

Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg. Bull. K. Belg. Inst. Nat. Wet.	Bruxelles Brussel	31-XII-1984
55	B I O L O G I E	8

CORRELATION ENTRE LA CONCENTRATION BACTERIENNE  
ET LES TENEURS EN CARBONE, AZOTE ET CARBONATES  
DES SEDIMENTS FLUVIAUX EQUATORIAUX

PAR

E. RICHELLE-MAURER

(Avec 5 figures dans le texte)

**BULLETIN**

Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg. Bull. K. Belg. Inst. Nat. Wet.	Bruxelles Brussel	31-XII-1984
55	B I O L O G I E	8

CORRELATION ENTRE LA CONCENTRATION BACTERIENNE  
ET LES TENEURS EN CARBONE, AZOTE ET CARBONATES  
DES SEDIMENTS FLUVIAUX EQUATORIAUX

PAR

E. RICHELLE-MAURER (\*)

(Avec 5 figures dans le texte)

---

RESUME

Quarante-huit échantillons de sédiments fluviaux équatoriaux ont été analysés du point de vue microbiologique et physico-chimique (granulométrie, pH, teneurs en matière organique, carbone organique, azote total et carbonates) afin d'étudier quelques facteurs de variation quantitative des bactéries de ces sédiments.

Nous avons ainsi pu mettre en évidence une corrélation positive entre la concentration bactérienne des sédiments et leur teneur en carbone, azote et carbonates. Ces trois paramètres sont fortement corrélés entre eux.

1. — INTRODUCTION

Dans ce travail, nous avons étudié la distribution des bactéries hétérotrophes aérobies dans des sédiments fluviaux situés dans la région équatoriale. Huit stations de prélèvement ont été choisies autour de l'île Kongolo (Haut-Zaïre).

Les facteurs physico-chimiques principaux pouvant affecter le développement des populations bactériennes des sédiments ont été étudiés (pH, granulométrie, teneurs en matière organique, carbone organique, azote total et carbonates).

(\*) Chef du Projet XIV d'Ecologie et Conservation de la Nature. Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani (Zaïre).

La matière organique joue un rôle particulièrement important dans les sédiments (DEVEZE, 1950; BIANCHI, 1973) car elle est la source principale d'énergie pour les bactéries hétérotrophes.

Une analyse mathématique a été réalisée afin de déterminer s'il existe des différences entre les sédiments des différentes stations et si une corrélation pouvait être établie entre la concentration bactérienne et les facteurs physico-chimiques étudiés.

## 2. — MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Description du biotope

L'île Kongolo est une réserve naturelle et inhabitée appartenant à la Faculté des Sciences de Kisangani. Elle est située au confluent de la rivière Lindi et du fleuve Zaïre, à 15 kilomètres de la ville de Kisangani, dans la région du Haut-Zaïre. Elle a une longueur de 4 kilomètres et une largeur maximale de 500 mètres.

La rive nord de cette île est baignée en permanence par la Lindi, la rive sud-ouest par le fleuve Zaïre et la rive sud-est soit par la Lindi soit par le fleuve Zaïre, suivant les périodes de l'année. En effet, en période de crues, les eaux du fleuve remontent dans le bras sud de la Lindi.

Les huit stations choisies sont localisées sur la figure 1: elles sont numérotées de 1 à 8.

Le climat est équatorial, chaud et humide, présentant de décembre à février, une courte saison sèche.

### 2.2. Méthodes de prélèvement et d'analyse des échantillons

Les sédiments sont prélevés par carottage: trois prélèvements indépendants sont effectués à chaque station. Chaque échantillon est analysé au point de vue microbiologique et physico-chimique:

#### a) Analyse microbiologique: dénombrement des bactéries

Un échantillon est pris au centre de la carotte, dans le centimètre supérieur à l'aide d'une seringue stérile et suspendu dans une solution de  $MgSO_4$ , M/100 afin d'obtenir une dilution de 10. Les tubes contenant cette solution sont pesés avant et après le prélèvement afin de pouvoir exprimer le nombre de bactéries par gramme de sédiments. Une série de dilutions décimales est effectuée à partir de la dilution 10 après l'avoir agitée pendant 5 minutes sur un vortex génie.

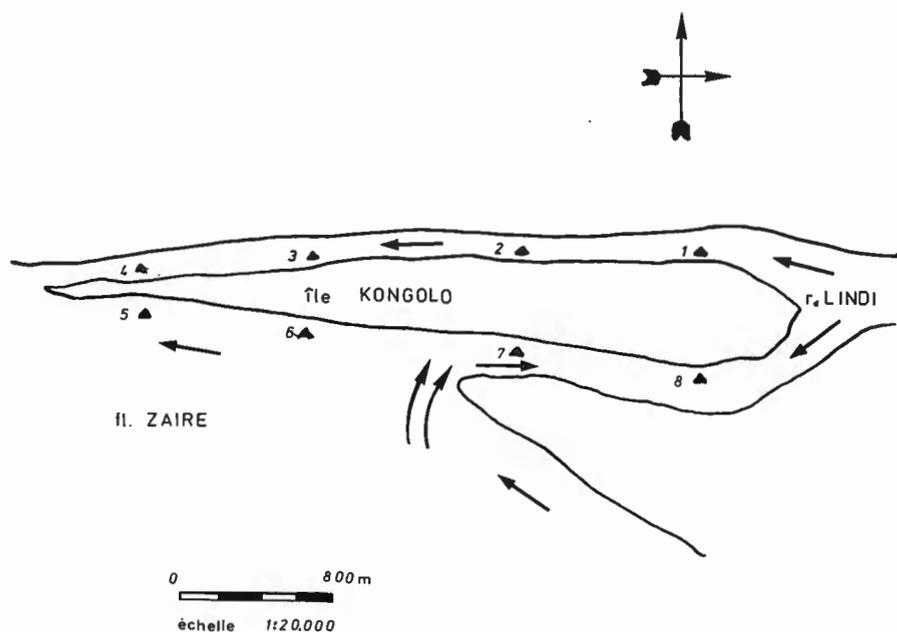


Fig. 1. — L'île Kongolo située à la confluence du fleuve Zaïre et de la rivière Lindi. Les stations de prélèvement sont numérotées de 1 à 8.

Divers milieux de culture ont été utilisés afin de déterminer celui qui convenait le mieux : agar nutritif (Difco)-agar glucosé à la peptone et l'extrait de levure (Merck)-agar glucosé à la tryptone et l'extrait de viande (agar tryptoné Difco)-Dev agar à la gélatine (Merck). En effet, aucun milieu ne permet la croissance de toutes les bactéries. Ces milieux ont été préparés avec de l'eau distillée ou de l'eau de la Lindi filtrée. Le pH final est de 7.

L'incubation se fait à température ambiante (15-26 °C) jusqu'à développement des colonies.

#### b) Analyses physiques et chimiques

La couche supérieure des sédiments est répartie dans des flacons en vue de l'étude de ses caractéristiques physico-chimiques.

**Granulométrie :** L'analyse granulométrique a été réalisée par Madame l'ABBE au laboratoire de Minéralogie à l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique. La nomenclature utilisée est celle de WENTWORTH, 1922 (PETTIJOHN, 1957).

**pH :** La mesure du pH des sédiments est effectuée au laboratoire avec un pH mètre Beckman d'après la méthode décrite par POCHON (1954).

**Carbone organique :** Les échantillons ont été traités de deux manières différentes pour conservation avant analyse. Une série a été séchée au four à 80 °C pendant 24 heures et l'autre a subi une tyndallisation (PILET, BOURDON et MARCHAL, 1972).

Les analyses sont faites à l'aide d'un analyseur C-H-N Perkin Elmer modèle 240 et les résultats exprimés en pourcentage par rapport au poids sec.

**Matière organique :** La teneur en matière organique est déterminée par la perte au feu à 550 °C.

**Azote total :** Même procédure que pour le carbone organique.

**Carbonates :** La teneur en carbonates est déterminée par la perte après traitement à l'HCl dilué.

### c) Analyse mathématique des données

Elle permet l'analyse comparative des résultats afin de mettre en évidence des différences significatives ou non entre les sédiments des différentes stations et d'établir des corrélations entre les variables.

Pour ce faire, plusieurs méthodes ont été utilisées : analyse de la variance et contrastes orthogonaux-corrélations simples et multiples-analyse de régression.

## 3. — RESULTATS

Cette étude a été effectuée en juillet 1979 pendant la période des basses eaux. Les prélèvements ont été effectués à 5 mètres environ des berges de l'île, à une profondeur moyenne de 0,95 m. Les eaux étant basses, il nous est permis d'affirmer que les sédiments prélevés correspondent bien au lit de la rivière et du fleuve et non à la partie de l'île qui est régulièrement inondée.

La température moyenne des eaux est de 27,6 °C.

Les résultats des dénombrements bactériens et des analyses physico-chimiques sont repris dans le tableau 1. Ils sont en outre représentés sous forme d'histogrammes à la figure 2. Les sédiments sont rangés en ordre croissant selon leur teneur en carbone organique.

### 3.1. Dénombrement des bactéries

Nous avons constaté que les colonies sont plus nombreuses et plus grandes sur agar glucosé à la peptone et à l'extrait de levure que sur tous les autres milieux. Par ailleurs, le nombre de colonies sur les milieux préparés avec de l'eau de la Lindi filtrée est semblable à celui obtenu

sur les milieux préparés avec de l'eau distillée. Nous avons donc dans tous nos travaux, utilisé de l'eau distillée.

Les colonies sont déjà bien développées après 15 heures d'incubation. Il a souvent été nécessaire de faire les lectures à ce moment-là, les colonies de *Bacillus cereus var. mycoïdes* s'étendant très rapidement, envahissaient la boîte de Pétri et recouvraient toutes les autres colonies, rendant tout comptage ultérieur impossible.

Remarquons que la méthode utilisée ne permet que le dénombrement des bactéries aérobies et anaérobies facultatives.

Les populations bactériennes sont comprises entre 140.000 et 2.300.000 germes par gramme de sédiments humides. La plus faible concentration se trouve dans les sédiments prélevés aux stations 5 et 6 du fleuve Zaïre.

TABLEAU 1

Dénombrement des bactéries et caractères physiques et chimiques  
des sédiments fluviaux équatoriaux  
(les valeurs indiquées correspondent aux moyennes  
de trois prélèvements indépendants par station)

Stations	Lindi nord-est		Lindi nord-ouest		Zaïre sud-ouest		Lindi sud-est	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Bact./g séd. humides $\times 10^4$	116	230	98	68	14	19	164	140
Granulométrie $\varnothing$ moyen ( $\mu\text{m}$ )	130	66	108	156	114	138	150	48
Nomenclature ...	sable t. fin à moyen	silt grossier à sable fin	sable t. fin à fin	sable fin	sable fin à t. fin	silt grossier à sable fin	sable fin	silt grossier
pH ... ..	7,2	7,0	7,0	7,0	7,0	7,2	7,4	7,2
Nat. organique % du poids sec	5,62	18,84	2,75	3,4	3,32	2,82	3,44	18,51
Carbone org. % du poids sec	2,386	6,722	0,721	0,983	0,533	0,696	1,023	6,301
Azote total % du poids sec	0,157	0,449	0,048	0,062	0,037	0,049	0,070	0,465
Carbonates % du poids sec	1,4	3,3	0,64	0,53	0,52	0,35	0,63	2,64
C / N ... ..	15,2	15,0	15,0	15,9	14,4	14,2	14,6	13,6

### 3.2. Aspect et granulométrie des sédiments

Les sédiments du fleuve Zaïre se distinguent nettement par leur aspect : ils sont plus compacts et ont une couleur brun jaunâtre alors que ceux de la Lindi sont brun noirâtre. Ces sédiments sont en général mal classés et sont situés entre les silts grossiers (limons) et les sables moyens (PETTIJOHN, 1957).

### 3.3. Mesure du pH

Le pH des sédiments oscille autour de la neutralité et a une valeur moyenne de 7,1.

### 3.4. Teneurs en carbone, azote et carbonates

#### a) Comparaison des méthodes de conservation des échantillons : séchage au four à 80 °C pendant 24 heures et tyndallisation

Deux méthodes de conservation des échantillons ont été utilisées afin de déterminer si la méthode employée pouvait modifier les teneurs en carbone, azote et carbonates des sédiments.

Nous avons établi les droites de régression et calculé les coefficients de corrélation à partir de deux séries de mesures basées sur 24 échantillons. Les droites de régression, représentées sur la figure 3, passent par l'origine (carbone organique et azote). Les coefficients de corrélation sont respectivement de 0,989 pour le carbone; 0,993 pour l'azote et 0,913 pour les carbonates.

Les deux méthodes de conservation des échantillons donnent donc des résultats semblables et sont par conséquent équivalentes.

Nous n'avons donc considéré qu'une série de résultats, à savoir, ceux correspondant à la tyndallisation.

**Teneur en carbone organique :** Elle est peu élevée en général sauf pour les stations 1, 2 et 8, situées en amont de l'île. Les sédiments du fleuve Zaïre présentent la teneur la plus faible en carbone organique.

**Teneur en matière organique :** La répartition est à peu près la même que celle du carbone. Les sédiments des stations 2 et 8 se distinguent nettement des autres, en ayant une teneur en matière organique beaucoup plus élevée (de 3,3 à 6,8 fois plus).

**Teneur en azote :** La répartition suit également celle du carbone, les sédiments des stations 1, 2 et 8 ayant une teneur en azote

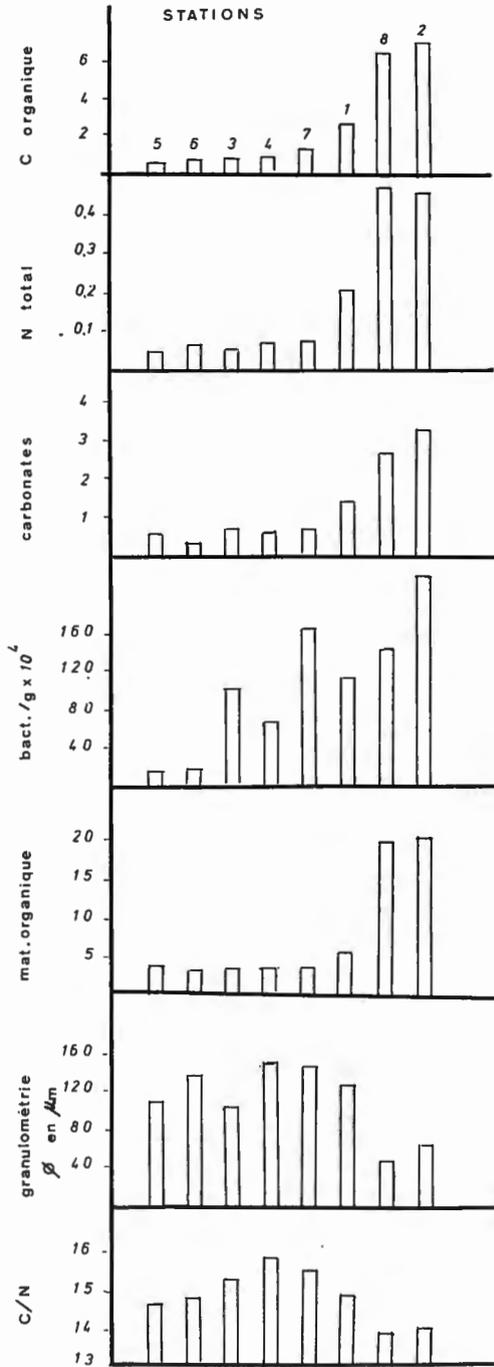


Fig. 2. — Histogrammes donnant les caractéristiques physico-chimiques (carbone organique, azote total, carbonates, matière organique exprimés en % du poids sec, diamètre moyen des grains, rapport C/N) et le nombre de bactéries pour chaque station de prélèvement. Les stations sont numérotées de 1 à 8 et rangées selon leur teneur en carbone organique.

nettement plus élevée que celle des sédiments des autres stations, en particulier les deux stations du fleuve Zaïre.

**Teneur en carbonates :** Elle est plus élevée pour les sédiments des stations 1, 2 et 8 et plus faible pour les stations 5 et 6.

**Rapport C/N :** Il est moyen et varie peu d'une station à l'autre.

Une analyse mathématique de ces résultats a été effectuée afin de déterminer si les différences observées entre les sédiments des diverses stations sont significatives ou non. Les comparaisons suivantes ont été faites :

- Fleuve Zaïre-rivière Lindi.
- Lindi bras nord-Lindi bras sud.
- Stations entre elles.

Une différence hautement significative de la teneur en carbone, azote et carbonates est observée entre les sédiments :

- du fleuve Zaïre et de la rivière Lindi;
- des stations 1 et 2; 7 et 8 de la rivière Lindi.

Les sédiments de la rivière Lindi, bras nord et bras sud, présentent une différence hautement significative pour leur teneur en azote, significative pour leur teneur en carbone et non significative pour la teneur en carbonates.

Enfin, il n'y a pas de différence significative entre les sédiments des stations 5 et 6 du fleuve Zaïre et 3 et 4 de la Lindi.

#### b) Influence de la teneur en carbone, azote et carbonates sur la concentration bactérienne

L'analyse des histogrammes de la figure 2 montre que la concentration bactérienne suit assez bien les teneurs en carbone, azote et carbonates des sédiments: à de faibles concentrations en carbone, azote et carbonates correspondent une concentration faible en bactéries et réciproquement. Néanmoins, cette relation n'est pas vérifiée pour les sédiments des stations 3 et 7 où le nombre de bactéries est anormalement élevé par rapport à la teneur en carbone, azote et carbonates de ces sédiments.

Les graphiques représentant ces relations sont repris à la figure 4.

Les coefficients de corrélation entre ces variables sont présentées dans le tableau 2. Les calculs sont effectués sur les résultats provenant de 24 échantillons.

Nous remarquons une corrélation positive hautement significative entre la concentration bactérienne et les teneurs en carbone, azote et carbonates des sédiments.

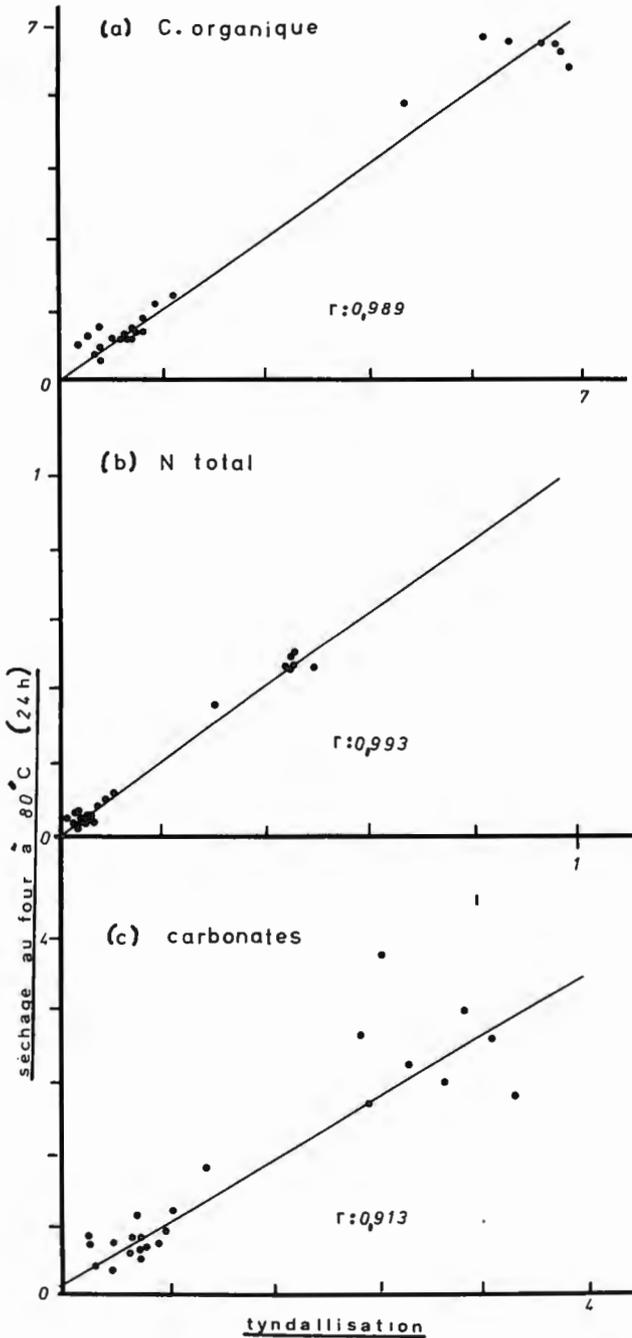


Fig. 3. — Comparaison des deux méthodes de conservation des échantillons par l'analyse de régression. Toutes les valeurs correspondent à la moyenne de deux mesures ( $n = 24$ ), a. carbone organique; b. azote total; c. carbonates.

TABLEAU 2

Matrice de corrélation des variables étudiées dans 24 échantillons de sédiments

Variables		x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>
Nombre de bactéries/g	x <sub>1</sub>	1,000	—	—	—
% Carbone organique	x <sub>2</sub>	0,672	1,000	—	—
% N total ... ..	x <sub>3</sub>	0,652	0,997	1,000	—
% carbonates ... ..	x <sub>4</sub>	0,709	0,983	0,372	1,000

De plus, ces trois paramètres présentent entre eux une corrélation hautement significative. Les droites de régression sont représentées dans la figure 5 : l'interception se fait à l'origine pour les variables C-N.

#### 4. — DISCUSSION ET CONCLUSION

Le nombre de bactéries hétérotrophes dans la couche supérieure des sédiments fluviaux équatoriaux varie de 140.000 à 2.300.000 germes par gramme de sédiments humides. Ce nombre est faible par rapport aux concentrations bactériennes obtenues dans les sédiments des eaux douces des régions tempérées par les mêmes méthodes de numération (POTTER, 1964; MARSHALL, 1974; RHEINHEIMER, 1976, 1977). Notons toutefois que ce nombre est certainement sous-estimé car selon certains auteurs, la méthode des plaques, utilisée ici, donne un nombre de bactéries de cent à mille fois plus faible que le comptage direct (BRISOU, de RAUTLIN de la ROY, 1963; OLAH, 1973).

Les sédiments fluviaux étudiés se classent parmi les silts grossiers et les sables (PETTIJOHN, 1957).

Leur pH est voisin de la neutralité.

Les deux méthodes de conservation (séchage au four à 80 °C pendant 24 heures et tyndallisation) sont équivalentes : les teneurs en carbone organique, azote et carbonates des deux séries d'échantillons sont semblables, comme le met en évidence l'analyse de régression et le calcul des coefficients de corrélation.

Les teneurs en matière organique varient de 2,75 à 18,8 % avec une moyenne de 7,46 %. Les pourcentages les plus élevés sont rencontrés dans les sédiments des deux stations de la Lindi situées en amont.

Les teneurs en carbone organique varient de 0,53 à 6,72 % avec une moyenne de 2,4 %. Les sédiments des stations situées en amont ont des teneurs en carbone organique plus élevées que ceux des stations situées en aval. Les sédiments des deux stations du fleuve Zaïre présentent les teneurs les plus faibles.

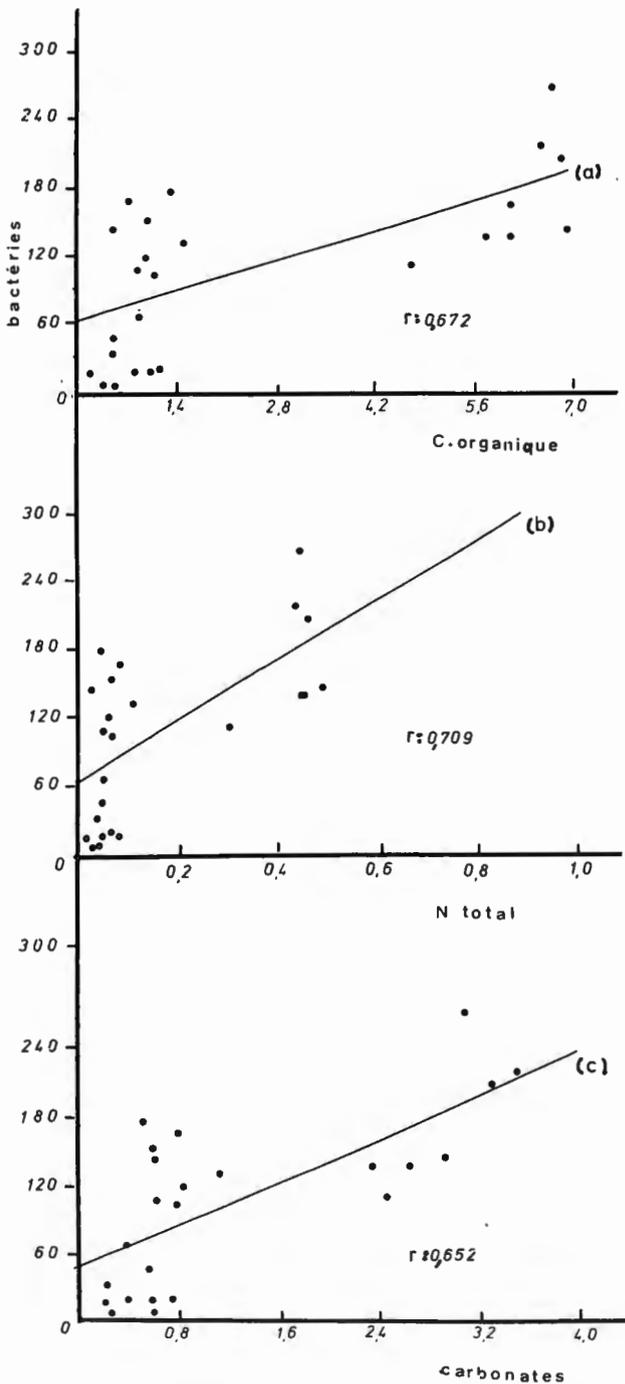


Fig. 4. — Relation entre la teneur en carbone organique (a), azote (b), carbonates (c) et le nombre de bactéries. Les teneurs en carbone organique, azote et carbonates sont exprimées en % du poids sec et le nombre de bactéries par gramme de sédiments.

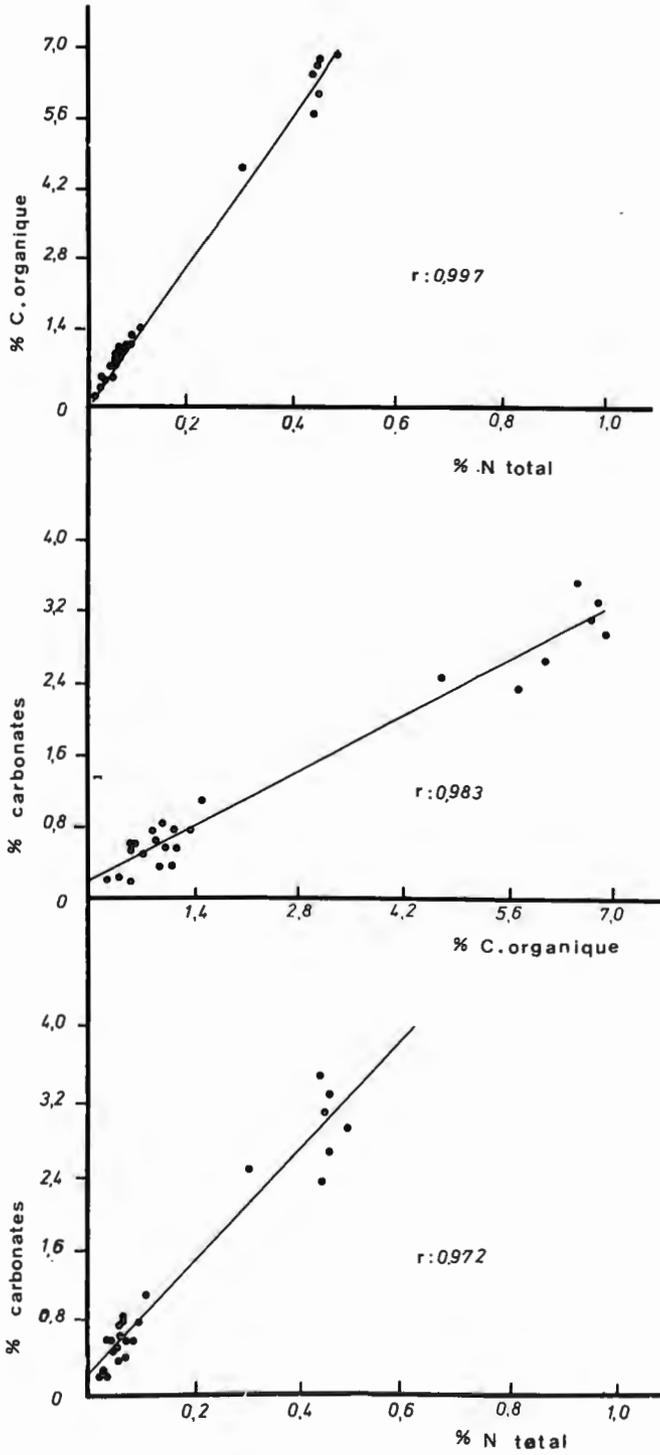


Fig. 5. — Relation entre la teneur en carbone, azote et carbonates des sédiments. Droites de régression et coefficients de corrélation ( $n = 24$ ).

Les teneurs en azote varient de 0,037 à 0,465 % avec une moyenne de 0,167 %. La distribution de l'azote suit celle du carbone organique.

Il en est de même pour les carbonates dont les concentrations varient de 0,35 à 3,3 %, avec une moyenne de 1,25 %.

Le rapport C/N varie de 13,6 à 15,2 avec une moyenne de 14,7.

Les teneurs en carbone organique sont du même ordre de grandeur que celles trouvées dans des sédiments fluviaux (EDELIN, LAMBERT, LORENZI, FATTICIONI, 1975; WARTEL, com. pers. et les sédiments marins de surface (HOBSON, MENZEL, 1969) mais le rapport C/N est plus élevé. Ceci pourrait être dû à la production d'acides humiques.

Nous avons essayé de relier les variations du nombre de bactéries aux facteurs étudiés.

Le pH et le rapport C/N, variant peu d'une station à l'autre, ne peuvent expliquer les différences observées de la concentration bactérienne.

Par contre, nous avons observé une relation entre le nombre de bactéries des sédiments et leur teneur en carbone, azote et carbonates : les coefficients de corrélation sont hautement significatifs.

De plus, on observe une corrélation également hautement significative entre les trois paramètres étudiés. Une telle relation linéaire a été également observée entre le carbone et l'azote particulaire dans les eaux de divers océans (CHESTER, STONER, 1974) et la baie de Kiel (LENZ, 1977).

Bien que certains auteurs signalent une relation entre la taille des particules et le nombre de bactéries dans les sédiments (MARSHALL, FAAS, MAJUMDAR, 1974; RHEINHEIMER, 1977) nous n'avons pas pu mettre une telle relation en évidence. Remarquons cependant que les sédiments des stations 2 et 8 sont les plus fins et présentent aussi le plus grand nombre de bactéries. Il est néanmoins difficile d'affirmer que la taille des particules joue un rôle dans le cas présent, car ces sédiments ont aussi des teneurs en carbone et matière organique élevées. Or, selon divers auteurs (MARSHALL, FAAS, MAJUMDAR, 1974; THOMAS, 1969; HARGRAVE, KAMP, 1977) à des sédiments fins, sont associées de plus grandes quantités de matière organique.

Les sédiments des stations 5 et 6 du fleuve Zaïre se distinguent des sédiments de la Lindi tant par leur concentration bactérienne que par leur teneur en carbone, azote et carbonates qui sont les plus faibles : dans ces sédiments il y a 4,1 à 13,9 fois moins de bactéries que dans les sédiments de la Lindi, de 1,2 à 11 fois moins de carbone organique, de 1 à 6,2 fois moins de matière organique, de 1,1 à 10,8 fois moins d'azote et de 1,2 à 7,6 fois moins de carbonates. Par contre, les sédiments des stations 1, 2 et 8 de la Lindi, situées en amont présentent les concentrations en bactéries, carbone organique, matière organique, azote et carbonates les plus élevées.

## REMERCIEMENTS

Nous sommes reconnaissante de l'aide qui nous a été apportée par le Laboratoire de Bactériologie et de Sédimentologie de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique et le Laboratoire d'Ecologie théorique et Biométrie de l'Université Catholique de Louvain-la-Neuve.

## BIBLIOGRAPHIE

- BIANCHI, A. J. M.  
1973. Variation de la concentration bactérienne dans les eaux et les sédiments littoraux. — *Marine Biology*, 22, 23-29.
- BRISOU, J., DE RAUTLIN DE LA ROY, Y., CORCIER, R., CAMPELLO, F.  
1963. Numération comparative des Bactéries marines par cultures et lecture directe sur membrane. — *Compte Rendu*, 3, 635-638.
- CHESTER, R., STONER, J. H.  
1974. The distribution of particulate organic carbon and nitrogen in some surface waters of the world ocean. — *Marine Chemistry*, 2, 263-275.
- DEVEZE, L.  
1950. Contribution à l'étude des Bactéries des eaux en relation avec les variations du milieu. — *Bull. Inst. Ocean.*, 48, 1-10.
- EDELIN, F., LAMBERT, G., LORENZI, G., FATTICIONI, H.  
1975. Les matières humiques dans les sédiments de la Sambre. — *Cebedeau*, 385, 432-438.
- HARGRAVE, B. T., KAMP, L. N.  
1977. Accumulation of sedimentary organic matter at the base of steep bottom gradient. — *In*: Interactions between sediments and fresh water.
- HOBSON, L. A., MENZEL, D. W.  
1969. The distribution and chemical composition of organic particulate matter in the sea and sediments of the east coast of South America. — *Limn. and Ocean*, 14 (1) 159-163.
- LENZ, J.  
1977. Hydrographic conditions (the Kiel Bight). — *Ecological studies*, 25, 37-60.
- MARSHALL, D. M., FAAS, R. W., MAJUMBAR, S. K.  
1974. Analysis of the flora in the sediment of the Lower York river of Southern Virginia. — *Proc. P. Acad. Sci.*, 48, 117-121.
- OLAH, J.  
1973. Bacterial gradients at the sediments water interface of shallow lake. — *Annal. Biol. Tihary*, 40, 219.
- PETTIJOHN, F. J.  
1957. Sedimentary rocks. — *Harper and Brothers*, New York, 2<sup>e</sup> ed., 718 p.
- PILET, CH., BOURDON, J. L. MARCHAL, N.  
1972. Le laboratoire de Bactériologie. — DOIN, 295 p.
- POCHON, J.  
1954. Manuel Technique d'analyse microbiologique du sol. — MASSON.
- POTTER, L. F.  
1969. Planktonic and Benthic bacteria of lakes and ponds. *In*: Principles and applications in Aquatic Microbiology. — HEUKELIAN, H., DONDERS N. C.

RHEINHEIMER, G.

1976. *Aquatic Microbiology*. — John WILEY and Sons.

1977. Distribution of Marine, Brackish water and Fresh water Bacteria in sediments.  
— *Ecological studies*, 25, 135.

THOMAS, R. L.

1969. A note on the relationship of grain size, clay content, quartz and organic carbon in source lake Erie and lake Ontario Sediments. — *Journ. Sed. Petr.*, 39, 803.