

ESTIMATION DES NIVEAUX DE POLLUTION ORGANIQUE ET BACTERIENNE  
DES EAUX A PROXIMITE DES BERGES DE LA VILLE D'ABIDJAN  
(LAGUNE EBRIE-COTE D'IVOIRE)

---

ESTIMATION OF THE LEVELS OF ORGANIC AND BACTERIAL POLLUTION  
OF WATERS NEAR THE EBRIE LAGOON BANKS  
IN THE ABIDJAN AREA

---

Par

GUIRAL D., A. M. KOUASSI et R. ARFI  
Centre de Recherches Océanologiques  
B.P. V 18 ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

---ooOoo---

RESUME

Trois campagnes sur l'ensemble de la zone urbaine de la lagune Ebrié (Abidjan, Côte d'Ivoire) ont été réalisées à trois saisons caractéristiques de l'hydroclimat lagunaire (grande saison sèche, grande saison des pluies, petite saison des pluies et crue fluviale) pour estimer les niveaux de pollution organique (seston, ions ammonium et orthophosphates) et bactérienne (*E. coli* et *C. perfringens*) des eaux à proximité des berges. Celles-ci présentent une forte eutrophisation caractérisée par des concentrations en permanence très élevées pour N-NH<sub>4</sub> et lors de la grande saison sèche pour P-PO<sub>4</sub>. Les charges minérales solides s'accroissent en période de forte dessalure et plus particulièrement lors de la grande saison des pluies. A l'opposé, les charges organiques particulières sont maximales lors de la grande saison sèche. Les densités de *E. coli* sont excessivement élevées et caractérisées par une très forte variabilité spatiale. En moyenne, les densités au niveau des berges sont supérieures à celles déterminées pour les eaux libres de la lagune Ebrié. Cet enrichissement permanent, significativement plus important en saison des pluies, découle de la proximité des stations échantillonnées par rapport aux sites de rejets.

Les densités de *C. perfringens* sont significativement corrélées avec les charges organiques particulières et les densités de *E. coli*. Leurs concentrations moyennes sont équivalentes pour les trois périodes étudiées et identiques à celles déterminées pour les eaux libres de la lagune Ebrié. Un traitement statistique a permis l'établissement de trois cartes synthétiques des niveaux de pollution des berges de la ville d'Abidjan. Cette cartographie traduit l'état sanitaire en permanence très préoccupant des secteurs à forte densité humaine. A partir de ce foyer fixe, on observe une extension des zones polluées contrôlée par l'hydroclimat. Enfin, les mesures de la conductivité des eaux ont confirmé l'existence d'une anomalie hydrodynamique entre les branches est et ouest de la lagune Ebrié par rapport au canal de Vridi. Cette dissymétrie se traduit par une influence océanique et une composition ionique différentes selon la localisation des stations. En l'absence de traitement des eaux, cette caractéristique de la lagune Ebrié doit impérativement être prise en compte dans l'élaboration d'un plan d'assainissement pour la ville d'Abidjan.

Mots-clés : Pollutions urbaines, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, lagune côtière, Afrique de l'ouest.

## ABSTRACT

Three surveys were undertaken in order to estimate the levels of organic and bacterial pollutions of the Ebrie lagoon banks in the entire urban area. The Ebrie lagoon waters are characterized by a strong eutrophication caused by permanently high concentrations in N-NH<sub>4</sub>, and also by high concentrations in P-PO<sub>4</sub> during the great dry season. Solid mineral loads increase during the flood period and particularly during the great rainy season. In the contrary, particulate organic loads are maximal during the great dry season. The density of *E. coli* are excessively high and in the average higher than those determined for the Ebrie lagoon free waters. This enrichment is very important during the rainy period and is due to the nearness of the sampling stations to the waste dumping sites. The densities of *C. perfringens* are significantly correlated with those of *E. coli* and particulate organic loads. For the three periods studied, mean concentrations of *C. perfringens* are equivalent and identical to those determined for the free waters. From a statistical analysis, three synthetic maps of pollution levels of the Ebrie lagoon banks in the Abidjan area were established. This mapping represents both the worrying sanitary state of high human density area. From this stationary point, an extension on polluted zones controlled by the hydroclimate is observed. Finally, from conductivity measurements, the existence of a hydrodynamic anomaly between east and west branches of the Ebrie lagoon is confirmed. This anomaly is characterized by an ionic composition different according to the locations of the stations. Since wastewater treatment is lacking in this environment, this characteristic of the Ebrie lagoon must imperatively be taken into account in the elaboration of the stabilization plan of the city of Abidjan.

**Key-words :** Urban pollution, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, Coastal lagoon, West Africa

## INTRODUCTION

La plupart des grandes agglomérations africaines au sud du Sahara sont construites sur les rives d'un fleuve, lac, estuaire ou lagune. Très souvent, ces milieux aquatiques constituent des bassins de réception pour les déchets d'origine anthropique. Les problèmes de pollution y sont ainsi particulièrement importants en raison du déversement abusif d'eaux

résiduelles rejetées dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable. En outre, rares sont les villes ou villages africains pourvus de latrines ou de lieux de commodité publique. De ce fait, les bordures non aménagées de ces milieux aquatiques et les canaux de drainage à ciel ouvert, sont un lieu de dépôt de fèces (Dejoux, 1988). Cette triple pollution urbaine: organique, chimique et bactérienne est particulièrement importante dans le cas de la ville d'Abidjan qui comptait 2,5 millions d'habitants en 1988 et s'est développée au taux de 11% par an depuis 1960 autour de la lagune Ebrié.

Au sein de cette lagune, les apports constants de composés biodégradables y causent d'intenses phénomènes d'eutrophisation en particulier dans les zones à faible taux de renouvellement (Arfi et al., 1981 ; Pagès et al., 1980 ; Zabi, 1982). Dans les sédiments superficiels, les polluants chimiques (hydrocarbures totaux, organochlorés, métaux) ont des concentrations nettement plus élevées au niveau d'Abidjan que dans les secteurs est et ouest non urbanisés de la lagune (Marchand et Martin, 1985). D'après ces auteurs, cette pollution chimique identifiée au niveau de la ville aurait trois causes essentielles: les rejets urbains et industriels et ceux liés au trafic maritime. Enfin, plusieurs études (Pagès, 1975; Pagès et al. 1980; Kouassi et al. 1990) ont montré que la contamination des eaux par des bactéries d'origine fécale était anormalement élevée, et rendait impropres les eaux lagunaires à un usage récréatif (Lanusse et Guiral, 1988).

Cependant, ces études qui visaient à estimer le degré et l'évolution saisonnière des divers polluants urbains concernaient les eaux libres lagunaires et correspondaient donc à des prélèvements réalisés relativement loin des lieux de rejets diffus (dépôts sauvages sur les rives lagunaires) ou collectés (canaux de drainage, collecteurs d'eaux usées).

L'étude présentée ici a pour objet de décrire les niveaux de pollution organique (estimés par les charges organiques particulières et les concentrations en N-NH<sub>4</sub> et P-PO<sub>4</sub>) et bactérienne (estimés par les densités des deux bactéries tests de contamination fécale *E. coli* et *C. perfringens*) des eaux près des rives lagunaires au cours de trois saisons caractéristiques de l'hydroclimat lagunaire. Par leur accessibilité aux populations riveraines, ces zones revêtent une plus grande importance pour la santé publique que les eaux libres lagunaires antérieurement prospectées.

## 1 - MATERIELS ET METHODES

### 1.1. Site et méthodologie d'échantillonnage

A partir de la création du port, la ville d'Abidjan s'est développée autour de la lagune Ebrié. Cette réalisation a été rendue possible par la mise en communication permanente de la lagune Ebrié avec l'océan en 1951 lors du percement du canal de Vridi. Depuis cette date, les eaux lagunaires à proximité de ce canal présentent une circulation de type estuarienne caractérisée en particulier par de très fortes variations saisonnières de la salinité des eaux de surface (Dufour, 1982; Arfi *et al.*, 1989). Ce rythme saisonnier découle de l'importance relative des apports d'eau océanique et continentale d'origine atmosphérique et fluviale. Les apports atmosphériques comprennent les précipitations directes sur le plan d'eau et les eaux de ruissellement, alors que les apports fluviaux sont essentiellement représentés par le fleuve Comoé qui contribue à près de 80% des apports fluviaux totaux (Guiral et Ferhi, 1989). La variabilité temporelle de ces apports engendre une variation du niveau relatif du plan d'eau lagunaire par rapport au milieu océanique. En l'absence de précipitations et en période d'étiage des fleuves, on observe un réajustement des niveaux hydrodynamiques des deux milieux qui se traduit par une pénétration d'eau océanique via le canal de Vridi (Arfi *et al.* 1989). Cet apport océanique a été estimé à 38 km<sup>3</sup> par Varlet (1978) et correspond à un volume 6,8 fois supérieur aux apports moyens d'eau douce (Dufour, 1982). Ces apports océaniques dont l'influence décroît en fonction de l'éloignement du canal de Vridi sont soumis aux périodicités semi-diurnes et semi-synodiques des marées (Guiral et al. 1989).

Trois campagnes du 8 au 28 mars, du 26 juin au 4 juillet et du 22 au 31 novembre 1989 ont été réalisées sur l'ensemble de la zone urbaine de la lagune Ebrié au niveau d'Abidjan. Au cours de ces campagnes, 150 stations ont été prospectées. La localisation des sites échantillonnés équidistants de 1,3 km a été déterminée au préalable sur la carte au 1/50000 de la ville d'Abidjan éditée par l'Institut Géographique de Côte d'Ivoire. Des repérages au sol effectués lors de la première campagne ont permis une identification précise des lieux de prélèvement qui sont identiques pour les trois campagnes. Les échantillons d'eau ont été recueillis en subsurface dans des flacons stériles à moins de 5 mètres de la limite du plan d'eau et pour des hauteurs d'eau inférieures à 50 cm. Les prélèvements conservés à basse température et à l'obscurité ont été analysés dans un délai inférieur à trois heures.

### 1.2. Analyse physicochimique

La conductivité à 25°C a été déterminée à l'aide d'un resistivimètre/conductivimètre (Taccusel). Les matières en suspension ont été retenues par filtration sur membranes en fibre de verre (Whatman GF/F de porosité 0,7 µ) préalablement calcinées puis tarées. Immédiatement après filtration, le matériel particulaire est rincé avec de l'eau du milieu filtré (0,2 µ) et mis à sécher pendant 48 heures à 40°C. Les charges particulaires organique et minérale ont été déterminées par différence de pesée après calcination à 550°C pendant 4 heures. Pour les eaux de salinité supérieure à 10 ‰ une correction proportionnelle à la conductivité a été appliquée selon une relation préalablement établie pour éliminer le poids des sels piégés dans la trame du filtre.

Un aliquote du filtrat est conservé par congélation pour le dosage ultérieur des ions orthophosphates réactifs. Un sous échantillon de l'eau brute est conservé à basse température et à l'obscurité pour le dosage des ions ammoniums. Les ions orthophosphates réactifs et les ions ammonium ont été dosés à l'aide d'un auto-analyseur Technicon AA2 selon les modalités préconisées par Strickland and Parsons (1968).

### 1.3. Analyse bactériologique

Sur chaque échantillon ont été recherchés *Eschechia coli* et *Clostridium perfringens*. Ces deux bactéries et *Bifidobacterium bifidus* sont considérés comme les plus représentatifs de la flore fécale de l'homme et des animaux (Dodin, 1986). Pour *E. coli*, selon le degré de contamination fécale suspecté, les échantillons ont été soit concentrés sur des membranes stériles en nitrate de cellulose de porosité de 0,2 µm (Whatman type WCN) soit directement ensemencés après dilution décimale dans un milieu tampon phosphate à pH 7,2 stérile. Les dénombrements ont été réalisés en duplicata sur milieu désoxycholate lactose (milieu DCL bioMérieux). La densité de *E. coli* a été estimée après une incubation à 44°C pendant 24 heures précédée d'une préincubation de 2 heures à 37°C selon les protocoles de Green et al. (1980) et Dufour et al. (1981). Seules les colonies rouges de forme lenticulaire sont dénombrées. Une étude préalable a montré que 77,5% de ces colonies appartenaient spécifiquement à l'espèce *E. coli* (Lanusse, 1987). La recherche de *C. perfringens* a été effectuée sur un milieu au tryptone sulfite néomycine (milieu TSN bioMérieux) par ensemencement en gélose profonde. Le dénombrement des colonies

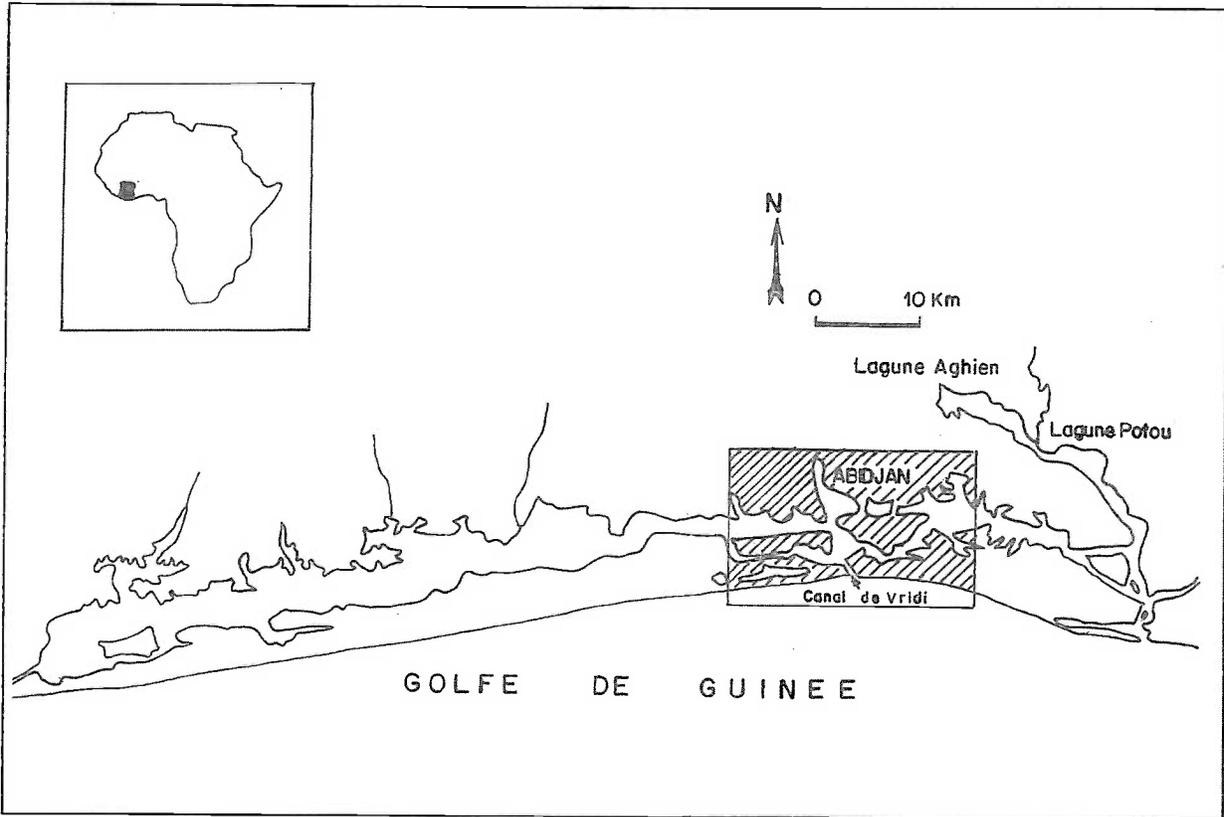


Figure 1 : L'écosystème lagunaire Ebrié. / *The Ebrié lagoon ecosystem.*

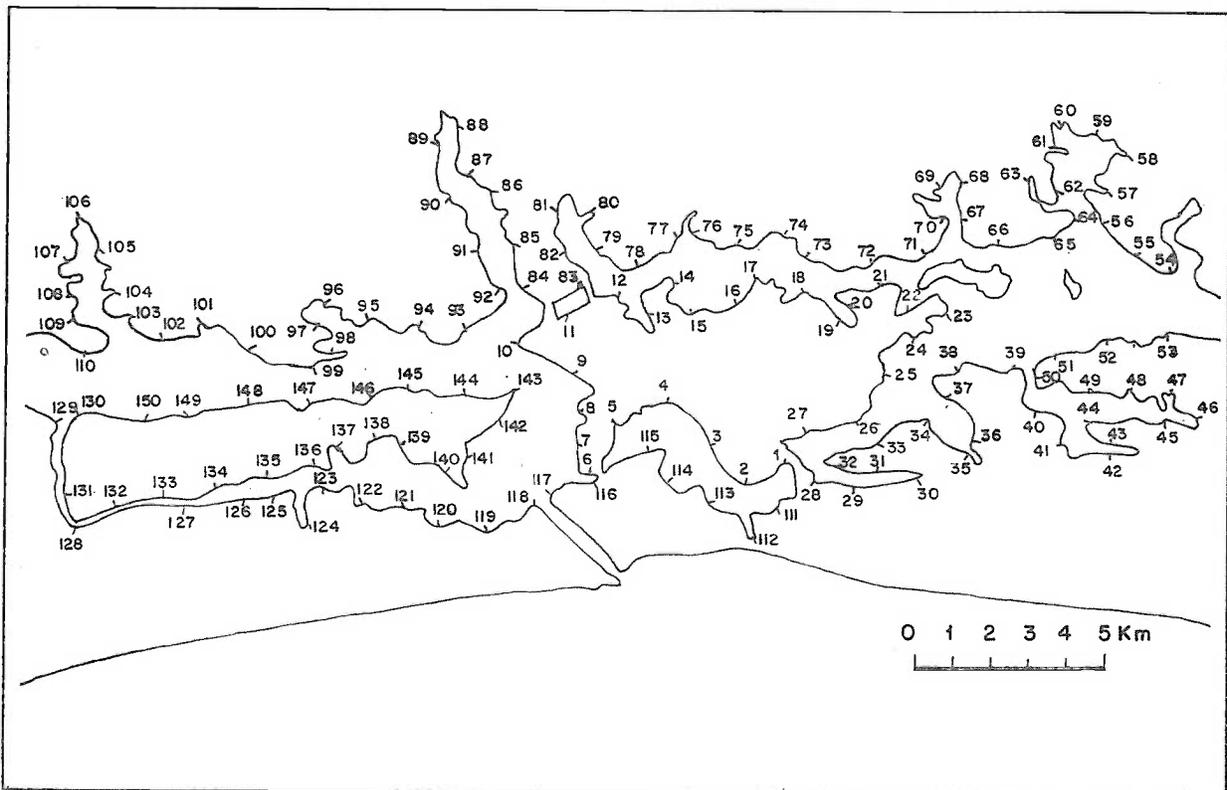


Figure 2 : Localisation des stations échantillonnées dans la zone estuarienne de la lagune Ebrié.  
*Location of sampling sites in the estuarine zone of the Ebrié lagoon.*

sulfite-réductrices (présentant un halo noir lié à la précipitation par des sels de fer du sulfure produit lors de la sulfite-réduction) a été réalisé après incubation à 46°C pendant 24 heures. Pour la lagune Ebrié, 93 à 100% des colonies présentent une hydrolyse de la gélatine et une fermentation du saccharose positive. Ces colonies peuvent donc être considérées comme correspondant spécifiquement à *C. perfringens* (Lanusse, 1987).

Les densités de bactéries (CFU, colonies formant unité) sont exprimées pour 100 ml après transformation logarithmique (CFU -----  $> \log_{10}(\text{CFU} + 1)$  selon les recommandations établies par l'OMS/PNUE (1977).

Les concentrations bactériennes qui ne sont pas dépassées dans 50% des échantillons sont déterminées graphiquement sur papier probit après vérification de la normalisation des données. L'écart-type de ces distributions a été calculé par différence entre les concentrations bactériennes qui ne sont pas dépassées respectivement dans 84 et 50% des cas.

#### 1.4. Interprétation statistique

Une classification hiérarchique ascendante (critère d'aggrégation: moment centré d'ordre 2; algorithme de partition: méthode des voisins réductibles) des diverses stations a été réalisée pour les trois campagnes. Dans cette analyse, seules les variables permettant une estimation de la pollution organique (directe: matière organique particulaire et indirecte: concentrations en N-NH<sub>4</sub> et P-PO<sub>4</sub>) et de la pollution bactérienne (densités des bactéries fécales: *E. coli* et *C. perfringens*) ont été prises en compte.

## 2 - RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Contexte hydroclimatique et conductivité des eaux.

Les figures 3 (a et b) permettent de caractériser et de situer les trois campagnes en fonction de l'évolution hydroclimatique enregistrée en 1979 pour le secteur prospecté. La figure 3a représente l'évolution décennale du bilan en eau de la zone estuarienne de la lagune Ebrié. En valeur positive, sont portés le volume des précipitations directes (compte-tenu de la surface du plan d'eau) et les apports par ruissellement (compte-tenu de la surface du bassin versant et en considérant un taux de ruissellement de 1% selon Varlet, 1978). En valeur négative, sont figurées les valeurs d'évaporation estimées à partir des mesures journalières de l'évaporimètre de Piche extrapolées à la surface du plan d'eau.

La figure 3b représente l'hydrogramme du fleuve Comoé dont les apports totaux ont été estimés à 10,1 km<sup>3</sup>. Ce volume représente 98,4% des apports totaux d'eau continentale à ce secteur.

La campagne 1 s'est déroulée au cours de l'étiage du fleuve Comoé et lors de la grande saison sèche caractérisée par des valeurs d'évaporation (5,3 x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>) quatre fois supérieures à celles estimées pour les apports par les précipitations et le ruissellement.

La campagne 2 se situe au cours de la période des plus fortes précipitations (grande saison des pluies) qui se traduisent par des apports d'eau atmosphérique et de ruissellement maximaux plus de 15 fois supérieurs aux valeurs de l'évaporation.

La campagne 3 correspond à la période de décrue du fleuve Comoé et coïncide avec la seconde saison des pluies locales (petite saison des pluies).

Au cours de ces trois campagnes, la conductivité moyenne et le coefficient de variation des eaux lagunaires au voisinage immédiat des berges, sont respectivement de 39,2, mS cm<sup>-1</sup> et de 15% campagne 1, 14,5 mS cm<sup>-1</sup> et 38% campagne 2 et 13,4 mS cm<sup>-1</sup> et 28% campagne 3. Lors des campagnes 1 et 3, la dispersion des valeurs est relativement plus faible qu'au cours de la seconde campagne, traduisant une plus grande homogénéité de la composition ionique des eaux de surface (Fig. 4). En novembre, les eaux lagunaires correspondent à un mélange où prédominent les eaux d'origine continentale (fluviale par le Comoé) alors qu'au mois de mars, les eaux océaniques contribuent principalement à la définition de la charge ionique des eaux. En considérant une salinité moyenne de 35 ‰ pour les eaux océaniques devant Abidjan (Durand et Chantraine, 1982), les proportions d'eau océanique au sein des eaux lagunaires sont de 90% en mars et de 31% en novembre. En juin-juillet, les précipitations locales entraînent globalement une diminution importante de la conductivité des eaux lagunaires. Au cours de cette campagne, la contribution des apports latéraux par ruissellement dont le volume dépend de la surface des sous bassins versant crée une forte hétérogénéité spatiale de la salinité de surface. En outre, la conductivité des eaux décroît très significativement ( $r = -0,751$ ) en fonction de l'éloignement des stations par rapport au canal de Vridi. Correspondant à un moins bon ajustement, une relation similaire est observée au mois de novembre ( $r = -0,363$ ); alors qu'au mois de mars, il n'existe pas de liaison entre la conductivité des eaux lagunaires et la distance à l'océan ( $r = -0,225$ ). La figure 5 représentant la conductivité moyenne

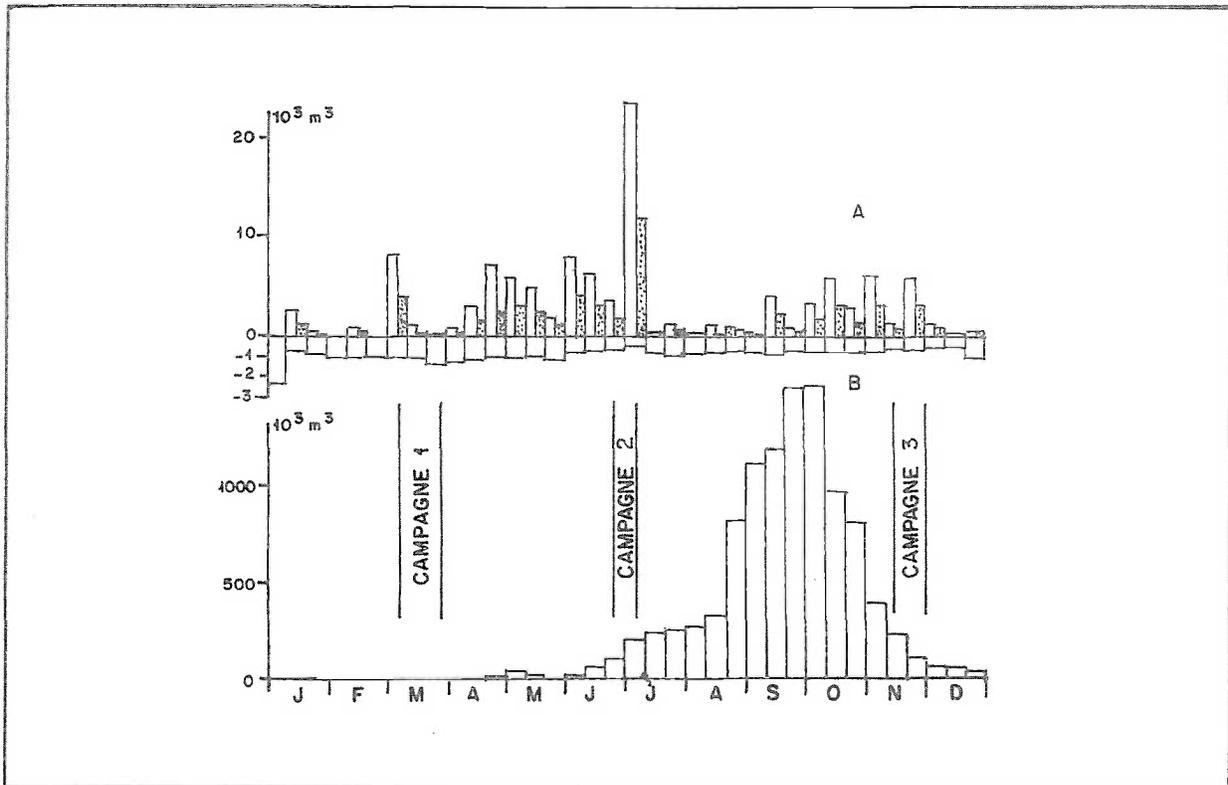


Figure 3. (a) Bilan en eau atmosphérique. Valeurs positives (vide) ; Eaux de ruissellement (en pointillé) ; Evaporation (valeurs négatives). (b) Hydrogramme par décade des apports fluviaux par le Comoé.  
 (a) Atmospheric water budget. Rainfall (Positive values) ; Surface run-off (dotted line) ; Evaporation (negative values).  
 (b) Per decade hydrogram of freshwater (Comoe river) inputs.

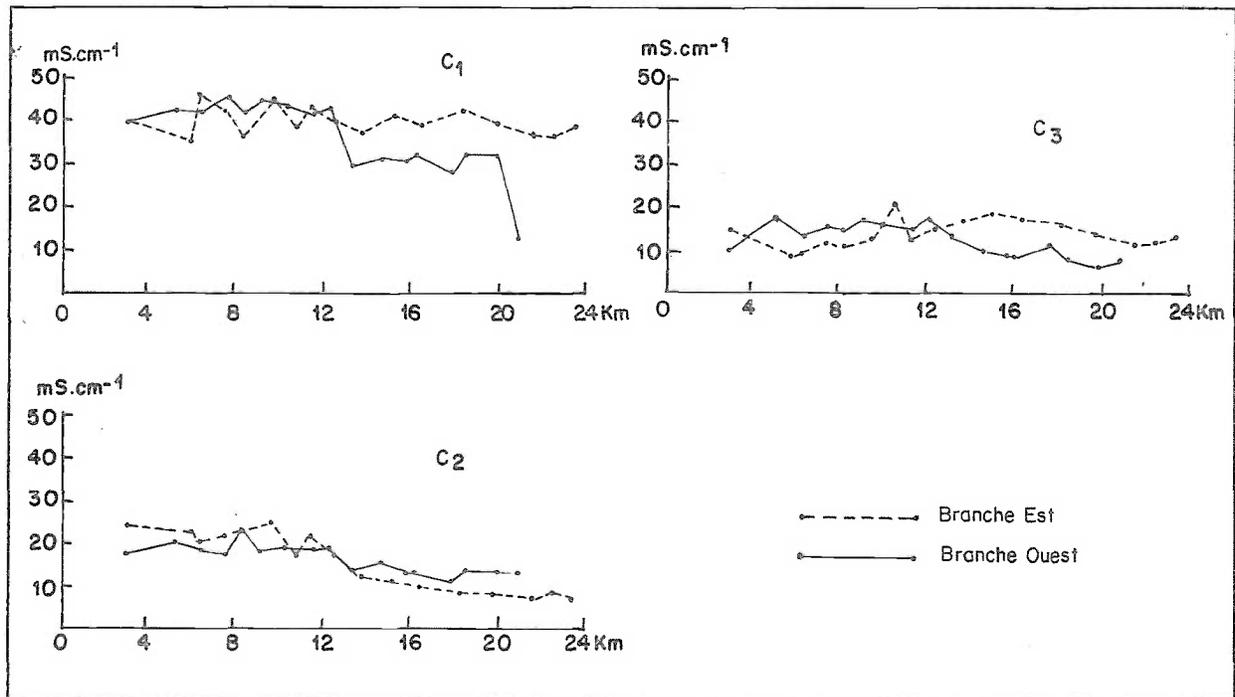


Figure 4. Evolution longitudinale de la conductivité des eaux de surface à proximité des berges dans les branches Est et Ouest de la lagune Ebrié.  
 Longitudinal variation of the conductivity of branch East and West surface waters near the Ebrie lagoon shores.

en fonction de la distance à l'océan, montre l'existence d'une dissymétrie entre les branches est et ouest de la lagune par rapport au canal de Vridi. Si les conductivités sont peu différentes pour les stations situées dans un rayon de 12 km à partir de l'entrée du canal de Vridi, les stations situées plus à l'ouest, sont en mars et novembre comparativement moins minéralisées que leurs homologues situées vers l'est. Une situation inverse est observée lors de la deuxième campagne. Une telle dissymétrie a déjà été décrite par Gallardo (1978) pour la circulation des eaux au sein de lagune Ebrié. Selon cet auteur, comparativement au secteur ouest, les vitesses de pénétration des eaux marines lors du flot dans la branche est sont supérieures à celles déduites d'un modèle simple ne prenant en compte que les sections verticales respectives des branches est et ouest. Lors du jusant, des écarts par rapport à ce modèle sont aussi notés avec des écoulements observés plus rapides à mi-hauteur et plus lents en surface. Cette dissymétrie particulièrement marquée pour des marées de faibles amplitudes (mars et mai) et cet écoulement préférentiel à mi-hauteur sont interprétés comme résultant d'une très importante anomalie de circulation des eaux. Ainsi, malgré le rétrécissement du chenal est et la proximité du fleuve Comoé, il semble que ce secteur soit soumis à des influences océaniques comparables à celles du secteur ouest cependant plus ouvert. Cette anomalie de circulation pourrait être à l'origine des différences de conductivité observées entre les stations à l'est et à l'ouest du canal de Vridi.

## 2.2. Matière en suspension et sels nutritifs

Les concentrations moyennes en seston déterminées lors des trois campagnes sont respectivement de 52,3, 29,1, et 21,9 mg l<sup>-1</sup>. Ces charges solides sont sensiblement équivalentes à celles déterminées pour la lagune Ebrié par Lemasson et al. (1981) (valeurs en général comprises entre 20 et 50 mg l<sup>-1</sup>) et très inférieures à celles estimées par Tastet (1974) (valeurs comprises entre 10 et 400 mg l<sup>-1</sup> avec une charge moyenne de 90 mg l<sup>-1</sup>).

Au cours des trois campagnes, le seston minéral représente en moyenne 25, 43 et 36% du seston total. Ainsi, les contributions relatives des charges solides minérales sont plus élevées lors des périodes de fortes dessalures et maximales au cours de la période de fortes précipitations locales. Pour les eaux libres de la lagune Ebrié, les contributions minérales maximales sont observées lors de la crue annuelle du Comoé (septembre-octobre), les

charges particulières de ce fleuve en période de crue étant supérieures à 100 mg l<sup>-1</sup> (Tastet, 1974). Pour nos prélèvements situés à proximité des berges lagunaires, les apports particuliers sont ainsi essentiellement liés au ruissellement et lessivage des sols et secondairement au transit des eaux fluviales du Comoé.

La répartition spatiale de la matière organique particulière est identique lors des deux dernières campagnes comme l'atteste le coefficient de corrélation de Spearman inter campagne (Tableau 1). Cette similarité indique que les eaux de ruissellement liées aux précipitations jouent un rôle essentiel dans la répartition spatiale des apports particuliers à proximité des berges. Selon le volume de ces apports, les eaux de ruissellement agissent soit en tant que vecteur soit comme facteur de dilution des charges particulières initialement présentes en lagune.

En période de forte influence océanique, on observe les charges sestoniques les plus importantes. Celles-ci sont constituées principalement de particules organiques dont les concentrations sont près de deux fois supérieures à celles déterminées pour les deux autres campagnes (Fig. 6). A cette période, la dispersion des valeurs est aussi plus importante, liée essentiellement à des concentrations dans les baies croissantes en fonction de leur degré de confinement.

Les concentrations en N-NH<sub>4</sub> et P-PO<sub>4</sub> sont indépendantes des charges organiques particulières (Tableau 2) et sont caractérisées par une très forte hétérogénéité spatiale et ceci quelle que soit la période considérée. Les rapports entre les concentrations minimale et maximale varient en effet au cours des trois campagnes pour le P-PO<sub>4</sub> de 3000, 90 et 200, et pour N-NH<sub>4</sub> de 3000, 4000, et 15000 (Tableau 3).

La baie de Biétri, en raison de son relatif confinement et des très nombreux déversements d'effluents agro-industriels et domestiques qui s'y déversent, est considérée comme l'une des baies les plus polluées de la ville d'Abidjan (Dufour et Slepouka, 1975; Zabi, 1982; Arfi et al. 1989). Les concentrations en P-PO<sub>4</sub> dans les eaux de surface de cette baie sont comprises entre 0,5 et 4 μmole l<sup>-1</sup> (Guiral et al., 1989) avec des variations de faible amplitude autour de 1,5 μmole l<sup>-1</sup> (Arfi et al. 1989). Les teneurs en N-NH<sub>4</sub> sont inférieures à 30 μmole l<sup>-1</sup> en saison des pluies et comprises entre 0,5 et 2 μmole l<sup>-1</sup> en saison sèche lors de l'influence océanique maximale (Carmouze et Caumette, 1985). Ces valeurs sont confirmées par Guiral et al. (1989) qui d'octobre 1985 en mars 1986 n'ont jamais

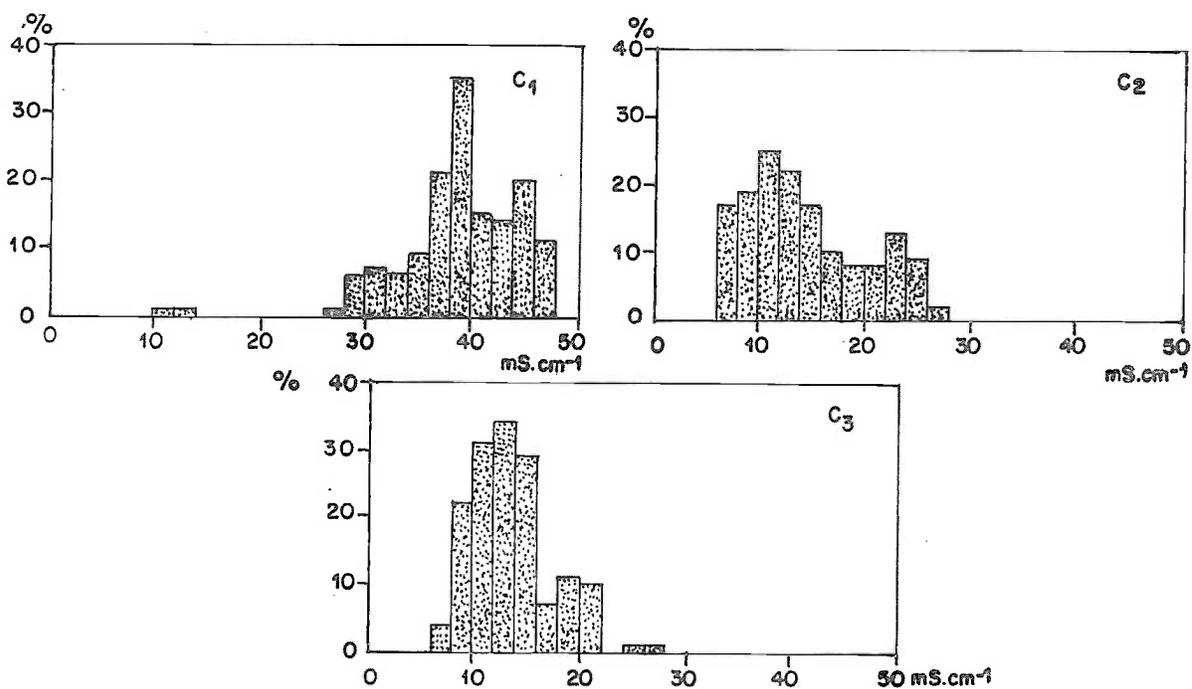


Figure 5. Histogramme de fréquence relative de la conductivité des eaux de surface à proximité des berges de la lagune Ebrié.

Relative frequency histogram of the conductivity of surface waters near the Ebric lagoon shores

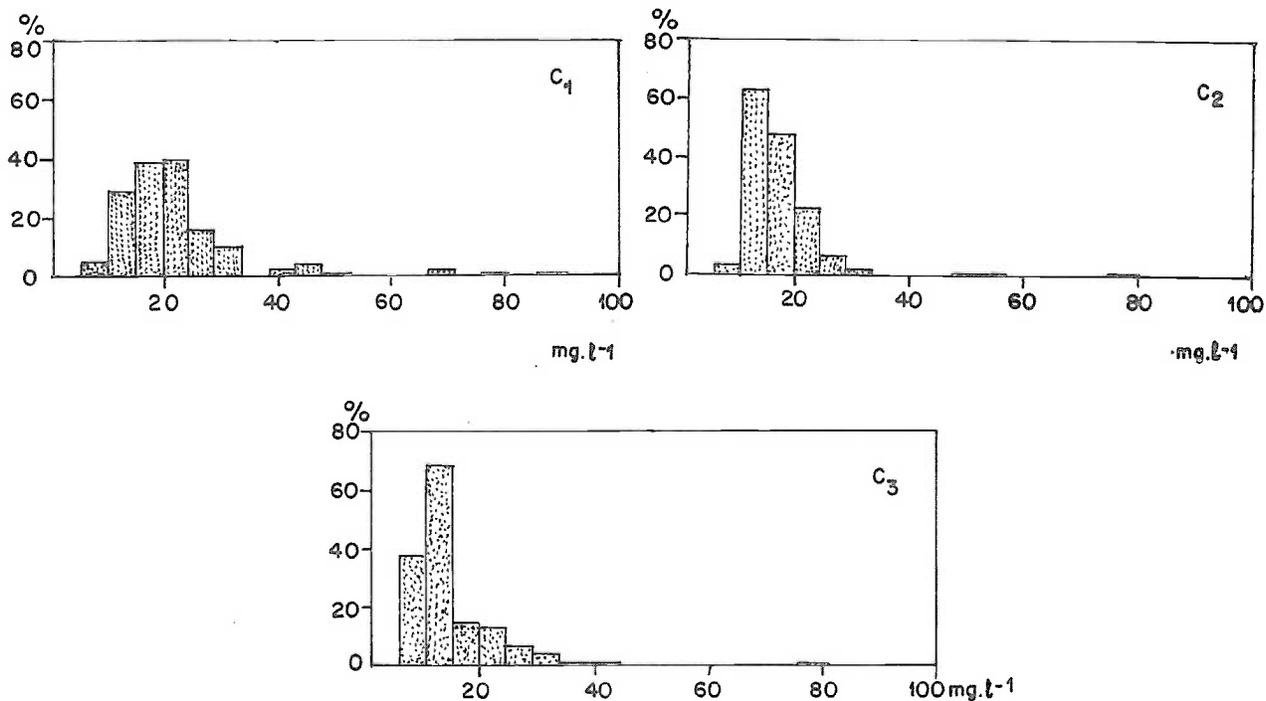


Figure 6. Histogramme de fréquence relative des charges en matière organique particulaire des eaux de surface à proximité des berges de la lagune Ebrié. C<sub>1</sub> (mars 1989); C<sub>2</sub> (juin-juillet 1989); C<sub>3</sub> (Novembre 1989).

Relative frequency histogram of particulate organic matter concentrations of surface waters near the Ebric lagoon shores. C<sub>1</sub> (March 1989); C<sub>2</sub> (June-july 1989); C<sub>3</sub> (November 1989)

observé dans l'épilimnion de cette baie de concentration en  $N-NH_4$  supérieures à 20  $\mu\text{mole l}^{-1}$ .

Les stations des berges lagunaires qui présentent des valeurs supérieures à ces valeurs de référence ont été dénombrées pour chaque campagne (Tableau 4). Cette comparaison montre que les charges nutritives dans la zone urbaine d'Abidjan sont supérieures à celles de la baie de Biétri. Ceci est particulièrement important en saison sèche et affecte globalement au cours de l'année beaucoup plus les ions  $P-PO_4$  que les ions  $N-NH_4$  (Tableau 4). Cette eutrophie plus élevée des eaux près des berges résulte de la proximité soit des sources de rejets, soit du sédiment, siège de processus de minéralisation très actifs.

Tableau 1 - Matrice de corrélation de Spearman intercampagne pour les diverses variables indicatrices de pollution organique et de contamination bactérienne des eaux à proximité des berges de la lagune Ebrié dans la ville d'Abidjan.

Spearman correlation matrix between the three surveys for diverse organic and bacterial pollution indicators variables of surface waters near the Ebrié lagoon shores in the city of Abidjan.

\*\*\*  $p < 10/100$ ; \*\*  $p < 1\%$ ; \*  $p < 5\%$ ; ns non significatif E. c. (*E. coli*); C.p. (*C. perfringens*); M.O.P. (Matière organique particulaire)

	Campagne		
	1	2	3
M.O.P.	1	0,15 ns	2
	2	0,19*	2
	2	0,39**	3
P- $PO_4$	1	0,21*	2
	2	-0,34***	2
	2	0,22**	3
N- $NH_4$	1	0,02 ns	2
	2	0,18*	2
	2	0,24**	3
<i>E. coli</i>	1	0,64***	2
	2	0,56***	2
	2	0,65***	3
C.P.	1	0,44***	2
	2	0,39***	2
	2	0,55***	3

Tableau 2 - Matrice de corrélation de Spearman intracampagne pour les diverses variables indicatrices de pollution organique et de contamination bactérienne des

eaux à proximité des berges de la lagune Ebrié dans la ville d'Abidjan.

Spearman correlation matrix between diverse organic and bacterial pollution indicators variables of surface waters near the Ebrié lagoon shores in the city of Abidjan.

\*\*\*  $p < 10/100$ ; \*\*  $p < 1\%$ ; \*  $p < 5\%$ ; ns non significatif E. c. (*E. coli*); C.p. (*C. perfringens*); M.O.P. (Matière organique particulaire)

	CAMPAGNE 1			
	P- $PO_4$	N- $NH_4$	E.c.	C.p.
M.O.P.	-0,14ns	0,02ns	0,23**	0,37***
P- $PO_4$		0,12ns	-0,26**	-0,16*
N- $NH_4$			0,18*	0,09ns
E.c.				0,53***

	CAMPAGNE 2			
	P- $PO_4$	N- $NH_4$	E.c.	C.p.
M.O.P.	-0,07ns	0,11ns	0,30***	0,43ns
P- $PO_4$		0,43***	0,24**	0,17*
N- $NH_4$			0,27**	0,35***
E.c.				0,71***

	CAMPAGNE 3			
	P- $PO_4$	N- $NH_4$	E.c.	C.p.
M.O.P.	0,10ns	0,17*	0,48***	0,47***
P- $PO_4$		0,19*	0,39***	0,41***
N- $NH_4$			0,29***	0,32***
E.c.				0,71***

Lors de la première campagne, les concentrations en phosphore dans les eaux de certaines stations sont excessivement élevées sans qu'il soit possible de déterminer l'origine exacte des apports. Au cours de cette période, comme l'attestent les coefficients de corrélation de Spearman inter-campagne (Tableau 1), la répartition des charges nutritives est très différente de celles observées lors des campagnes 2 et 3. A l'opposé, les répartitions sont sensiblement identiques lors de ces deux dernières campagnes réalisées au cours des périodes de forte influence continentale. Ces deux campagnes sont en outre caractérisées par une baisse très significative des concentrations moyennes et modales en  $P-PO_4$  et à un moindre degré en  $N-NH_4$  (Tableau 3).

### 2.3. Contamination bactérienne.

Les densités moyennes de *E. coli* et *C. perfringens* sont présentées (Tableau 5).

Tableau 3 - Paramètres statistiques des distributions des concentrations en P-PO<sub>4</sub> et N-NH<sub>4</sub> des eaux à proximité des berges de la lagune Ebrié dans la ville d'Abidjan en 1989.

Statistical parameters of the distributions of P-PO<sub>4</sub> and N-NH<sub>4</sub> concentrations of surface waters near the Ebrié lagoon shores in the city of Abidjan.

		CONCENTRATIONS (µmole l <sup>-1</sup> )			
		Moyenne	Modale	Minimale	Maximale
Campagne 1	P-PO <sub>4</sub>	138,2	17,02	0,41	1396
	N-NH <sub>4</sub>	18,5	5,18	0,52	1552
Campagne 2	P-PO <sub>4</sub>	3,3	0,97	0,65	59
	N-NH <sub>4</sub>	9,5	2,76	0,06	264
Campagne 3	P-PO <sub>4</sub>	2,8	0,85	0,38	76
	N-NH <sub>4</sub>	35,8	4,55	0,16	2455

Tableau 4 - Pourcentage des stations de la zone urbaine de la lagune Ebrié dont les concentrations en P-PO<sub>4</sub> et N-NH<sub>4</sub> sont supérieures aux valeurs caractéristiques des eaux de surface de la baie de Biétri.

Percentage of the Ebrié lagoon urban zone stations of which P-PO<sub>4</sub> and N-NH<sub>4</sub> concentrations are superior to characteristic data of the Biétri bay surface waters.

(\* Arfi *et al.* 1989; \*\* Carmouze et Caumette. 1985).

	P-PO <sub>4</sub>		N-NH <sub>4</sub>	
	Valeur seuil	%	valeur seuil	%
CAMPAGNE 1	1,5*	67	2**	54
CAMPAGNE 2	1,5*	43	30**	6
CAMPAGNE 3	1,5*	28	30**	7

Ces valeurs ont été estimées après normalisation des données selon la procédure recommandée par OMS/PNUE (1977). Pour qu'une eau soit considérée comme bactériologiquement satisfaisante, selon les normes OMS/PNUE, les eaux littorales de baignade ne doivent pas présenter plus de 100 coliformes pour 100 ml dans 50% des échantillons analysés. D'après cette norme, et compte tenu des concentrations moyennes observées en *E. coli*, les eaux prélevées à proximité des berges lagunaires sont impropres à toute activité balnéaire et ceci pour les trois campagnes réalisées. Les densités moyennes de *E. coli* sont significativement différentes lors des 3 périodes étudiées (Tableau 6) avec des valeurs maximales lors des fortes influences continentales et plus particulièrement lors du maximum annuel des précipitations. Cette période correspond aussi à une plus faible hétérogénéité spatiale de la contamination bactérienne des eaux par *E. coli* (coefficient de variation inférieur à 30% Cf. Tableau 5). Cet enrichissement saisonnier avait déjà été observé pour les eaux libres de la lagune Ebrié (Lanusse

et Guiral, 1988; Kouassi *et al.* 1990). Cet accroissement des densités de *E. coli* a été interprété comme résultant d'une augmentation des apports liés aux eaux de ruissellement et lors des fortes influences océaniques d'une inaptitude de cette bactérie à se développer sur un milieu sélectif après son transit dans un milieu à salinité élevée (Kouassi *et al.* 1990).

A l'opposé de *E. coli*, les densités de *C. perfringens* présentent des variations spatiales (C.V. < 25% Cf. Tableau 5) et temporelles (différences de densités moyennes intercampagnes non significatives (Cf. Tableau 6), moins marquées. En outre, les densités moyennes estimées lors des trois campagnes sont comparables aux moyennes annuelles observées pour les eaux libres de la zone urbaine de la lagune Ebrié (moyennes annuelles comprises entre 2,26 et 2,77 Cf. Kouassi *et al.* 1990). Au niveau des berges lagunaires, la proximité du sédiment ne se traduit pas par une contamination supérieure des eaux par *C. perfringens*. Ceci s'oppose aux observations réalisées pour la lagune Ebrié où les densités de *C. perfringens* à l'interface eau/sédiment sont systématiquement supérieures à celles estimées pour les eaux de surface.

Quelle que soit la période considérée les densités des deux bactéries choisies comme organismes tests de la contamination bactérienne sont très étroitement corrélées (Tableau 2). Leurs répartitions spatiales sont aussi identiques à celles observées pour les charges organiques particulières et ceci plus nettement en période de faible salinité (Tableau 2). Les stations à forte pollution bactérienne et organique occupent donc une localisation identique au cours du temps, et correspondent ainsi à des sites en permanence soumis à des rejets polluants. A cet égard, les baies à fort taux d'urbanisation sont caractérisées par des valeurs significativement supérieures à celles déterminées pour des stations proches mais en situation moins confinée.

#### 2.4. Cartographie des niveaux de pollution bactérienne et organique des berges lagunaires.

Afin d'établir une cartographie de référence des niveaux de pollution bactérienne et organique observé au niveau des berges lagunaires, une analyse hiérarchique ascendante a été réalisée pour les 3 campagnes. Cette analyse a pris en compte 5 variables correspondant aux densités bactériennes en *C. perfringens* et *E. coli*, à la charge organique particulière et aux concentrations en N-NH<sub>4</sub> et P-PO<sub>4</sub>. Les dendrogrammes issus de cette analyse sont re-

Tableau 5 - Paramètres statistiques (moyenne-écart-type- coefficient de variation-intervalle de confiance de la moyenne à 95%) des distributions de *E. coli* et *C. perfringens* dénombrées dans les eaux de surface à proximité des berges lagunaires de la zone urbaine de la lagune Ebrié (paramètres estimées après ajustement des distributions à une loi normale; test de linéarité de la relation reliant les fréquences relatives cumulées associées à chaque dénombrement aux densités bactériennes exprimées en logarithme décimal pour 100 ml).

Statistical parameters (average-standard deviation-coefficient of variation-confidence interval of the average at 95%) of *E. coli* and *C. perfringens* distributions enumerated in surface waters near the Ebrié lagoon urban zone shore (parameters are estimated after normal distributions adjustment; linearity test of the relation between relative cumulative frequencies for each enumeration and bacterial density expressed in decimal log for 100 ml).

	<i>E. coli</i>			
	Moyenne	Ecart-type	C.V.	Int. conf.
Campagne 1	3,16	1,31	42	890-2350
Campagne 2	4,25	1,20	28	11430-27670
Campagne 3	3,79	1,33	35	3770-10080

	<i>C. perfringens</i>			
	Moyenne	Ecart-type	C.V.	Int. conf.
Campagne 1	2,46	0,48	20	240-340
Campagne 2	2,41	0,55	23	210-320
Campagne 3	2,29	0,57	25	160-240

présentés figure 7b, 8b et 9b. Pour les trois campagnes il est possible d'individualiser quatre groupes (campagne 1 et 2) et trois groupes (campagne 3). Les caractéristiques statistiques de ces divers groupes ou phénomènes sont présentés dans les annexes 1 (campagne de mars), 2 (campagne de juin-juillet) et 3 (campagne de novembre). Les regroupements statistiques ainsi opérés ont permis une représentation graphique des divers sites échantillonnés selon une échelle de pollution croissante spécifique pour chacune des campagnes (figures 7a, 8a, 9a). Quelle que soit la période, les eaux soumises à une forte pollution occupent la partie centrale de la zone urbaine de la lagune Ebrié. En saison sèche, on observe par rapport au canal de Vridi une extension plus importante des zones polluées vers l'est (fig. 7a). Les précipitations locales entraînent une généralisation des zones à forte pollution qui affectent alors l'ensemble des stations situées au nord de la branche ouest de la lagune Ebrié (fig. 8a). Lors de la seconde saison des pluies et après la crue du Comoé, le nombre de sites à forte pollution est considérablement réduit en

particulier dans le secteur ouest plus directement influencé par le transit des eaux fluviales (fig. 9a).

L'étude comparative des trois cartes réalisées indique que deux baies sont affectées par une pollution très intense permettant leur individualisation des autres sites urbains prospectés : la baie de Cocody (stations 79 à 82) et de Marcory (Station 13).

## CONCLUSION

Réalisée à trois saisons caractéristiques de l'hydroclimat lagunaire, cette étude a permis d'estimer le niveau de pollution des berges de la zone urbaine de la lagune Ebrié. Ces milieux peu profonds au contact direct avec les populations urbaines revêtent une grande importance sanitaire de par la morphologie de la lagune et occupent une surface très importante du plan d'eau. L'interprétation des données recueillies caractérisées par une très grande variabilité spatio-temporelle a été réalisée comparativement aux informations disponibles relatives aux eaux libres de la zone urbaine de la lagune Ebrié.

Cette étude a confirmé l'existence d'une anomalie de circulation (Gallardo, 1978) des eaux entre les branches est et ouest de la lagune par rapport au canal de Vridi. Compte tenu de l'importance de l'hydrodynamisme dans les processus de dispersion et de dilution des effluents, il est très important que cette caractéristique spécifique du système lagunaire soit intégrée dans tous les projets d'aménagement urbain et en particulier dans le choix des sites de rejets. Cette particularité se traduit aussi pour ce milieu estuarien par un influence océanique et donc une composition ionique des eaux différentes selon la localisation des stations par rapport au canal de Vridi. De très nombreuses études ont montré que les taux de survie des bactéries entériques sont variables selon la salinité du milieu récepteur (Gauthier et Pietri, 1989). Ces observations renforcent ainsi l'importance de cette anomalie de circulation car elle modifie les capacités auto-épuratrices du milieu lagunaire.

D'une manière générale, les sites présentant une forte charge organique sont aussi caractérisés par une contamination bactérienne élevée et ceci quelle que soit la période considérée. Les densités des deux bactéries retenues comme organismes tests de contamination fécale indiquent une pollution plus élevée des berges lagunaires comparativement aux eaux libres de la lagune Ebrié, considérées cependant comme déjà très

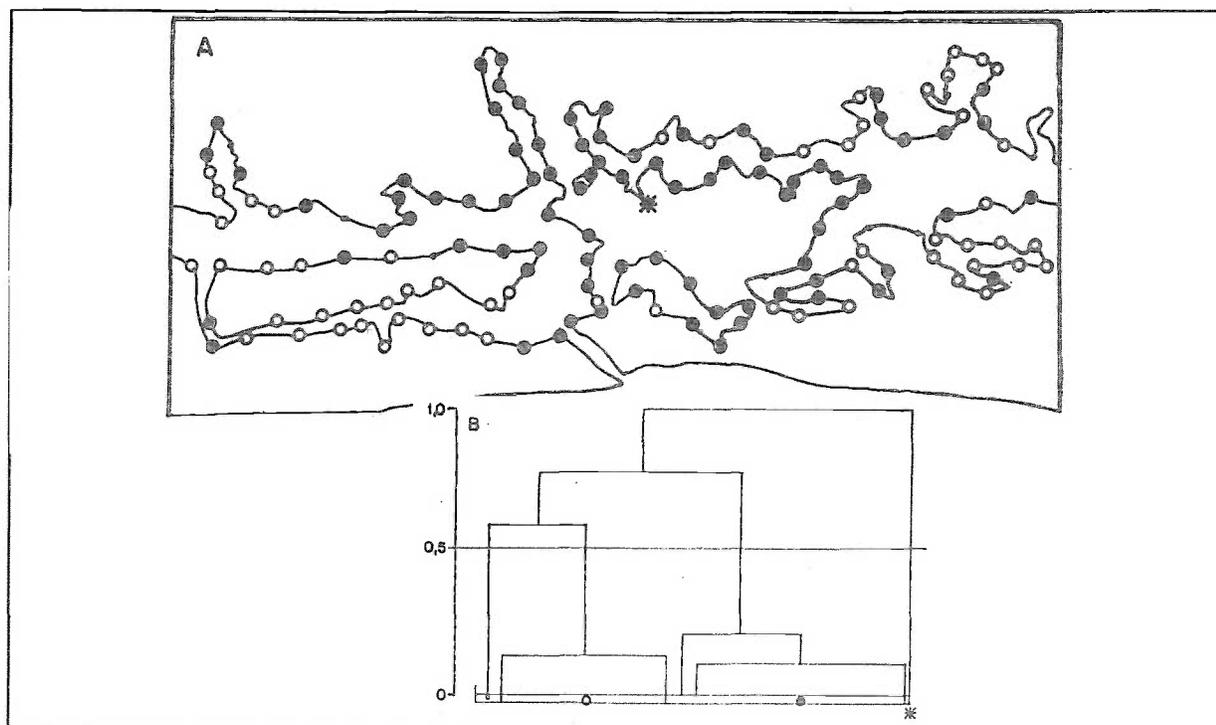


Figure 7. Cartographie des niveaux de pollution des berges lagunaires établie à partir du dendrogramme représentant la matrice de similitude des divers paramètres estimateurs de la pollution organique et bactérienne, mars 1989.

fortement polluées. Cet enrichissement découle de la proximité des stations échantillonnées avec les sites de rejets. Le pourcentage de raccordement au réseau d'assainissement de la ville étant très faible, les bactéries entériques constituent une source de pollution diffuse pour le milieu lagunaire. Ces bactéries sont entraînées par les eaux de ruissellement et conduisent à une contamination plus importante des berges lagunaires et en particulier celles situées au sein de baies dans ces milieux. L'hydrodynamisme y est moins actif et la pollution bactérienne et organique tend à s'y concentrer. En outre, elles présentent très souvent à leur extrémité l'arrivée d'un émissaire d'eau pluviale constituant ainsi un facteur supplémentaire de pollution. Ainsi, dans ces fonds de baie, en période de contamination bactérienne maximale (grande saison des pluies), des valeurs supérieures à  $10^6$  *E. coli* pour 100 ml ont été déterminées. Depuis plusieurs années, on observe, au cours de cette

période dans la région d'Abidjan, l'apparition de diverses infections cholériques (Duchassin et al. 1973) ou cholériformes causées par soit *Vibrio parahaemolyticus* (Dosso et al. 1983) soit par d'autres vibrionacées (Dosso, 1984).

Ces diverses observations confirment la situation bactériologique et sanitaire très critique de la lagune Ebrié au niveau de la ville d'Abidjan. En l'absence d'un réseau d'assainissement et d'épuration des eaux, les berges lagunaires présentent en permanence un état alarmant particulièrement amplifié en période de forte pluviométrie. Ce constat impose l'élaboration rapide d'un schéma global d'assainissement de la ville d'Abidjan permettant l'amélioration de la qualité bactériologique des eaux lagunaires et plus particulièrement des zones accessibles aux populations riveraines.

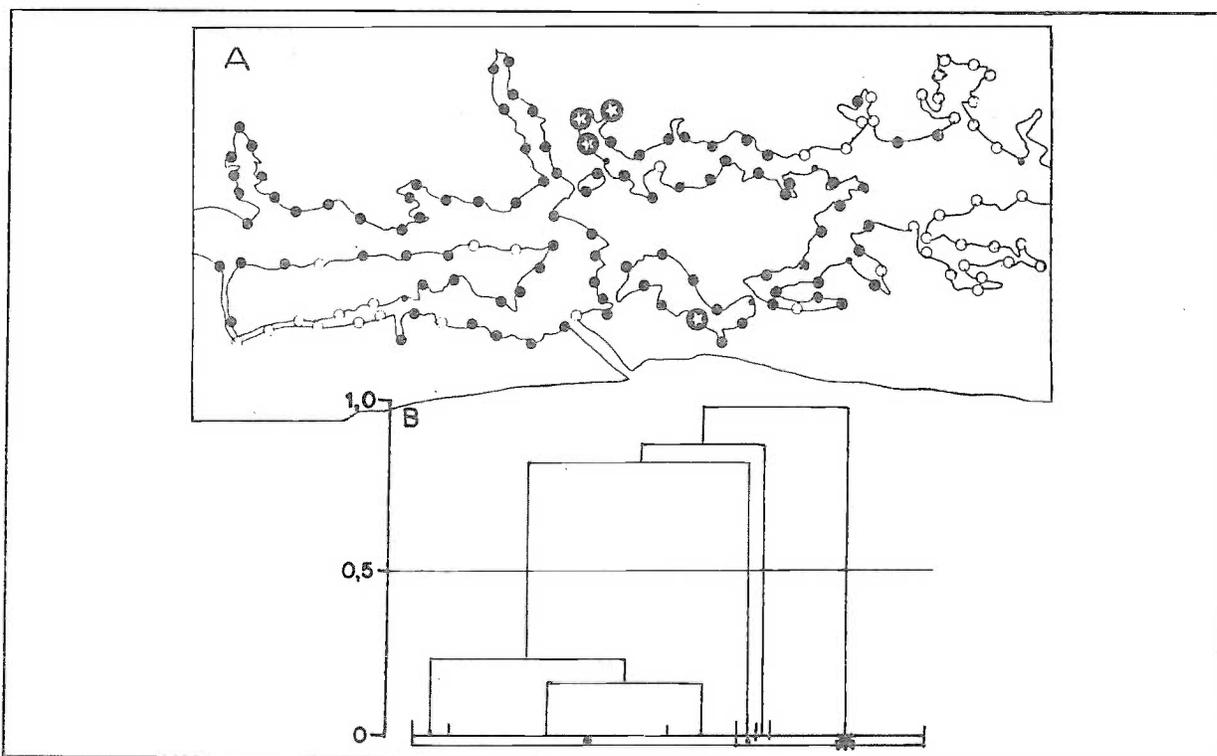


Figure 8. Cartographie des niveaux de pollution des berges lagunaires établies à partir du dendrogramme représentant la matrice de similitude des divers paramètres estimateurs de la pollution organique et bactérienne. Juin-juillet 1989.

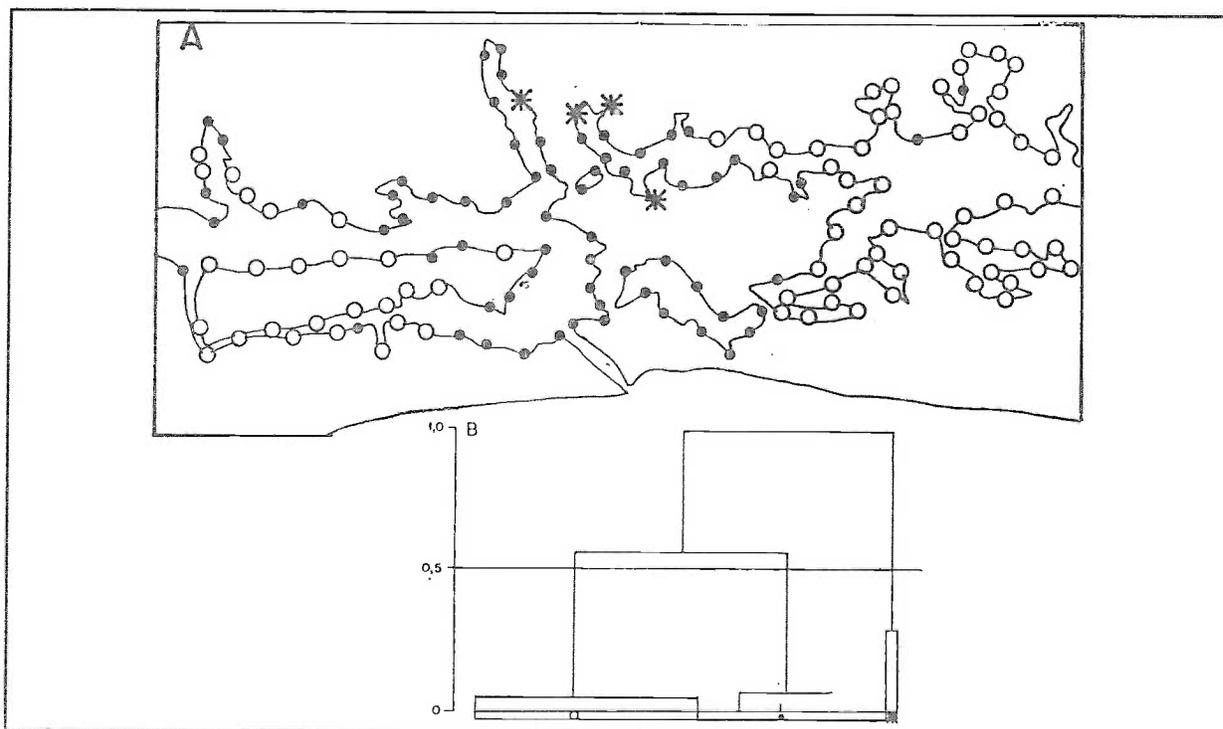


Figure 9. Cartographie des niveaux de pollution des berges lagunaires établies à partir du dendrogramme représentant la matrice de similitude des divers paramètres estimateurs de la pollution organique et bactérienne. Novembre 1989.

## BIBLIOGRAPHIE

- Arfi, R., Dufour Ph. et Maurer D. 1981 - Phytoplancton et pollution: premières études en baie de Biétri (Côte d'Ivoire). Traitement mathématique des données. *Oceanologica Acta*. 4: 319-329.
- Arfi, R., Guiral, D. et Torrétou, J-P. 1989 - Cycle hydrologique annuel d'une baie lagunaire eutrophe: la baie de Biétri (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire). *Rev. Hydrobiol. Trop.* 22: 263-273.
- Carmouze, J-P. et Caumette, P. 1985 - Les effets de la pollution organique sur les biomasses et activités du phytoplancton et des bactéries hétérotrophes dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Rev. Hydrobiol. Trop.* 18: 183-211.
- Dejoux, C. 1988 - La pollution des eaux continentales africaines. Expérience acquise - Situations actuelles et perspectives. Editions de l'ORSTOM. Collection Travaux et Documents n°213. Paris. 513 pp.
- Dosso, M., Duchassin, M., Edoh, V., Koua-Amian, P., Kouakou, K. et Prestel, J. 1983 - Rôle entéropathogène de *Vibrio parahaemolyticus* dans la zone côtière de Côte d'Ivoire. *Bull. Soc. Path. Ex.* 76: 135-142.
- Dosso, M., Duchassin M., Koua-Amian, P., Kouakou, K., Gnagne, P. et Kotschi, R. 1984 - Les *Aeromonas hydrophila* en Côte d'Ivoire. Aspects épidémiologiques, écologiques et rôle entéropathogène. *Bull. Soc. Path. Ex.* 77: 17-27.
- Duchassin, M., Clerc, C., Bourgeade, A. et Hosotte, M.T. 1973 - Survie du vibrion cholérique El Tor dans les eaux de la lagune d'Abidjan. *Bull. Soc. Path. Ex.* 66: 679 - 684.
- Dufour, Ph. et Slepouka, M. 1975 - L'oxygène dissous en lagune Ebrié: Influences de l'hydroclimat et des pollutions. *Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan.* 6: 75-78.
- Dufour, Ph. 1982 - Les frontières naturelles et humaines du systèmes lagunaires Ebrié. Incidences sur l'hydroclimat. *Hydrobiologia* 94: 105-120.
- Durand, J.R. et Chantraine, J.M. 1982 - L'environnement climatique des lagunes ivoiriennes. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 15: 85-113.
- Gallardo, Y. 1978 - Asymmetry and anomalies of circulation and vertical mixing in the branching of a lagoon estuary. In *Hydrodynamics of Estuaries and Fjords* pp. 197-206.
- Gauthier, M. et Pietri, C. 1989 - Devenir des bactéries et virus entériques en mer. 319-342. In: Bianchi, M., Marty, D. Caumette, P. Bertrand, J.C. et Gauthier, M. (Eds). *Micro-organismes dans les écosystèmes océaniques*. Masson Paris. 1989.
- Guiral, D. et Ferhi, A. 1989 - Caractérisation ionique et isotopique d'un système hydrologique tropical: lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Oceanologica Acta*. 12: 47-55.
- Guiral, D. et Ferhi, A. 1992 - Hydrodynamics of Ebrie lagoon as revealed by a chemical and isotopic study. *Hydrobiologia* 245 : 65-74.
- Guiral, D., Arfi, R. et Torreton, J-P, 1989 - Mécanismes et incidences écologiques de l'homogénéisation annuelle de densité dans un milieu eutrophe stratifié. *Hydrobiologia* 183: 195-210.
- Kouassi A.M., Guiral D. et Dosso M. 1990 - Variations saisonnières de la contamination microbienne de la zone urbaine d'une lagune tropicale estuarienne: cas de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire) *Rev. Hydrobiol. Trop.* 23: 179-192.
- Lanusse A. et Guiral D. 1988. - Suivi annuel de la contamination bactérienne et virale des eaux et des sédiments lagunaires au niveau d'Abidjan. *Océanis* 14: 71-87.
- Lemasson, L., Pagès, J., Dufour, Ph. et Crémoux, J-L. 1981 - Matière organique particulaire et biomasse dans une lagune tropicale. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 14: 191-212.
- Marchand M. et Martin J-L. 1985. - Détermination de la pollution chimique (hydrocarbures, organochlorés, métaux) dans la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) par l'étude des sédiments. *Océanogr. Trop.* 20: 25-39.

- OMS/PNUE 1977 - Directives applicables à la surveillance sanitaire de la qualité des eaux littorales. Rapport Bureau Régional de l'Europe, Copenhague 172 pp.
- Pagès J. 1975. - Etude de la pollution bactérienne en lagune Ebrié. Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan, 6 : 97-101.
- Pagès J., Lemasson L. et Dufour Ph. 1980. - La pollution bactérienne de la lagune et de la mer autour d'Abidjan. Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan, 9 : 43-50.
- Tastet, J-P. 1974 - L'environnement physique du système lagunaire Ebrié. Univ. Abidjan. Sc. de la terre, Sér. Doc. 28 pp.
- Zabi S.G. 1982. - Les peuplements benthiques lagunaires liés à la pollution en zone urbaine d'Abidjan (C.I.). Oceanologica Acta n° Spécial. Proc. Inter. Symp. on coast. lagoon. SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, France. 8-14 sept. 1981: 441-455.

ANNEXE 1 - Paramètres statistiques (moyenne, écart-type, nombre de stations, valeurs minimales et maximales et localisation des stations) définis à partir d'une analyse ascendante hiérarchique (Figure 7b) pour la campagne de mars 1989.

\* paramètres statistiques estimés après ajustement des distributions à une loi normale.

	C. perfringens				E. coli				M.O.P.				P-PO4				N-NH4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
X	2,60*	2,29	-	1,78	4,83*	4,05	-	3,11	18,10	15,12	-	13,49	1,90	37,86	-	1,45	6,40	-	-	2,52
N	95	6	4	45	95	6	4	45	95	6	4	45	95	6	4	45	94	3	4	44
Mini (stations)	2,00 (73)	1,78 (54)	3,15 (80)	0,70 (41)	3,04 (131)	2,41 (110)	4,36 (113)	1,00 (48)	4,10 (138)	12,49 (83)	12,34 (80)	8,59 (51)	0,65 (89)	21,70 (34)	1,80 (113)	0,68 (42)	0,14 (98)	2,10 (83)	117,97 (113)	0,06 (126)
Maxi (stations)	3,62 (26)	2,78 (1)	4,41 (113)	2,26 (47)	7,86 (91)	5,54 (83)	6,00 (82)	4,34 (145)	77,74 (10)	17,89 (1)	31,71 (81)	28,41 (63)	15,79 (73)	59,39 (83)	14,30 (8)	7,86 (145)	54,31 (26)	3,25 (1)	264,14 (81)	9,66 (44)

ANNEXE 2 -- Paramètres statistiques (moyenne, écart-type, nombre de stations, valeurs minimales et maximales et localisation des stations) définis à partir d'une analyse ascendante hiérarchique (Figure 8b) pour la campagne de juin-juillet 1989.

\* paramètres statistiques estimés après ajustement des distributions à une loi normale.

	C. perfringens			E. coli			M.O.P.			P-PO4			N-NH4		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
X	1,90*	2,60*	-	2,78*	4,88*	-	11,02	15,77	-	1,26	1,99	-	4,68	12,28	-
	0,30*	0,40*	-	0,63*	0,69*	-	9,74	6,73	-	11,66	2,88	-	321,74	20,30	-
N	78	67	4	79	66	4	79	67	4	79	67	4	79	67	4
Mini (stations)	0,70 (54)	2,00 (90)	3,51 (81)	1,20 (56)	6,44 (12)	6,00 (81)	7,33 (72)	5,37 (19)	31,84 (113)	0,38 (48)	0,47 (106)	30,71 (13)	0,16 (37)	0,53 (147)	203,02 (13)
Maxi (stations)	2,78 (32)	3,53 (82)	4,70 (86)	4,26 (65)	3,30 (1)	8,15 (86)	23,02 (100)	29,97 (101)	76,96 (86)	30,00 (54)	15,99 (9)	75,92 (86)	27,15 (28)	102,55 (9)	2455,45 (86)

ANNEXE 3 – Paramètres statistiques (moyenne, écart-type, nombre de stations, valeurs minimales et maximales et localisation des stations) définis à partir d'une analyse ascendante hiérarchique (Figure 9b) pour la campagne de novembre 1989.

\* paramètres statistiques estimés après ajustement des distributions à une loi normale.

	C. perfringens				E. coli				M.O.P				P-PO4				N-NH4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
X	2.36	2.12*	2.70*	-	2.94	2.21*	3.66*	-	18.99	18.27	23.51	-	123.28	129.53	38.18	-	9.47	6.02	9.84	-
	0.24	0.18*	0.30*	-	0.87	0.35*	1.34*	-	4.78	4.46	11.40	-	218.76	155.52	64.82	-	5.31	3.69	13.04	-
N	9	57	83	1	9	57	82	1	9	57	83	1	9	57	83	1	9	57	83	1
Mini (stations)	2.05 (38)	1.04 (37)	1.91 (10)	4.00 (13)	1.28 (62)	0.48 (60)	1.91 (81)	7.76 (13)	11.68 (100)	6.08 (129)	9.47 (99)	67.96 (13)	816.31 (27)	0.44 (140)	0.41 (128)	73.34 (13)	4.49 (54)	0.77 (60)	0.52 (116)	1552.40 (13)
Maxi (stations)	2.70 (100)	2.85 (59)	3.60 (26)	4.00 (13)	4.38 (27)	3.95 (37)	7.89 (88)	7.76 (13)	25.78 (27)	88.19 (37)	77.70 (4)	67.96 (13)	139.00 (146)	620.33 (64)	233.89 (18)	73.34 (13)	19.90 (28)	13.87 (37)	84.56 (19)	1552.40 (13)