}$  dans le sédiment des trois stations. Les barres horizontales indiquent l'écart type.

#### Composition globale des biocénoses des sous-écoulements (évolution du nombre d'individus et des groupes trophiques)

Au cours de cette étude, on a récolté dans les sédiments des trois stations (même à -50 cm), des restes de faune terrestre (Isopodes, Collembolés, fourmis, avec aussi des ailes de Coléoptères).

Sur l'ensemble des trois stations échantillonnées, 48 taxons aquatiques ont été reconnus. Les écarts d'abondance en individus et en espèces sont importants d'un secteur géographique à l'autre (Tableau 2). Le site de Sebou révèle la plus faible densité (160 individus/prélèvement en moyenne), avec 37 taxons. Le site de Sidi Harazem héberge une faune plus dense (190 individus/prélèvement), mais avec 35 taxons seulement. La faune d'Aïn Chkef apparaît la plus abondante (une moyenne de 193 individus/prélèvement) et la plus riche avec 43 taxons (figure 7).

#### Evolution de la structure des peuplements

L'étude de la biocénose peut être simplifiée si on la limite à celle des espèces dominantes.

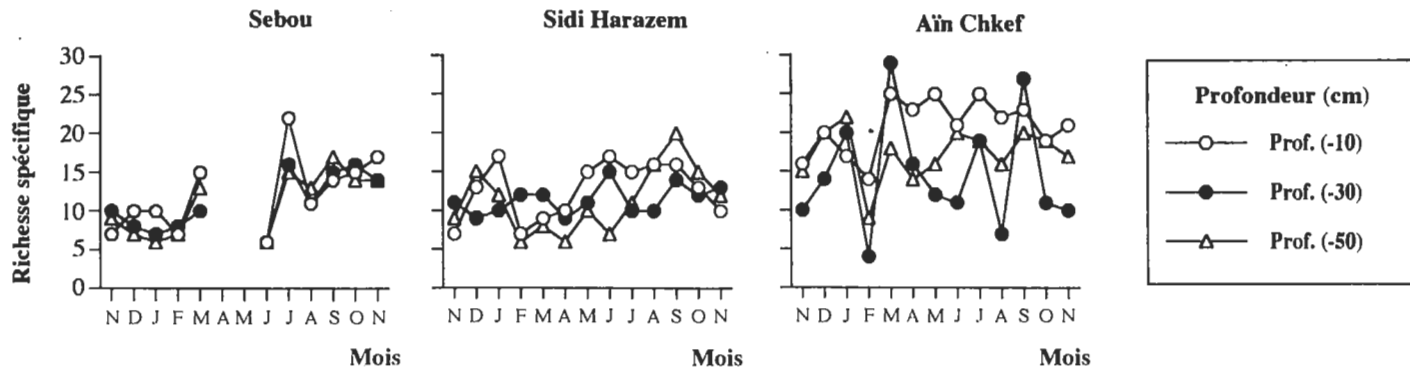
Les différentes espèces d'organismes relevées n'ont pas la même abondance (Tableau 2). Au niveau des sous-écoulements du Sebou et de Sidi Harazem se dégage un petit groupe d'éléments dominants : les Oligochètes et les Gastéropodes qui constituent la majorité des brouteurs, racleurs et dilacérateurs. Dans le sédiment d'Aïn Chkef, où le nombre d'unités systématiques est plus élevé, quatre groupes dominant écologiquement: les Ostracodes, les Gastéropodes, les Chironomides et *Dugesia*. Ils appartiennent à chacun des quatre principaux groupes trophiques.

Quelle que soit la profondeur, les valeurs moyennes de l'indice de diversité spécifique pour les stations Sebou (S) et Sidi Harazem (H) sont généralement plus faibles que celles d'Aïn Chkef (K) (figure 8). Au niveau de K, le réseau d'interactions trophiques est donc plus complexe que dans les deux autres stations. D'après la figure 9, on constate la dominance des brouteurs, racleurs et dilacérateurs de grosses particules en S et H. Dans les deux niveaux supérieurs du Sebou, le mois

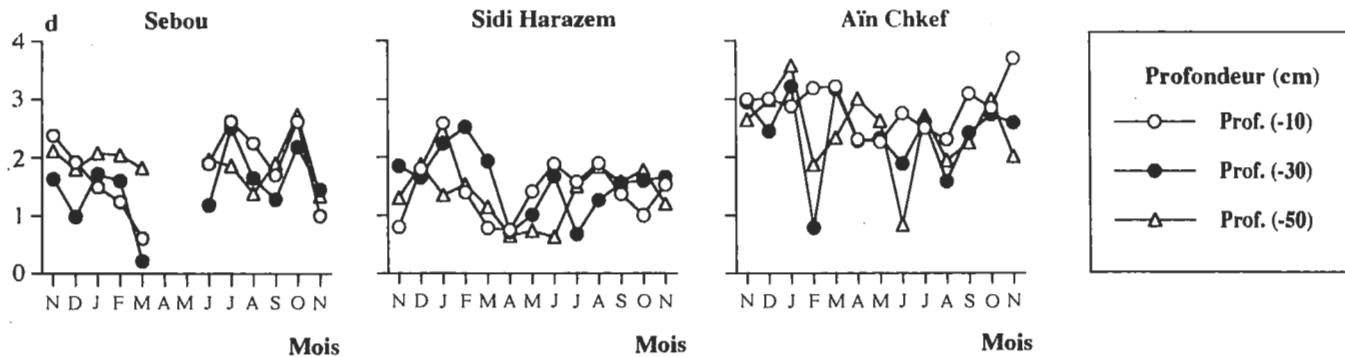
Tableau 2  
Pourcentage des différents groupes trophiques et taxons récoltés  
dans les sédiments des trois stations

Groupe trophique	Taxons	Sebou	Sidi Harazem	Aïn Chkef
Brouteurs, racleurs, dilacérateurs de grosses particules	Gastéropodes (1)	23,82	74,78	21,73
	Oligochètes (Naididae)	63,08	17,18	6,50
	<i>Heptagenia</i> sp	0,25	0,09	0,06
	<i>Gammarus</i> , <i>Atyaephyra</i>	4,43	0,07	0,01
		<b>91,58</b>	<b>92,12</b>	<b>28,30</b>
Collecteurs de fines particules	Oligochètes (autres)	2,23	4,13	0,19
	<i>Caenis</i> sp	0,43	0,23	0,00
	Ostracodes (2)	0,38	0,19	31,61
		<b>3,04</b>	<b>4,55</b>	<b>31,80</b>
Filtreurs	Chironomides	1,75	1,62	19,17
	Bivalves	0,08	0,01	1,45
	Copépodes	0,18	0,08	0,05
	Hydropsychidae	0,01	0,14	0,02
		<b>2,02</b>	<b>1,85</b>	<b>20,69</b>
Prédateurs	<i>Dugesia gonocephala</i>	0,22	0,10	12,37
	Achètes (3)	0,53	0,24	3,16
	Tabanidae et Ceratopogonidae	0,50	0,61	0,41
	Odonates (4)	0,23	0,23	0,83
	<i>Sialis</i> sp.	0,10	0,06	1,30
	Coléoptères	0,06	0,03	0,04
	Hétéroptères	0	0	0,06
		<b>1,64</b>	<b>1,27</b>	<b>18,17</b>
Autres	Acariens	1,59	0,10	1,00
	Nématodes	0,02	0	0
		<b>1,61</b>	<b>0,10</b>	<b>1,00</b>
	Nombres de taxons	37	35	43
	Individus/panier	160	190	193

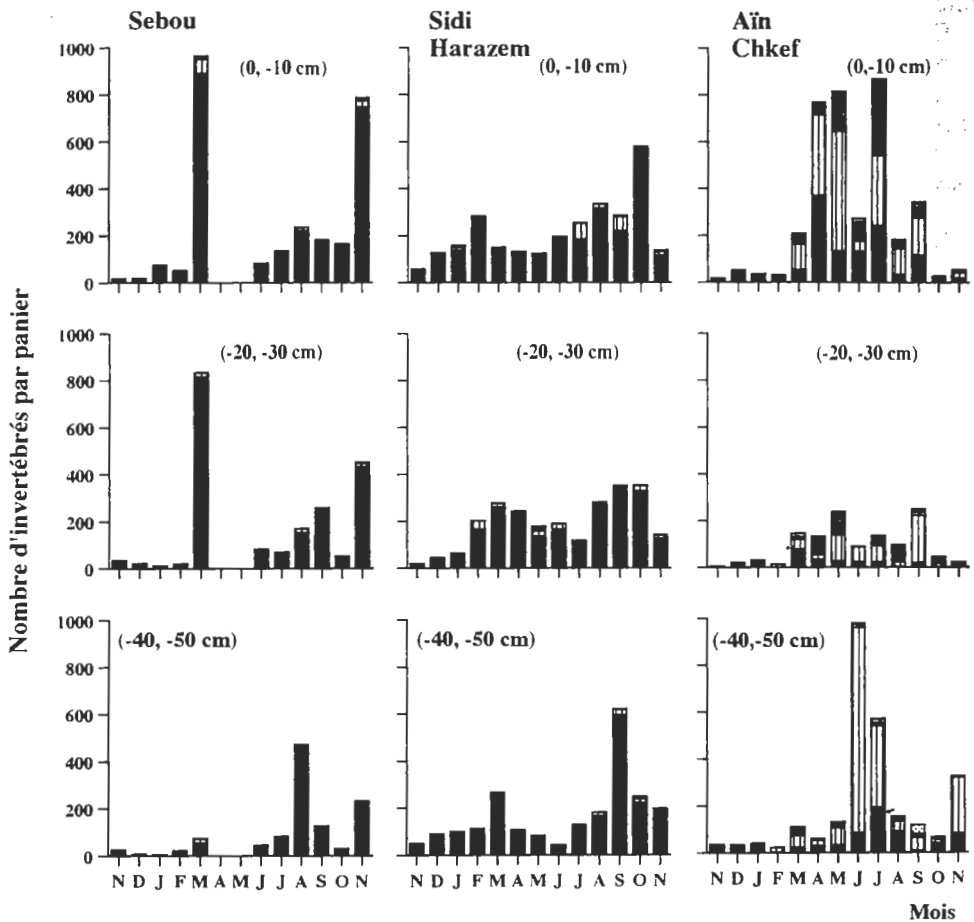
(1) Gastéropodes = *Melanopsis praemorsa*, *Melanopsis costella*, *Physa acuta* et *Lymnea truncatula*  
(2) Ostracodes = *Herpetocypris reptans*, *Herpetocypris salina* et *Sarcypridopsis aculeata*.  
(3) Achètes = *Glossiphonia*, *Helobdella* et *Erpobdella*.  
(4) Odonates = Libellulidae et Gomphidae.



**Figure 7 :** Distribution de la richesse spécifique des trois stations en fonction des profondeurs au cours du cycle annuel d'étude. L'absence de prélèvement à Sebou en avril et en mai est due au vandalisme.



**Figure 8 :** Valeurs de l'indice de diversité spécifique (d) en fonction des stations, du temps et de la profondeur. L'absence de prélèvement à Sebou en avril et en mai est due au vandalisme.



**Figure 9 :** Evolution mensuelle du nombre d'invertébrés aquatiques interstitiels et proportions de chaque groupe trophique récolté dans les trois stations. La faune a été échantillonnée deux fois par mois à quinze jours de distance et les prélèvements ont été regroupés deux à deux. Au niveau de la station du Sebou, l'absence de prélèvement en avril et mai est due au vandalisme.

de mars se distingue par un grand nombre de Naïdés brouteurs. En K ce sont les collecteurs de fines particules qui sont les plus abondants.

En H le nombre d'invertébrés augmente de janvier à mars pour diminuer ensuite et croître de nouveau pendant août, septembre et octobre.

La composante hypogée est représentée par de rares *Pseudoniphargus* sp. rencontrés au niveau des strates les plus profondes de H et S. A l'exception de ces organismes entièrement adaptés aux milieux interstitiels, les unités systématiques trouvées font toutes partie de la faune épigée.

**Biomasse faunistique** (figure 10)

Les biomasses les plus grandes en moyenne se trouvent à Sidi Harazem. Dans la station du Sebou, le grand nombre de Naïdés noté au mois de mars ne se traduit pas dans les biomasses par suite du poids très faible de ces individus. Par contre, on note une augmentation considérable due à la prolifération des *Melanopsis* à la fin de cette étude, de sorte que les mois de novembre 1996 et 1997 présentent des valeurs opposées. Dans la station K, les biomasses sont bien plus faibles, avec un maximum en printemps-début été (M-J-J) dans la strate superficielle.

Nous avons recherché s'il existait une corrélation entre le poids sec de la matière organique accumulée dans chaque substrat et les organismes colonisateurs de ce même substrat.

*Effectif de la faune souterraine classée par groupes trophiques et poids des M.O.P.* (Tableau 3) :

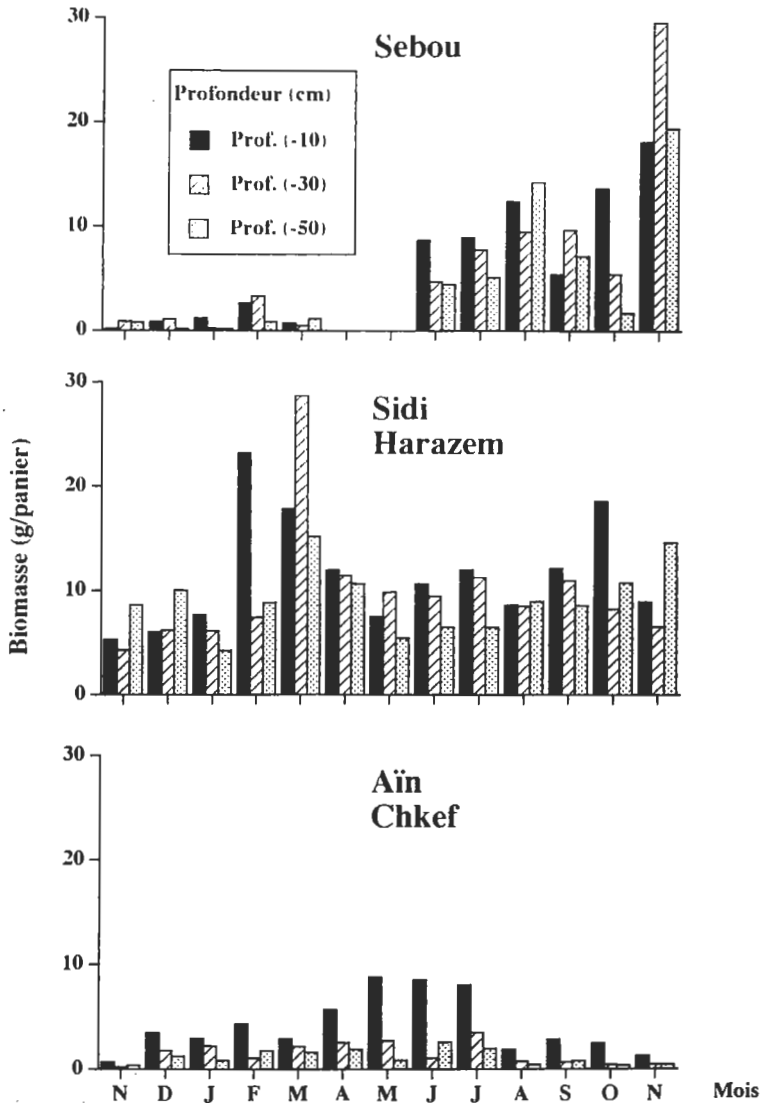
Les calculs ont porté sur les trois groupes filtreurs, collecteurs et brouteurs-dilacérateurs pour lesquels on peut supposer une corrélation avec la M.O.P. Seule la

Tableau 3.

Coefficient de corrélation (r) entre la quantité de M.O.P. et les effectifs des différents groupes trophiques pour les trois profondeurs des stations.

\* = corrélation significative.

Groupe trophique	Profondeur	Sebou	Sidi Harazem	Aïn Chkef
Filtreurs	(-10 cm)	0,36	0,22	0,62*
	(-30 cm)	0,28	0,27	0,20
	(-50 cm)	0,13	0,27	0,20
Collecteurs de fines particules	(-10 cm)	0,19	0,05	0,6*
	(-30cm)	0,35	0,16	0,07
	(-50 cm)	0,26	0,07	0,05
Brouteurs, racleurs et dilacérateurs de grosses particules	(-10 cm)	0,21	0,20	0,67*
	(-30 cm)	0,13	0,27	0,37
	(-50 cm)	0,34	0,05	0,11



**Figure 10** : Évolution mensuelle de la biomasse des invertébrés aquatiques récoltés au niveau des différentes profondeurs des trois stations. Au niveau de la station du Sebou, l'absence de prélèvement en avril et mai est due au vandalisme.

strate 0-10 cm d'Aïn Chkef présente des corrélations significatives. Ainsi, il apparaît qu'au niveau de cette strate, les macroinvertébrés et plus spécialement les brouteurs, racleurs et dilacérateurs de grosses particules sont d'autant plus nombreux que le poids des M.O.P. sup. 200 est plus important.

*Biomasse de la faune souterraine et poids des M.O.P. (Tableau 4) :*

Il n'y a pas de corrélation entre la biomasse des macroinvertébrés et le poids des matières organiques particulaires au sein des milieux interstitiels du Sebou et de Sidi Harazem. Au niveau des trois profondeurs d'Aïn Chkef, toutes les corrélations sont significatives. Il apparaît donc que la biomasse des macroinvertébrés souterrains dans cette station augmente avec le poids des M.O.P. En effet, les Gastéropodes *Melanopsis costella* y sont moins nombreux, mais de très grande taille.

Tableau 4.

Coefficient de corrélation (r) entre la quantité de M.O.P. et la biomasse des macroinvertébrés au niveau des trois profondeurs des trois stations.

\* = corrélation significative.

Profondeur	Sebou	Sidi Harazem	Aïn Chkef
(-10 cm)	0,45	0,25	0,79*
(-30 cm)	0,57	0,21	0,70*
(-50 cm)	0,46	0	0,72*

## DISCUSSION

L'eau prélevée au fond des cylindres avant la mise en place des paniers grillagés est assez semblable à celle de surface par sa température, sa conductivité et sa dureté. Par contre, des différences dans le pH et l'alcalinité montrent qu'elle est en partie composée d'eau interstitielle.

Les substrats artificiels déposés sur le fond d'un cours d'eau constituent une place vide offerte à la colonisation des macroinvertébrés (KHALAF et TACHET 1977). L'implantation des substrats artificiels contenant du sédiment lavé dans les alluvions fluviales peut avoir une action directe sur l'évolution de l'hydrosystème : le fait d'introduire ces substrats peut avoir ralenti le colmatage des sédiments, et augmenté la taille des interstices et la porosité, notamment à Sidi Harazem (H) et à Aïn Chkef (K) où les sédiments sont constitués de particules plus fines. De ce fait, les modifications apportées aux milieux interstitiels favoriseraient la colonisation des stations par la faune. MAAMRI *et al.* (1997) trouvent une meilleure persistance de la faune au niveau d'un substrat minéral qui facilite la pénétration des détrit. DANIELPOL (1983) évoque le phénomène de « pelletisation », qui préserve la libre circulation de l'eau et de la matière organique.

L'oxygène vient forcément de la surface et il est consommé dans les sédiments où n'a lieu aucune photosynthèse. Donc une teneur faible indique une consommation importante et une mauvaise circulation. Au niveau du Sebou (S) l'eau interstitielle se révèle plus oxygénée que celle de K ou de H. La granulométrie de cette station étant plus grossière, on peut en déduire que la circulation de l'eau dans les alluvions est meilleure.

FISHER et LIKENS (1972) et LUSH et HYNES (1978) estiment que la M.O.P. au niveau des cours d'eau est surtout d'origine terrestre, constituant une source allochtone importante.

A Aïn Chkef la production primaire par les macrophytes domine en surface. Par contre, l'ombre créée par le feuillage des arbres le long des berges de Sidi Harazem réduit l'apport d'énergie lumineuse. Dans ce cas, les apports allochtones issus en particulier de la végétation riveraine contribuent de façon importante à la productivité du système aquatique. La largeur du Sebou est la plus grande et l'importance relative des apports végétaux devient plus faible, d'autant plus que la végétation riveraine est presque inexistante. La liaison avec la proportion des rives par rapport à la surface du cours d'eau et avec le degré de fermeture de la végétation au-dessus du lit est évidente (CUMMINS 1974, CONNERS et NAIMAN 1984, MAAMRI *et al.* 1994 et 1995); elle explique les valeurs beaucoup plus fortes trouvées en général pour les ruisseaux que pour les cours d'eau plus larges. Les valeurs relevées par MAAMRI *et al.* (1994) dans le Zegzel sont beaucoup plus élevées là où le ruisseau est étroit. En 1997, les mêmes auteurs attribuent la faiblesse des apports de litière au niveau de l'Oued Cherraa à la largeur du lit et à la pauvreté de la ripisylve.

Trouve-t-on une relation entre ces apports présumés et la M.O. des sédiments ?

Les débris végétaux reconnaissables et ceux d'animaux terrestres montrent bien l'origine et les mouvements verticaux de la matière organique inerte qui arrive jusqu'à -50 cm en 15 jours.

Cependant une partie de ces débris semble être retenue en surface puisque les paniers superficiels contiennent plus de M.O. sup 200 que les paniers profonds à Sebou et Aïn Chkef, c'est à dire quelle que soit la circulation dans les sédiments non perturbés. L'abondance de cette M.O. à Sidi Harazem est nettement liée à celle de la végétation riveraine. Malgré la finesse de la granulométrie, la M.O. y pénètre jusqu'au fond des cylindres, peut-être en descendant directement à travers le substrat préalablement lavé des paniers.

La stratification des organismes est beaucoup moins nette que celle de la M.O.P., elle est souvent variable au cours du temps, peut-être à cause de leur mobilité. Il semble qu'il existe une interférence entre les niveaux, ou un mélange spatio-temporel de la faune. Ce mélange est moins important dans la station K qui présente une organisation spatiale relativement précise, caractérisée par un grand pourcentage de faune en surface et une diminution de sa densité au niveau intermédiaire. CHAPELLE (1992) rapporte que le nombre des organismes qui assurent la production secondaire est plus restreint dans les systèmes hypogés, le nombre des prédateurs est aussi réduit, seuls le nombre et la variété des bactéries semblent être élevés.

Bien que les milieux souterrains des trois stations étudiées soit dysaérobiques, on a noté des populations abondantes dans les strates profondes. Les eaux souterraines sont souvent extrêmement oligotrophes et/ou pauvrement oxygénées (MATTHES 1982), ces eaux forment un milieu nettement moins favorable que les eaux de surface pour les organismes qui le colonisent. DANIELPOL (1983) et

DANIELPOL *et al.* (1994) notent que la distribution de la faune est fonction de la disponibilité en nourriture et en oxygène. En conséquence, MATHIEU et TURQUIN (1992) et HERVANT et MATHIEU (1995) trouvent que les organismes ayant colonisé activement les habitats hypogés dysaérobiques développent la capacité d'une part à consommer peu d'oxygène et d'autre part à réguler leurs activités physiologiques et comportementales. Ces populations d'origine épigée développeraient des stratégies adaptatives une fois confrontés à de faibles taux d'oxygène, ou avec de faibles quantités de matières organiques (POSPISIL 1994, DANIELPOL *et al.* 1994). Ainsi on peut penser que le manque de capacité d'adaptation est la vraie contrainte qui empêche un organisme épigé de coloniser les eaux souterraines.

Selon leur affinité pour ce domaine souterrain, les espèces peuvent être différenciées en trois groupes écologiques (WILLIAMS et HYNES 1974, WILLIAMS 1984) :

1 - les organismes stygobies, intimement liés au domaine souterrain par leur physiologie et leur morphologie.

2 - des organismes de la surface, épigés, mais pouvant effectuer la totalité de leur cycle vital dans le milieu interstitiel et formant un hyporhéos permanent.

3 - des organismes de la surface pouvant vivre en milieu souterrain mais dont l'accomplissement du cycle vital requiert le passage par une phase adulte en surface; ils appartiennent à l'hyporhéos temporaire.

Ces trois ensembles biologiques se retrouvent dans le sous-écoulement du bassin du Sebou mais dans des proportions très différentes selon les trois secteurs géographiques étudiés dans ce travail. Au sein de nos stations, les *Pseudoniphargus* (plus abondants dans le Sebou) sont des représentants des invertébrés hypogés stygobies. Les Gastéropodes et les Oligochètes et sans doute les *Atyaephyra* sont capables d'effectuer leur cycle vital complet au sein du milieu interstitiel. Ils font partie de l'hyporhéos permanent. Enfin les larves d'insectes (Chironomidae, Ceratopogonidae et autres Diptères), les Trichoptères, les Ephéméroptères et les Sialidae sont contraints de quitter le milieu interstitiel pour achever dans l'air leur cycle vital.

La matière organique supérieure à 200 µm est constamment présente au niveau des milieux interstitiels des trois cours d'eau étudiés au cours de l'année 1996-1997. MINSHALL (1967) et WELTON (1980) trouvent que dans les milieux aquatiques, les quantités de matières organiques varient peu au cours des saisons. Selon MAAMRI *et al.* (1994 et 1995), la contribution de la végétation méditerranéenne persistante est d'étaler l'apport de litière au cours de l'année. Dans nos résultats, la chute des feuilles caduques en automne ne se manifeste nettement que là où elles sont abondantes, à Sidi Harazem. Les relations avec les précipitations semblent contradictoires, et il faut se souvenir que le stock de M.O. résulte autant des phénomènes de décomposition que des phénomènes d'apport et de sédimentation.

Dans le Sebou, on a noté une augmentation spectaculaire de la biomasse totale au cours de la période d'étude même si les ressources en M.O. de ce milieu demeuraient très limitées. Nous avons ici affaire à des variations interannuelles très importantes. L'augmentation de la biomasse à la fin de la période est due à une cohorte de *Melanopsis* particulièrement performante. Selon FRONTIER, (1977) ces variations témoigneraient de la complexité des interactions et de l'impossibilité d'atteindre un régime stationnaire.

Le fait que le secteur de Sidi Harazem soit toujours mieux abrité de l'effet des crues, que son courant soit beaucoup moins rapide qu'en S et l'importance des

structures de rétention à son niveau (racines et branches pendantes) facilitent l'accumulation des débris végétaux grossiers issus en grande partie de ses berges et expliquent les plus grandes quantités de M.O.P. présentes que dans le Sebou. La faible accumulation dans cette dernière station peut s'expliquer par sa végétation riveraine clairsemée et les vitesses élevées du courant qui entraînent les particules organiques, d'autant plus que la composition granulométrique favorise une bonne circulation des eaux en profondeur.

Pour les facteurs biotiques, les fonctionnements des trois stations sont très différents. A Sebou et à Sidi Harazem, le nombre de taxons présents est faible. A Aïn Chkef, malgré une impossibilité de colonisation par l'amont du fait que la station est à quelques dizaines de mètres seulement de la source, on note une richesse taxonomique forte. Le Sidi Harazem se rapproche du Sebou par le nombre de taxons et d'Aïn Chkef par le nombre d'individus. Mais alors que le nombre d'individus n'est pas nettement supérieur à ceux des autres stations (sauf en hiver), la biomasse la plus importante se trouve dans le Sidi Harazem, indiquant que ces individus sont plus grands. Ceci peut être mis en relation avec la plus grande quantité de nourriture organique présente et sans doute aussi avec la température régulière et élevée qui favorise la croissance des animaux, même en hiver.

Au groupe trophique brouteurs-racleurs-dilacérateurs de grosses particules qui domine totalement les écosystèmes aquatiques souterrains des stations S et H, s'ajoutent trois autres groupes trophiques au niveau de K : les collecteurs de fines particules, les filtreurs et les prédateurs. Les indices de diversité sont élevés dans le cours d'eau d'Aïn Chkef, ce qui témoigne de la maturité de ce milieu. Les quantités de matière organique dans cette station sont moins abondantes qu'à H mais semblent donc suffisantes. Ceci est plausible en regard de la végétation aquatique autochtone importante à cette station et qui assurerait des apports continus.

Au niveau des deux profondeurs -30 et -50 cm de la station K, les corrélations entre la biomasse des macroinvertébrés et le poids des M.O.P. sont significatives, alors qu'elles sont non-significatives avec leurs effectifs. FRONTIER (1977) avance qu'avec l'apparition de niveaux trophiques supérieurs (apparition d'une dynamique proie-prédateur) une partie de l'énergie transitant dans le réseau trophique est soustraite à la croissance, et consacrée au développement de structures.

Les milieux aquatiques souterrains n'ont pas les moyens d'assurer l'apparition très coûteuse en énergie de niveaux trophiques supérieurs, d'autant plus que le rendement du passage d'un niveau trophique au suivant est faible (FRONTIER 1977). Du fait qu'ils dépendent amplement des apports d'énergie de l'extérieur, cela retarde leur maturation, les rétrograde dans la succession et les maintient dans un état juvénile (FRONTIER 1977).

L'interprétation de l'évolution des biomasses et des effectifs de la faune en fonction de l'accumulation des débris végétaux est délicate.

La ressemblance des profils de M.O.P. et des biomasses à Aïn Chkef, avec un maximum printanier, est frappante; elle explique la corrélation signalée. Il s'agit d'une station spécialement protégée à la fois du fait qu'elle est voisine de la source, et qu'elle est partiellement recouverte de macrophytes et abritée par une végétation riveraine arborescente. Il arrive que les débris végétaux (brindilles, fragments de mousses ou feuilles, etc...) s'accumulent assez rapidement sur les substrats et influencent ainsi la colonisation (EGGLISHAW 1964).

ANDERSON et SEDELL (1979), MILLER (1985), MAAMRI *et al.* (1994) trouvent que l'abondance des dilacérateurs est très liée à la densité de la ripisylve. Cependant

TOWNSEND et HILDREW (1984) n'ont pas trouvé de relation entre les dilacérateurs et la fermeture du couvert végétal. CORKUM (1992) souligne que la relation entre la distribution des invertébrés et celle des détritiques dans les rivières reste encore confuse. Enfin, bien qu'on n'ait pas évalué la M.O. fine, la présence d'une corrélation entre les collecteurs de fines particules et le poids des matières organiques particulaires pourrait être expliquée par le fait que les débris accumulés tendent à piéger les fines particules, offrant ainsi une possibilité à ce groupe d'invertébrés de se développer.

## CONCLUSIONS

En général, ce sont les couches superficielles qui accumulent le plus de M.O.P.

Les variations de répartition de la faune invertébrée au niveau des trois stations sont moins évidentes que pour les M.O.P., avec des différences entre les niveaux.

Le site d'Aïn Chkef se distingue des autres. Son substrat est vaseux et couvert de beaucoup de macrophytes aquatiques. Il présente la plus grande richesse et diversité spécifique avec présence équilibrée des quatre groupes trophiques brouteurs, collecteurs de fines particules, filtreurs et prédateurs. Les corrélations entre la biomasse des macroinvertébrés souterrains et le poids des matières organiques particulaires sont significatives. Il en est de même entre les effectifs faunistiques et les quantités de M.O.P. dans la couche superficielle. La végétation riveraine du Sebou est très pauvre. Le courant rapide et la granulométrie grossière favorisent la circulation de l'eau dans les sédiments, ce qui se traduit par une meilleure oxygénation de l'eau interstitielle. L'accumulation de M.O.P. grossière est faible et la faune est pauvre.

Par suite de la densité de la couverture végétale, les quantités globales de matière organique particulaire accumulées dans le cours d'eau de Sidi Harazem sont les plus importantes, quelle que soit la saison ; sa faune est la plus abondante. C'est aussi cette station, dont l'eau a la température la plus élevée, qui renferme les individus de la plus grande taille.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDERSON N.H. et SEDELL J.R., 1979. — Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems. *Ann. Rev. Entomol.*, 24 : 351-377.
- ANGELIER E., 1962. — Remarques sur la répartition de la faune dans le milieu interstitiel hyporhéique. *Zool. Anz.*, 168 : 351-356.
- BISHOP J.E., 1973. — Observations on the vertical distribution of the benthos in a Malaysian stream. *Freshwat. Biol.*, 3 (2) : 147-156.
- BOU C. et ROUCH R., 1967. — Un nouveau champ de recherches sur la faune aquatique souterraine. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 265 : 369-370.
- CHAPELLE L.H., 1992. — *Ground-water microbiology and geochemistry*. J. Wiley & Sons, New York, 390 p.
- COLEMAN M.J. et HYNES H.B.N., 1970. — The vertical distribution of the invertebrate fauna in the bed of a stream. *Limnol. Oceanogr.*, 15 : 31-40.
- CONNERS M.E. et NAIMAN R.J., 1984. — Particulate allochthonous inputs : relationships with stream size in an undisturbed watershed. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41 : 1473-1484.
- CORKUM L.D., 1992. — Relationships between density of macroinvertebrates and detritus in rivers. *Arch. Hydrobiol.*, 125 : 149-166.

- CUMMINS K.W., 1974. — Structure and function of stream ecosystems. *BioScience*, 24 : 631-641.
- DANIELOPOL D.L., 1983. — Ecological investigations on the alluvial sediments of the Danube in the Vienna area. *Verh. internat. Verein. Limnol.*, 22 : 1755-1761.
- DANIELOPOL D.L., CREUZÉ DES CHATELIERS M., MOESZLACHER F., POSPISIL P. et POPA R., 1994. — *Adaptation of Crustacea to interstitial habitats : a practical agenda for ecological studies.* — In GIBERT J., DANIELOPOL D.L. et STANFORD J.A. *Groundwater Ecology*. Academic Press, San Diego, pp. 217-243.
- DOLE-OLIVIER M.J. et MARMONIER P., 1992. — Ecological requirements of stygofauna in an active channel of the Rhône river. *Stygologia*, 7 : 65-75.
- DONALD G.L. et PATERSON C.G., 1977. — Effect of preservation on wet weight. Biomass of chironomid larvae. *Hydrobiologia*, 53 : 75-80.
- EGLISHAW H.J., 1964. — The distributional relationship between the bottom fauna and plant detritus in streams. *J. Anim. Ecol.*, 33 : 463-476.
- FISHER F. et LIKENS G.E., 1972. — Stream ecosystems : organic energy budget. *BioScience*, 22 : 33-35.
- FRONTIER S., 1977. — Réflexion pour une théorie des écosystèmes. *Bull. Ecol.*, 8 : 445-464.
- HERVANT F. et MATHIEU J., 1995. — Ventilatory and locomotory activities in anoxia and subsequent recovery of epigeal crustaceans. *C. R. Acad. Sci. Paris., Sci. Vie*, 318 : 585-592.
- HOWMILLER R.P., 1972. — Effects of preservatives on weight of some invertebrates. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 101 : 743-746.
- KHALAF G. et TACHET H., 1977. — La dynamique de colonisation des substrats artificiels par les macroinvertébrés d'un cours d'eau. *Annls Limnol.*, 13 : 169-190.
- LUSH D.L. et HYNES H.B.N., 1978. — Particulate and dissolved organic matter in a small partly forested Ontario stream. *Hydrobiologia*, 60 : 177-185.
- MAAMRI A., CHERGUI H. et PATTEE E., 1994. — Allochthonous input of coarse organic matter to a Moroccan mountain stream. *Acta œcol.*, 15 : 495-508.
- MAAMRI A., CHERGUI H. et PATTEE E., 1995. — Impact des apports végétaux allochtones sur la distribution de la faune benthique dans un cours d'eau de montagne marocain, l'Oued Zegzel. *Ecologie*, 26 : 81-94.
- MAAMRI A., CHERGUI H. et PATTEE E., 1997. — Dynamique des apports de litière végétale et de la faune invertébrée dans une rivière méditerranéenne temporaire : l'Oued Cherraa, au Maroc. *Ecologie*, 28 : 251-264.
- MARMONIER P., 1988. — *Biocénoses interstitielles et circulation des eaux dans le sous-écoulement d'un chenal aménagé du Haut-Rhône Français*. Thèse Univ. Lyon-I, 161 p.
- MARMONIER P. et DOLE M.J., 1986. — Les Amphipodes des sédiments d'un bras court circuité du Rhône. Logique de séparation et réaction aux crues. *Sci. Eau*, 5 : 461-486.
- MASLIN J.L. et PATTEE E., 1981. — La production du peuplement benthique d'une petite rivière : son évaluation par la méthode de HYNES, COLEMAN et HAMILTON. *Arch. Hydrobiol.*, 92 : 321-345.
- MATHIEU J., MARTIN D. et HUISSOUD P., 1984. — Influence des conditions hydrologiques sur l'évolution de la structure spatiale et la démographie d'une population de l'Amphipode *Niphargus rhenorhodanensis*. Premiers résultats. *Mém. Biospéol.*, 11 : 27-36.
- MATHIEU J. et TURQUIN M. J., 1992. — Chapt. 10 : *Biological processes at the population level. II. Aquatic populations : Niphargus (stygobiont Amphipod) case.* In : CAMACHO, A.I. (Ed.), *The natural history of biospeleology*. Monografias, C. S. I. C. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, 263-293.
- MATTHES G., 1982. — *The properties of groundwater*. J. Wiley & Sons, New York, 406 p.
- MEYER J.L., MCDOWELL W.H., BOTT T.L., ELWOOD J.W., ISHIZAKI C., MELACK J.M., PECKARSKY B.L., PETERSON B.J. et RUBLEE P.A., 1988. — Elemental dynamics in streams. *J. N. Am. Bentol. Soc.*, 7 : 410-432.
- MILLER C., 1985. — Correlates of habitat favorability for benthic macroinvertébrés at five stream sites in an Appalachian Mountain drainage basin, USA. *Freshwat. Biol.*, 15 : 709-733.
- MINSHALL G.W., 1967. — Role of allochthonous detritus in the trophic structure of a woodland springbrook community. *Ecology*, 48 : 139-149.
- MORRIS D.L. et BROOKER M.P., 1979. — The vertical distribution of macroinvertebrates in the substratum of the upper reaches of the river Wye, Wales. *Freshwat. Biol.*, 9 : 573-583.

- NAAMANE B., CHERGUI H. et PATTEE E., 1999. — The breakdown of leaves of poplar and holm oak in three Moroccan streams. Effect of burial in the sediment. *Annls Limnol.*, 35 : 263-275.
- POSPISIL P., 1994. — *The groundwater fauna of a Danube aquifer in the « Lobau » wetland in Vienna, Austria.* In GIBERT J., DANIELOPOL D.L. et STANFORD J.A. *Groundwater Ecology.* Academic Press, San Diego, pp. 317-366.
- STERBA O., 1978. — Stratifikation der Organismen in der Oberschichte der Sand-Kiessedimente unter der aktiven Strömung der Flüsse. *Vest. Ceskosl. Spol. Zool.*, 42 : 60-68.
- TOWNSEND C.R. et HILDREW A.G., 1984. — Longitudinal pattern in detritivore communities of acid streams : a consideration of alternative hypotheses. *Verh. internat. Verein. Limnol.*, 22 : 1953-1958.
- WELTON J.S., 1980. — Dynamics of sediment and organic detritus in a small chalk stream. *Arch. Hydrobiol.*, 90 : 162-181.
- WILLIAMS D.D., 1984.- *The hyporheic zone as habitat for aquatic insects and associated arthropods.* In RESH V.H. et ROSENBERG D.M., *The Ecology of Aquatic Insects.* Praeger, New York, pp. 430-454.
- WILLIAMS D.D. et Hynes H.B.N., 1974. — The occurrence of benthos deep in the substratum of a stream. *Freshwat. Biol.*, 4 (3) : 233-256.
- WILLIAMS D.D. et WILLIAMS N.E., 1974.— A counterstaining technique for use in sorting benthic samples. *Limnol. Oceanogr.*, 19, (1), pp. 152-154.