

EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DES SEDIMENTS
EN CIRCUIT CLOS

I. Azote et populations bactériennes en fonction de certains
paramètres du milieu

par

S. CHAMROUX et G. BOUCHER

avec la collaboration technique de C. FAIDY et L. CRAS

CENTRE D'ETUDE D'OCEANOGRAPHIE ET DE BIOLOGIE
MARINE DU CNRS - ROSCOFF - FRANCE

RESUME

Une série de modules expérimentaux comportant un sédiment sableux percolé par de l'eau de mer a été maintenue sous conditions contrôlées. Ces systèmes, fonctionnant en circuit clos, permettent d'étudier la régulation des caractéristiques chimiques et biologiques des sédiments. L'étude a porté principalement sur les bactéries et la chimie de l'azote ainsi que sur la Méiofaune.

L'évolution des différentes formes d'azote est assez semblable, quel que soit le flux de matière organique dans le sédiment. Aussi longtemps que l'apport organique agit comme facteur limitant, les densités bactériennes sont proportionnelles à son flux. Aucune corrélation n'a été trouvée entre bactéries et paramètres chimiques dosés dans le sédiment ou dans l'eau. La température ne semble pas jouer un rôle déterminant dans l'évolution des populations bactériennes ni dans la minéralisation de la matière organique. La vitesse de percolation, par le niveau d'oxydation qu'elle entretient, intervient sur le type de minéralisation, mais ne modifie pas les densités bactériennes.

ABSTRACT : Chemical and Biological evolution of sediments in closed circuit :
I. Nitrogen and bacteria.

A series of well controlled sea water closed circuit sand filters allowed the study of chemical and biological regulation processes in the sediment. Bacteria, Nitrogen chemistry and meiofauna were mainly investigated.

The evolution of the different forms of nitrogen is rather similar, whatever the organic matter flow in the sediment. As long as the amount of organic input works as limiting factor, bacteria densities are proportional to its flow. No correlation was found between bacteria and chemical parameters in the sand or in the water. The temperature does not seem to play a determinant part neither in the evolution of bacteria nor in the mineralization of organic matter. The rate of percolation, through the level of oxydation it maintains, influences the type of mineralization, but does not modify the bacteria densities.

MOTS - CLES : Circuit clos - Sédiment - Bactéries - Matière organique - Azote.

KEY - WORDS : Closed circuit - Sediment - Bacteria - Organic matter - Nitrogen.

INTRODUCTION

Les caractéristiques essentielles des microécosystèmes artificiels ont été analysés par RINGELBERG et KERSTING (1977). Deux types de système sont généralement utilisés : des systèmes fermés en ce qui concerne les éléments nutritifs ou des systèmes ouverts où les éléments nutritifs sont ajoutés de façon continue ou discontinue. Ces systèmes peuvent être d'autre part soit réalisés à partir d'une communauté entière prélevée dans le milieu naturel, soit reconstitués avec quelques espèces choisies. Les quatre combinaisons sont possibles.

Un microécosystème doit présenter les qualités essentielles suivantes : minéralisation efficace (TAUB, 1969) qui assure une durée de vie suffisante, persistance de conditions stables et prévisibles (steady state), reproductibilité des blancs expérimentaux, taille suffisante permettant une complexité spatiale favorable au développement des espèces et un prélèvements régulier d'échantillons sans perturber l'équilibre obtenu.

Un type de module expérimental a été mis au point pour étudier l'évolution de la méiofaune et des bactéries dans un sédiment maintenu en circuit clos, sous conditions contrôlées (BOUCHER et CHAMROUX, 1976 et CHAMROUX, BOUCHER et BODIN 1977). Il a été montré que de tels systèmes peuvent être maintenus dans un état de relative stabilité, avec des caractéristiques assez proches de celles de la nature, pendant une période suffisamment longue pour permettre une expérimentation.

Afin d'étudier l'influence de divers facteurs sur la régulation de tels systèmes, nous avons, dans le présent travail, suivi l'évolution d'une série de modules, semblables quant à leur conception au précédent, et dans lesquels nous avons fait varier un seul paramètre par bac, les autres étant maintenus constants.

MATERIEL ET METHODES

Le principe de fonctionnement de chaque système est identique à celui précédemment décrit mais pour des raisons de moindre encombrement, chaque bac est constitué de seulement deux compartiments A et B. Le filtre C a été supprimé. Chaque bac est d'une surface dix fois inférieure au module type et renferme donc 21 litres d'eau circulante et 6,5 litres de sable. Les caractéristiques des paramètres contrôlés sont calculées en fonction de cette dimension réduite. Les modules expérimentaux sont nourris tous les deux jours avec de l'extrait de caséine (DIFCO) ajouté dans l'eau circulante. Elles sont résumées dans le tableau I.

Les prélèvements ont été effectués avec des carottes stériles en plastique d'une surface intérieure de $0,5 \text{ cm}^2$. Une légère aspiration maintenue pendant le prélèvement empêche le tassement. Des fractions de 2 ml correspondant à des niveaux de 4, 8 et 12 cm de profondeur de sédiment, sont ensuite coupées et transvasées dans les tubes contenant l'eau de mer stérile destinée à réaliser les dilutions. Après ensemencement des bactéries, les dosages des différentes formes de l'azote sont réalisés sur ces mêmes échantillons. Une carotte identiques est faite pour déterminer le poids sec du sédiment, valeur à laquelle nous avons rapporté tous les résultats.

BAC 1	= 1/10 du bac témoin pour l'ensemble de ses caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ surface 0,041 m² ▪ température 12° C ▪ extrait de caséine 31,2 g/an ▪ filtration 0,6 l/h
BAC 2	= paramètre modulé	▪ extrait de caséine : 312 g/an = BI x 10
BAC 3	= paramètre modulé	▪ extrait de caséine : 3,12 g/an = BI / 10
BAC 4	= paramètre modulé	▪ extrait de caséine : 0
BAC 5	= paramètre modulé	▪ filtration : 6 l/h = BI x 10
BAC 6	= paramètre modulé	▪ température : 8° C

Tableau I : Caractéristiques des bacs expérimentaux. Les bacs 1, 5 et 6 sont mésotrophes. Le bac 2 est eutrophe. Le bac 3 est oligotrophe et le bac 4 est atrophe.

L'évolution quantitative des populations bactériennes a été suivie en fonction du temps. Nous avons retenu la méthode des plaques, la seule qui permette des isolements de bactéries pour une étude qualitative qui est actuellement en cours. Le milieu de culture est celui utilisé précédemment et permet une évaluation des bactéries viables composant la "microflore totale hétérotrophe aérobie".

Nous avons suivi essentiellement les différentes formes de l'azote sur les prélèvements où bactéries et méiofaune étaient également dénombrées. La technique utilisée pour ces dosages est inspirée de celle décrite en analyse des sols par BREMMER (1965) et adaptée aux sédiments marins dans notre laboratoire. Elle a l'avantage de permettre, à chaque étape, le traitement de l'échantillon global, sédiment et eau interstitielle, évitant bien des pertes. Nous nous sommes aperçu, en effet, lors de travaux antérieurs, que les mesures réalisées soit sur l'eau interstitielle, soit sur différents liquides d'extraction, ne rendaient pas compte des quantités réelles des divers éléments, même très solubles, contenus dans le sédiment. Notre technique a l'inconvénient de ne pas pouvoir être automatisée puisque les différentes étapes du dosage se réalisent sur le sédiment.

Le principe du dosage est le suivant : un poids connu de sédiment frais est soumis à une distillation alcaline permettant de recueillir quantitativement l'ammoniaque et les quelques composés azotés organiques instables en milieu alcalin (amines, sucres aminés...etc.). Après refroidissement, ce même échantillon est à nouveau distillé dans les mêmes conditions en présence d'un mélange réducteur permettant de recueillir, sous forme d'ammoniaque, la totalité de l'azote nitrique. L'ensemble est repris par l'acide sulfurique concentré en présence de catalyseur et minéralisé selon la technique de Kjeldahl. La fraction ainsi minéralisée correspond à l'essentiel de l'azote organique.

RESULTATS

Dans des systèmes clos comportant un sédiment agissant comme filtre, il est important de connaître l'évolution des populations bactériennes et des caractéristiques chimiques au sein de ce sédiment, afin de comprendre sinon de

maîtriser, son rôle de régulateur pour l'ensemble du système.

I. EVOLUTION DES DENSITES DE BACTERIES

I.I. Phases du développement bactérien

Les courbes portées sur la figure 1, résument l'évolution des densités bactériennes, dénombrées en nombre de bactéries viables par gramme poids sec de sédiment, au cours du temps d'expérience soit actuellement 24 mois. Dans toutes les conditions d'environnement des bacs, l'évolution se réalise typiquement en trois phases. Cette observation nous était également apparue sur le premier module expérimental. Dans un premier temps, les bactéries répondent au déséquilibre créé par la mise en place d'un sédiment dragué, donc très perturbé, dans des conditions différentes de celle du milieu naturel d'origine. Cette réponse se traduit par un bloom d'intensité et de durée apparemment modulées par les facteurs de l'environnement.

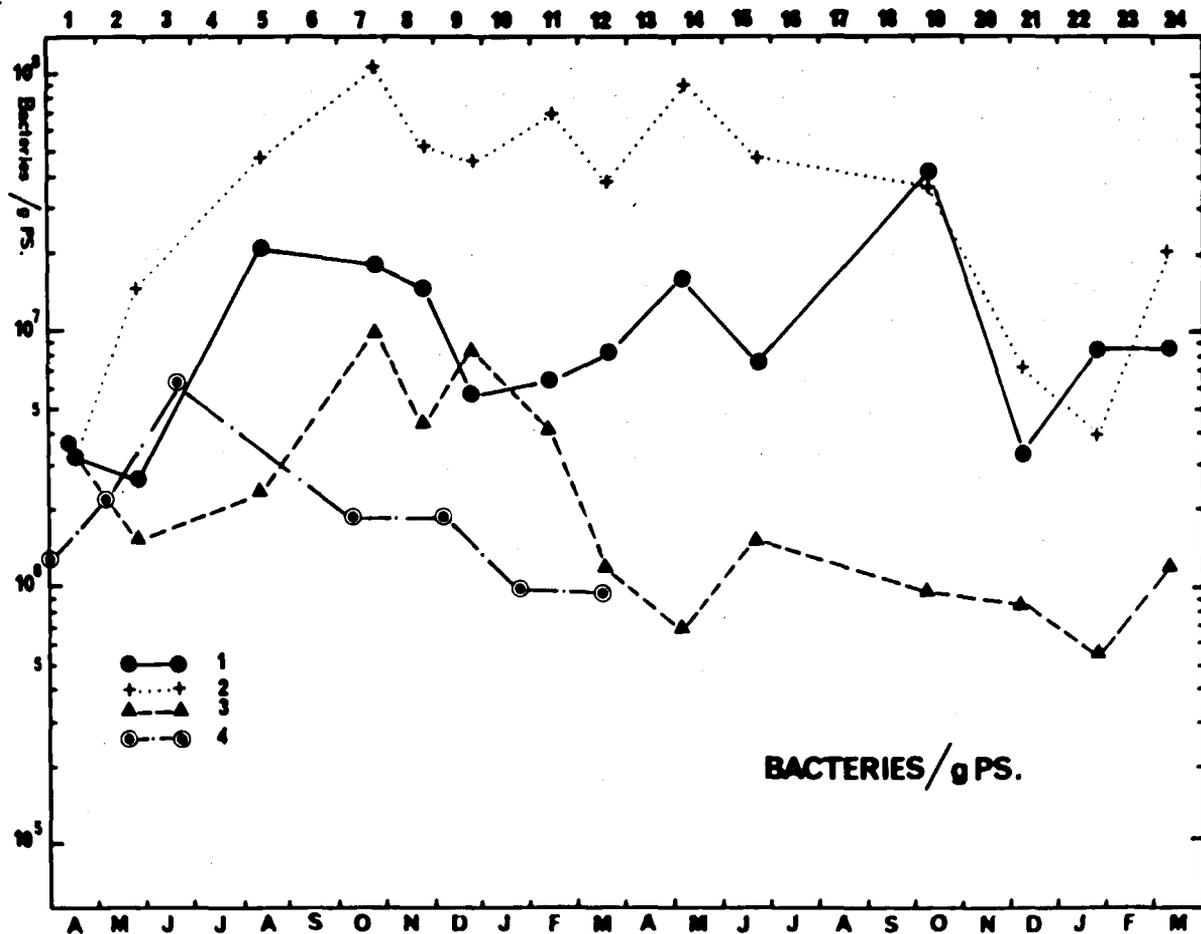


Figure 1 : Evolution des densités bactériennes dans des systèmes polytrophes

Dans une seconde phase, les bactéries se stabilisent à un niveau qui paraît directement lié à la teneur en matière organique circulante. Cette phase peut durer, selon les conditions, du neuvième au vingtième mois. Ensuite, apparaissent de nouvelles fluctuations qui s'accompagnent ou non d'une décroissance du nombre des bactéries.

1.2. Niveau des densités bactériennes

Les nombres de bactéries sont, dès la mise en place du sédiment, plus élevés que ceux trouvés dans le biotope naturel sur un sédiment prélevé en carottage. Ceci est dû au mode de prélèvement par dragage (CHAMROUX et BOUCHER, 1977). Ils se situent aux environs de $5 \cdot 10^6$ germes par gramme sec de sédiment. Après le bloom de la première phase, ils restent cependant relativement plus élevés que ceux observés sur le premier module expérimental. Ceci pourrait être lié aux effets de surface du fait d'un volume plus petit des bacs expérimentaux, comme l'a observé ZOBELL (1943).

1.3. Zonation verticale

Nous avons étudié la zonation verticale des bactéries dans chacun des bacs à des périodes correspondant à la phase stable succédant au bloom. Le tableau 2, résume les résultats de ces observations.

Niveau Bacs	1	2	3	5	6
eau avant percolation bact./ml	266.000	492.000	7.600	58.000	117.000
0 - 4 cm bact./g.PS $\times 10^6$	14.3	37.5	4.2	3	22.8
4-8 cm	15.2	4.43	5	1.9	21.9
8-12 cm	3.3	1.3	6.3	1.9	5

Tableau 2 : Comparaison des répartitions verticales des densités bactériennes dans les bacs.

Il apparaît une première zonation, très grande, entre l'eau et le sédiment. Bien que les conditions expérimentales et, en particulier, le système de percolation du sédiment, soient assez différentes de celles du milieu naturel, les valeurs ne sont pas très éloignées de celles généralement trouvées par les auteurs. ANDREWS, FLOODGATE et PUGH (1976), sur un modèle expérimental reproduisant les conditions d'une plage, notent un rapport de trois puissances de dix entre les populations de l'eau et celles du sédiment. BIANCHI (1973), étudiant les variations annuelles dans des zones côtières riches en matière organique, trouve une relation eau-sédiment variant de $1 \cdot 10^4$ à $7 \cdot 10^3$ germes/ml dans l'eau et $3 \cdot 10^5$ à $2,2 \cdot 10^7$ germes/gramme dans le sédiment, ce qui correspond à un rapport de 1/40 à 1/2.200. Dans nos bacs, le rapport varie de 1/52 à 1/1.000, sans corrélation évidente avec les conditions d'environnement.

La zonation verticale dans la colonne de sédiment est beaucoup moins apparente et, sauf pour le bac eutrophe (bac 2), ne se manifeste que au dessous du huitième centimètre.

2. EVOLUTION DES CONDITIONS CHIMIQUES

2.1. Différentes formes de l'azote

Nous avons régulièrement suivi, dans le sédiment et dans l'eau percolant chaque système, les quantités des différentes formes de l'azote. Les résultats sont résumés sur la figure 2.

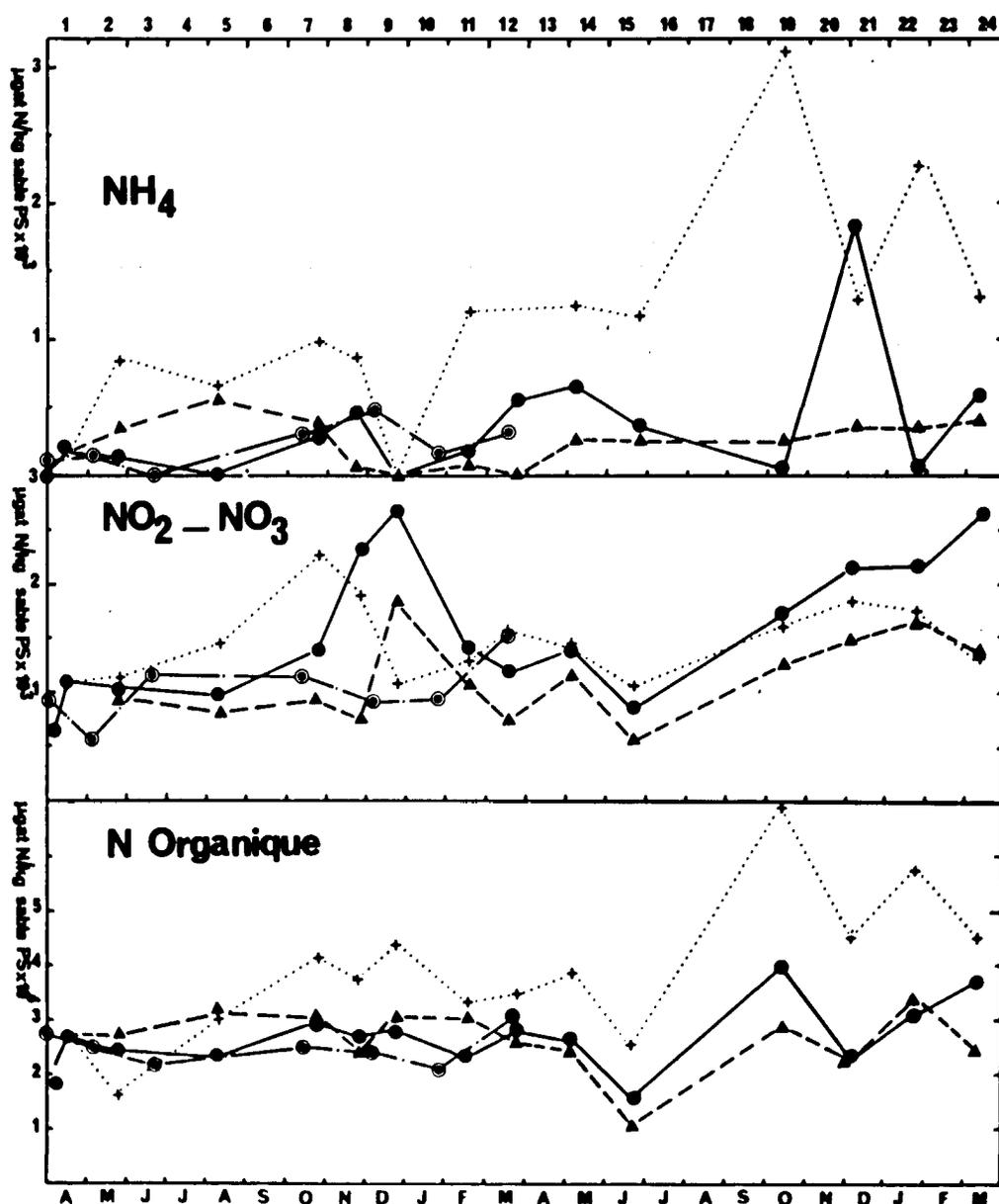


Figure 2 : Evolution des différentes formes de l'azote dans des systèmes polytrophes.

Chacun des systèmes, sauf le bac n°4 "atrophe", reçoit une dose régulière d'azote organique sous forme d'extrait de caséine. Tout au long de l'expérimentation, nous nous sommes assurés que l'azote ainsi ajouté disparaît totalement de l'eau de percolation en environ vingt heures. C'est le devenir de cet azote que nous avons suivi dans les différents systèmes.

Dans le sédiment l'évolution des différentes formes d'azote est semblable quelques soient les conditions de nourriture des bacs. L'azote organique reste constant à son niveau de départ (17.734 $\mu\text{g. At. d'N./Kg. Ps.}$) pendant les quinze premiers mois. A partir du seizième mois, on note une lente accumulation avec, au vingt quatrième mois, un gain moyen par rapport au départ de :

13.052 $\mu\text{g. At. d'N./Kg. Ps.}$	pour le bac 1	= mésotrophe
22.092 " "	pour le bac 2	= eutrophe
9.239 " "	pour le bac 3	= oligotrophe
10.787 " "	pour le bac 5	= mésotrophe
14.556 " "	pour le bac 6	= mésotrophe

Le sédiment de départ contient 650 $\mu\text{g. At. d'N. NO}_3 - \text{NO}_2/\text{Kg. Ps.}$. On observe un pic de nitrification lié au bloom bactérien du début d'expérience. Du onzième au seizième mois, les valeurs reviennent sensiblement à leur niveau de départ. Ensuite on note une augmentation régulière de l'azote nitrique dans le sédiment, suivant l'augmentation de l'azote organique.

L'azote ammoniacal est beaucoup plus fluctuant et présente des variations rapides et de beaucoup plus grande amplitude, en particulier dans les bacs mésotrophe et eutrophe à partir du seizième mois.

Dans l'eau, seul l'azote nitrique, essentiellement le nitrate, apparaît dans l'eau de percolation en quantités significatives par rapport à celles mesurées dans le sédiment. L'ammoniaque se trouvant en traces, seulement à certains moments, dans le bac eutrophe. L'azote organique ne s'accumule jamais dans l'eau de percolation et disparaît totalement, comme l'attestent les cinétiques que nous avons régulièrement réalisées, à chaque apport d'extrait de caséine.

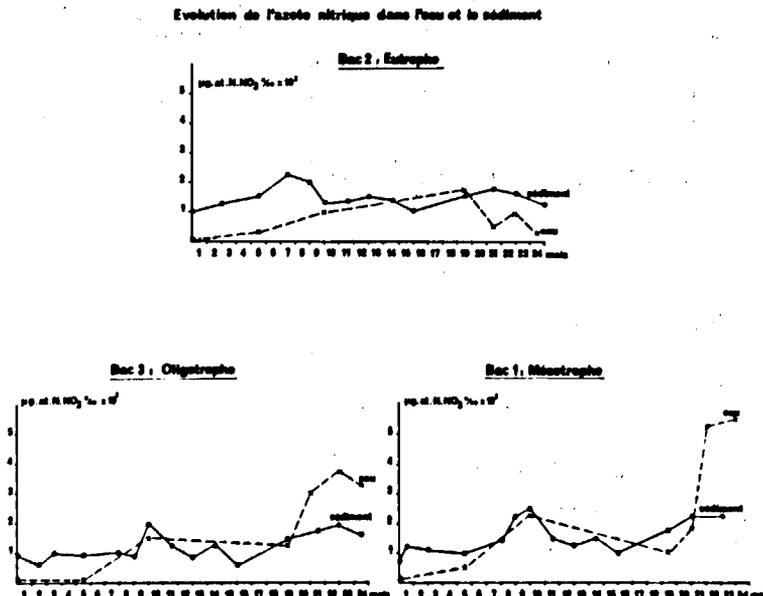
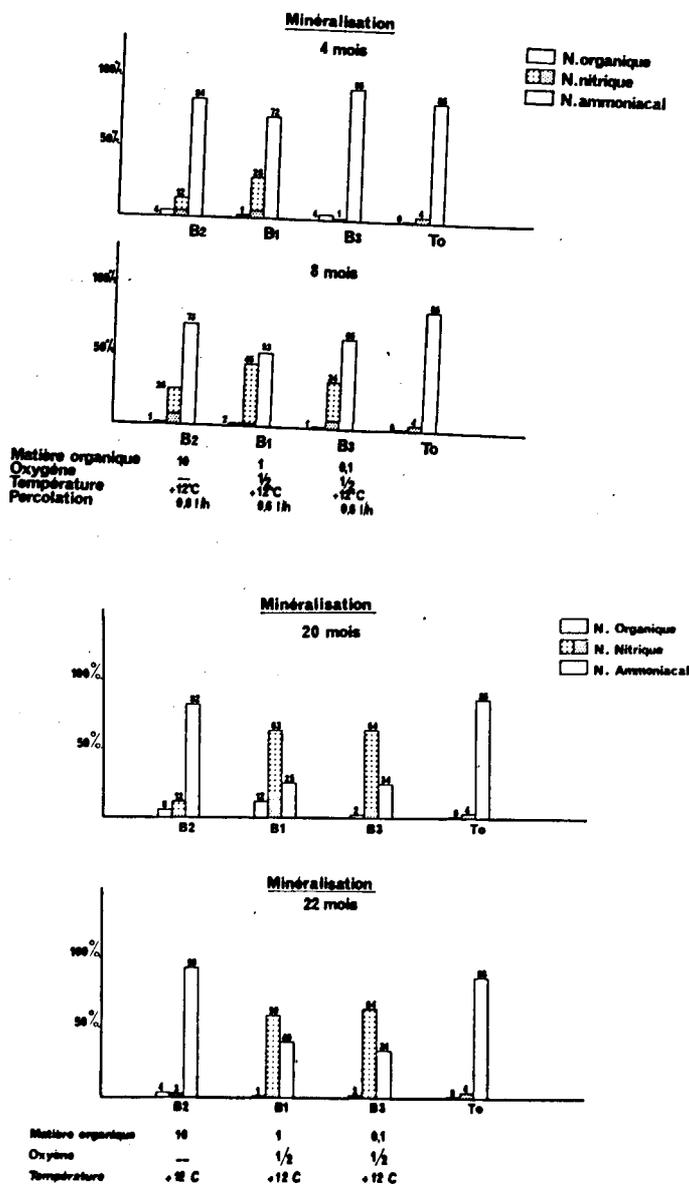


Figure 3 : Evolution de l'azote nitrique dans l'eau et le sédiment.

Le nitrate, totalement absent de l'eau de percolation en début d'expérience, apparaît en quantités importantes (en moyenne 720 µg.At.d'N.NO₃/l) dès le quatrième mois. Son évolution est ensuite différente selon les caractères trophiques des bacs. Dans les conditions mésotrophe et oligotrophe (BAC 1 et BAC 3), jusqu'au dix-neuvième mois, les variations du nitrate dans l'eau de percolation suivent celles du sédiment. Ensuite on note une augmentation très brutale. Dans le bac eutrophe (BAC 2), l'évolution est inverse, avec une disparition presque totale du nitrate dans l'eau de percolation à partir du dix-neuvième mois.

2.2. Taux de minéralisation

Nous avons calculé, à différents moments de l'évolution des bacs, les pourcentages relatifs des différentes formes de l'azote composant l'azote total dosé dans chaque système. Les résultats sont portés sur les figures 4 et 5.



Figures 4 et 5 : Taux de minéralisation dans des systèmes polytrophes.

La minéralisation se traduit essentiellement par la formation d'azote nitrique dont la plus grande part se retrouve dans l'eau. Mis à part le cas du bac eutrophe que nous discuterons ultérieurement, nous voyons que dans tous les bacs, le taux de minéralisation est voisin de 50% de l'azote total dès le huitième mois pour atteindre 81% au vingtdeuxième mois dans le bac à percolation rapide.

2.3. Niveau d'oxydation du sédiment

Les teneurs en oxygène dissous de l'eau circulante ont été mesurées au dessus du sédiment dans le compartiment principal et en dessous de celui-ci, après percolation. En début d'expérience, lorsque toutes les conditions sont identiques (premier mois), la teneur moyenne de l'eau avant percolation est de l'ordre de 6,32 ml/l et, après percolation, de 3,10 ml/l.

Dès que la quantité de matière organique est modulée, les conditions d'oxygénation de l'eau circulante sont modifiées. L'aspect du sédiment change, essentiellement dans le bac eutrophe où le sable noircit, par réduction brutale provoquée par le bloom bactérien. Le tableau 3 montre l'ordre de grandeur des teneurs en oxygène. En début d'expérience, l'eau percolant le sédiment présente une teneur en oxygène comparable dans le bac mésotrophe et oligotrophe mais la consommation obtenue par différence de teneur avec l'eau sortant du sédiment est nettement plus forte dans le bac mésotrophe (2,5 fois). Au contraire, dans le bac eutrophe, la teneur est assez faible dans l'eau sortante. Il se produit une consommation importante de l'oxygène dans l'eau avant percolation. En fin d'expérience, les teneurs dans l'eau percolante des bacs mésotrophe, oligotrophe et atrophe sont comparables. Alors que celles du bac eutrophe sont plus faibles.

La consommation d'oxygène semble bien proportionnelle à la quantité de matière organique fournie. En absence de matière organique, la consommation est cependant légèrement plus importante qu'en régime oligotrophique.

Début de l'expérience

Fin de l'expérience

bacs	avant ml/l	après ml/l	consom. O ₂ ml/l	consom. carb.g ^c / m ² /an	avant ml/l	après ml/l	consom. O ₂ ml/l	consom. Cg ^c /m ² / an
1	6,21 (90%)	1,38	4,83	190	5,82 (84%)	2,66	3,16	125
2	2,53 (37%)	0	>>6,21	>>250	4,37 (63%)	0	>4,37	>1,72 (233)
3	6,21 (90%)	4,25	1,96	77	5,96 (86%)	4,23	1,73	68
4	-	-	-	-	5,96 (86%)	3,54	2,42	95

Tableau n°3 : Teneurs en oxygène, pourcentage de saturation de l'eau circulant dans des bacs polytrophes. La consommation correspondante d'oxygène a été calculée d'après la formule de Strickland (1960).

DISCUSSION

La conception de ces bacs expérimentaux devait permettre des expériences dans lesquelles un seul des paramètres contrôlés pouvait être modulé, les autres devant rester identiques. Un point nous paraît cependant important. Ces expériences ont été menées sur un sédiment identique, ce qui permettait de dissocier certains paramètres toujours liés dans la nature, tels que : augmentation du contenu organique et diminution de la granulométrie, par exemple.

I. INFLUENCE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LES SYSTÈMES CLOS

Les systèmes clos ne peuvent pas fonctionner longtemps sans un apport de matière organique extérieur. Il est important de connaître les conséquences de cet apport organique sur la biologie de ces systèmes.

I.I. Sur les bactéries

- Niveau des populations bactériennes -----

Dans l'ensemble de nos systèmes expérimentaux, les bactéries semblent répondre, au moins pendant les deux premières phases de leur évolution, à l'apport de substance organique soluble. Le bloom de départ est d'autant plus rapide et plus important que la quantité de matière organique fournie est grande (courbes 1, 2 et 3 de la figure I). Il en est de même ensuite, pendant la phase stable où les moyennes de bactéries se stabilisent aux environs de : $0,5 \cdot 10^6$ pour le bac oligotrophe n° 3, $0,5 \cdot 10^7$ pour le bac mésotrophe n° 1 et $0,5 \cdot 10^8$ pour le bac eutrophe n° 2. On peut donc admettre que, pendant cette période d'évolution des systèmes, la quantité de matière organique fournie régule le niveau des populations bactériennes.

- Matière organique circulante-matière organique fixe -----

Pendant la même période, les modifications de l'azote organique du sédiment n'expliquent pas les variations quantitatives des bactéries. Dans ces expériences, il est évident que les bactéries se développent sur la matière organique circulante et que, dans ces conditions, elles sont liées à la quantité d'azote organique. Cette corrélation quantité de matière organique nombre de bactéries est soutenue ou controversée par les auteurs (BIANCHI, 1973, DALE, 1974), mais à partir de mesures ponctuelles dans la nature et en rapprochant les résultats obtenus entre des zones riches en matière organique et des zones pauvres et sans qu'il soit possible de séparer les paramètres caractérisant des biotopes aussi différents.

Cette étude montre que, à l'intérieur d'un même sédiment, les variations du nombre de bactéries peuvent s'expliquer par les fluctuations de la matière organique circulante, paramètre qui n'a jamais été mesuré dans la nature.

- Zonation verticale -----

Les auteurs s'accordent pour constater une zonation verticale des bactéries dans les sédiments mais les avis divergent quant aux facteurs déterminant

cette zonation. Dans l'ensemble des bacs, le nombre des bactéries décroît avec la profondeur du sédiment, cependant le seuil de décroissance est très superficiel dans les bacs eutrophe n° 2 et mésotrophe à percolation rapide n°5 alors qu'il n'apparaît qu'à huit centimètres dans les autres bacs mésotrophes n° 1 et 6.

BIANCHI (1973) ne trouve pas de rapport entre les fluctuations bactériennes entre les eaux et celles des sédiments sous jacents. Nous avons fait des observations identiques. Les quantités de bactéries dans l'eau demeurent toujours beaucoup plus faibles que dans le sédiment. Mais les rapports ne sont pas très différents de ceux trouvés habituellement dans les zones littorales (BIANCHI, 1976 et ANDREWS et Col., 1976).

1.2. Influence sur la chimie de l'azote

Si nous nous reportons à la figure 2, nous voyons que les courbes d'évolution des différentes formes de l'azote dans les bacs oligotrophe, mésotrophe et eutrophe, sont parallèles.

Le sédiment n'accumule pas de quantités d'azote organique proportionnelles aux quantités qui sont fournies. Pendant les seize premiers mois, on observe une stabilité avec, dans le bac eutrophe, une quantité d'azote organique seulement double de celle trouvée dans le bac mésotrophe. Aucune différence entre les bacs oligotrophe et mésotrophe. Dans la dernière phase d'évolution des systèmes on observe le même parallélisme avec des rapports seulement très légèrement décalés.

L'azote ammoniacal présente les plus grandes fluctuations et se trouve toujours en quantité plus importante dans le système eutrophe. Mais, là aussi, la relation n'est pas quantitativement liée au niveau d'azote ajouté.

Les taux de minéralisation augmentent de façon importante après vingt deux mois d'expérimentation dans les bacs mésotrophe et oligotrophe et ceci de façon assez identique. Par contre, la minéralisation, exprimée en pourcentage de nitrate, nitrite et ammoniacque dans l'ensemble du système, reste toujours très faible dans le bac eutrophe.

Il ne semble donc pas y avoir de corrélation entre les quantités d'azote fournies au systèmes et l'évolution des différentes formes de l'azote dans le sédiment et dans l'eau circulante.

1.3. Influence sur le niveau d'oxydation

Nous voyons, d'après les résultats portés sur le tableau 3, que la consommation d'oxygène au sein du sédiment, est d'autant plus grande que le milieu est plus riche, créant dans le bac eutrophe un milieu anaérobie dès les premiers centimètres, alors que les bacs oligotrophe et mésotrophe sont oxygénés sur toute la hauteur du sédiment avec seulement une valeur plus faible à la sortie du sédiment du bac mésotrophe. Cette répartition de l'oxygène pourrait, en partie, expliquer la zonation verticale des bactéries dans ces bacs.

2. INFLUENCE DES AUTRES PARAMETRES

Nous avons suivi l'effet d'une plus basse température et d'une plus

grande vitesse de percolation, sur des bacs mésotrophes.

La température, dans la limite de notre étude (8°C et 12°C), et la vitesse de percolation ne modifient pas sensiblement les densités de bactéries.

Le taux de minéralisation augmente avec le temps aussi bien à 12°C qu'à 8°C où il atteint cependant un niveau un peu plus faible. Par contre, il est le plus important dans le bac à forte percolation, ceci étant lié au niveau d'oxygène favorisant la nitrification.

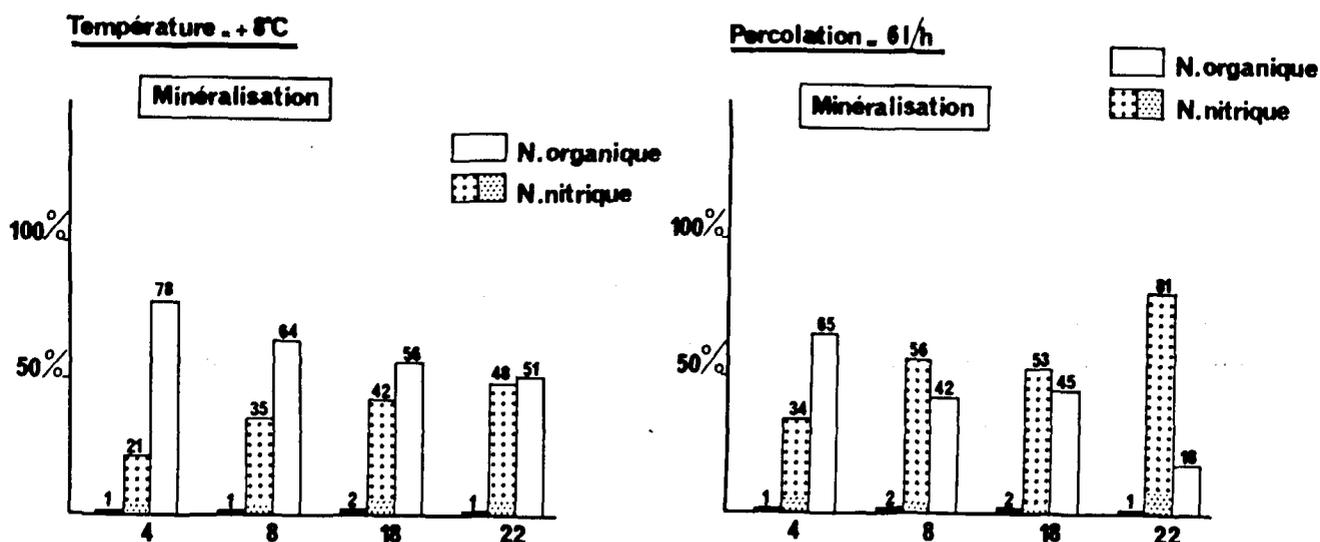


Figure 6 : Influence de divers paramètres sur le taux de minéralisation dans des systèmes polytrophes.

En conclusion, après vingt deux mois d'expérimentation dans ces différentes conditions, nous pouvons résumer quelques remarques :

L'évolution des populations bactériennes, quelques soient les conditions d'environnement, se fait de façon assez parallèle et les trois phases décrites dans le premier module expérimental, se sont reproduites assez fidèlement dans cette série de bacs et avec des durées sensiblement équivalentes à celles observées dans le module type (BOUCHER et CHAMROUX 1976). Le point critique pour les bactéries semblant se situer au dixhuitième-vingtième mois, indépendamment des conditions que nous avons imposées.

Nous n'avons pas retrouvé, sauf en ce qui concerne l'évolution du nitrate, de corrélation directe entre les bactéries et les paramètres chimiques mesurés dans l'eau ou le sédiment. Ce phénomène rejoint les observations faites par d'autres auteurs tels PUGH (1976), ANDREWS et Col. (1976) sur un modèle de plage et qui ne retrouvent au cours d'un cycle annuel, aucune corrélation de ce type.

La seule relation que nous mettons nettement en évidence, est la liaison nombre de bactéries et matière organique circulante, distinguant ainsi nettement oligotrophie et mésotrophie, quelque soient la température ou le niveau d'oxygène, de l'eutrophie.

Cette absence de corrélation entre niveau des populations bactériennes, mesuré en microflore totale hétérotrophe aérobie et paramètres chimiques, met en cause une nouvelle fois les défauts des techniques d'évaluation des populations bactériennes. En effet, dans de tels systèmes clos, la minéralisation ne peut être assurée que par les bactéries. Mais les types métaboliques dépendent des conditions d'environnement. Or l'évolution de la microflore totale ne traduit pas suffisamment la spécificité des différents métabolismes assurant la minéralisation. Nous rejoignons les observations de HARGRAVE (1972) " la numération des microorganismes ne peut pas servir comme mesure de leur importance dans les processus de décomposition. Il n'y a pas de relation claire entre leur nombre et les taux métaboliques".

BIBLIOGRAPHIE

- ANDREWS A.R., FLOODGATE G.D. and K.B. PUGH - 1976 - An annual cycle, at constant temperature, in a model sandy beach. II. Microbial biology. J.exp. Biol.Ecol., 24, p. 61-72.
- BIANCHI A.J.M. - 1973 - Variations de la concentration bactérienne dans les eaux et les sédiments littoraux, Marine Biology, 22, p. 23-29.
- BOUCHER G. and S. CHAMROUX - 1976 - Bacteria and meiofauna in an experimental sand ecosystem. I. Material and preliminary results. J.exp. Biol.Ecol., 24, p. 237-249.
- BREMMER J.M. - 1965 - Total Nitrogen. in Methods of soil analysis, Part 2 chemical and microbiological properties, American Society of Agronomy Publisher. p. 1149-1237.
- CHAMROUX S., BOUCHER G. et P. BODIN - 1977 - Etude expérimentale d'un écosystème sableux. II. Evolution des populations de bactéries et de méiofaune Helgoländer wiss. Meeresunters., 30, p. 163-177.
- DALE N.G. - 1974 - Bacteria in intertidal sediments : factors related to their distribution. Limnology and Oceanography, 19 (3), p. 509-518.
- HARGRAVE B.T. - 1972 - Aerobic decomposition of sediment and detritus as a function of particule surface area and organic content. Limnology and Oceanography, 17 (4), p. 583-596.
- PUGH K.G. - 1976 - An annual cycle, at constant temperature, in a model sandy beach. I. Nutrient chemistry, J. exp. Biol. Ecol., 22, p. 179-192.
- RINGELBERG J. and K. KERSTING - 1977 - properties of an aquatic micro-ecosystem : I. General introduction to the prototypes. Arch. Hydrobiol. (à paraître).
- TAUB F.B. - 1969 -A biological model of a freshwater community : a gnotobiotic ecosystem. Limnology and Oceanography, 14, p. 136-142.
- ZOBELL C.E. - 1943 - The effect of solid surfaces upon bacterial activity, J. Bact., 46, p. 39-56.