

Détermination de la pollution chimique (hydrocarbures, organochlorés, métaux) dans la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) par l'étude des sédiments⁽¹⁾

Michel MARCHAND (2) et Jean-Louis MARTIN (2)

RÉSUMÉ

L'étude de la pollution chimique de la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) est effectuée par l'analyse des hydrocarbures, des organochlorés à haut poids moléculaire (pesticides, PCB) et des métaux (Pb, Cd, Cu, Zn, Co, Ni, Cr, Mn, Fe, Hg, As) au niveau des sédiments. Pour les polluants organiques il apparaît que, excepté le lindane, la pollution est observée essentiellement sur le secteur d'Abidjan soumis aux rejets urbains et industriels. Pour les métaux, aucune des concentrations observées ne témoigne d'une pollution aiguë du milieu. Cependant, comme pour les polluants organiques l'influence de l'urbanisation est certaine pour des métaux tels que Hg, As, Pb, Cu, Cd, par exemple.

MOTS-CLÉS : Pollution — Lagune — Côte d'Ivoire — Hydrocarbures — Organochlorés — Métaux — Sédiments.

ABSTRACT

DETERMINATION OF CHEMICAL POLLUTION (HYDROCARBONS, ORGANOCHLORINES, HEAVY METALS) OF THE ABIDJAN LAGOON (IVORY COAST) BY SEDIMENT ANALYSES

The determination of chemical pollution of the Abidjan lagoon (Ivory Coast, Western Africa) was carried out by analysing hydrocarbons, chlorinated insecticides (DDT's, lindane), polychlorobiphenyls (PCB's) and heavy metals (Pb, Cd, Cu, Co, Zn, Ni, Cr, Mn, Fe, Hg, As).

Results show that for DDT's, PCB's and total hydrocarbons, the pollution is mainly observed in the Abidjan area, in relation to the urban, industrial and harbour activities. The ranges of concentrations were, for hydrocarbons: 100-2 400 mg/kg, for PCB's : 60-200 µg/kg, for DDT's: 10-1 000 µg/kg. The highest concentrations were located in the small bays of the lagoon (Marcory, Banco, Bietri) which receive sewages and industrial inputs. High concentrations are also observed in areas of shipping traffic. Elsewhere, in the western and eastern parts of the lagoon, organic pollutant concentrations are low; for hydrocarbons: 3-88 mg/kg, for PCB's: 2-10 µg/kg, and for DDT's: 2-4 µg/kg. The fate of lindane, chlorinated insecticide is quite different of PCB's and DDT's. This compound is semi-soluble in water and is weakly adsorbed onto suspended matter and sediments. Consequently, concentrations of lindane in sediment are low, from 0.5 to 5.0 µg/kg. Two maxima values are reported in Abidjan area (10 and 20 µg/kg). In the western part of the lagoon was found a relative high content of lindane in sediment (3-4 µg/kg). This occurrence is perhaps related to the possible use of this insecticide as a poisonous compound for fishing activities in this area of the lagoon.

For heavy metals, most concentrations can be considered as normal for coastal sediments. As a matter of fact, no value gives evidence of an acute contamination of the lagoon by heavy metals. Nevertheless, for some metals, some concentrations can be considered as high. That is the case for mercury and arsenic at station 25, in the bay of Bietri,

(1) IFREMER, contribution n° 52.

(2) IFREMER, B.P. 337, 29273 Brest Cedex, France.

where the concentrations were 1.39 mg/kg and 75.0 mg/kg respectively. However, for these metals, the area with high concentrations seems to be restricted, as the others stations (22, 23, 24) in the bay of Bietri show concentrations of Hg and As far lower than station 25.

Even if values show that there is no acute contamination of the lagoon, it appears that for metals such as Cu, Zn, Cd, Pb, As, Hg, the influence of industrialization and urbanization on concentrations can be pointed out. As a consequence, for these metals, the concentrations in Abidjan area are higher than the concentrations observed in the western and eastern parts of the lagoon. These higher concentrations give evidence of an overload of heavy metals in the urbanized area. The overload is different according to the station and to the metal. Furthermore, several stations show an overload for several metals. That is the case for stations 25, 21, 29, 14, 10. The origin of the metals seems to be industrial for stations 21 and 25. For others stations, the overload seems related to sewages from Treichville (station 29), from Adjame (station 14) and from Quartier Seminaire (station 10).

In conclusion, for organic pollutants, results show that, except for lindane, the pollution occurs in areas with sewage and/or industrial dumping. For heavy metals there is no evidence of an acute contamination. However, as for organic pollutants, the influence of urbanization and industrialization can be shown for Hg, As, Pb, Cu, Cd for example.

KEY WORDS : Pollution — Lagoon — Ivory Coast — Hydrocarbons — Organochlorine compounds — Trace metals — Sediments.

I. INTRODUCTION

La lagune Ebrié qui borde le littoral de la Côte d'Ivoire sur 125 km tient un rôle important dans l'économie ivoirienne, non seulement au niveau de la pêche mais aussi des transports. La protection et la mise en valeur du système lagunaire Ebrié nécessite une surveillance du milieu. En 1981, la décision de créer un Réseau National d'Observation de la qualité des eaux marines et lagunaires a été prise par le Ministère de l'Environnement. L'implantation d'un tel réseau nécessite une étude préalable en vue de définir une stratégie optimale adaptée au contexte local. Dans le cadre de cette étude, nous avons procédé à une campagne de prélèvements de sédiments dans la lagune, afin de dresser un premier état de la pollution chimique concernant les métaux, les hydrocarbures et les organochlorés (MARCHAND et MARTIN, 1983). Le choix du sédiment réside dans le fait que la plupart des polluants chimiques sont adsorbés sur les matières en suspension et ont tendance à sédimenter. Le sédiment de surface constitue donc un bon indicateur de pollution chimique. Son analyse permet généralement de bien situer les sources d'apports de pollution et de déterminer les taches de dispersion dans le milieu environnant.

Le système lagunaire Ebrié est le milieu saumâtre le plus étendu de l'Afrique de l'Ouest. D'une surface de 566 km², il est constitué de la lagune Ebrié proprement dite, pour 523 km², et des lagunes annexes d'Aghien et Potou, pour 43 km² (fig. 1). Sa largeur n'excède pas 7 km. La lagune est séparée de l'océan Atlantique par un cordon lagunaire sableux, traversé artificiellement, depuis 1950, en sa partie centrale face à Abidjan, par le canal de Vridi, large de 370 m. L'influence des eaux continentales,

principalement à l'est par le fleuve Comoé, l'intrusion des eaux marines par le canal de Vridi, ainsi que les variations morphologiques locales ont modelé l'environnement lagunaire qui ne peut être considéré comme un tout homogène. DURAND et SKUBICH (1982) et DUFOUR (1982) divisent la lagune en six zones distinctes sur la seule base de critères morphologiques et hydrobiologiques (fig. 1). Cette première classification montre notamment la variabilité du taux de renouvellement annuel des eaux selon les zones considérées (de 0,4 dans la partie occidentale à 30 face au canal de Vridi). Ce paramètre est important pour l'étude de la dispersion d'apports polluants dans le milieu.

L'écosystème lagunaire hétérogène subit une pression des activités humaines dont la croissance s'est considérablement accélérée depuis le début du siècle. La capitale Abidjan, avec un taux de croissance annuel de 11 % depuis 1960, comptait 1 625 000 habitants en 1980. Les services d'assainissement de la ville estiment que 60 % de la population évacuent les eaux usées par puits perdus n'atteignant pas la lagune, 4 % sont branchés sur de petites stations d'épuration. Le reliquat est, soit relié au réseau d'assainissement rejetant directement en lagune, soit branché sur des fosses septiques, souvent aussi vidangées en lagune (DUFOUR, 1982). Parallèlement à son évolution démographique, l'agglomération abidjanaise connaît un essor industriel d'une importance notable, se traduisant principalement par le développement d'industries de transformation agro-alimentaires et de zones industrielles basées sur l'import-export (COLCANAP et DUFOUR, 1982). En 1980, 72 rejets existants en lagune, petits et grands, sont répertoriés sur l'agglomération d'Abidjan (PESCHET, comm. pers.). La figure 1 et le tableau I

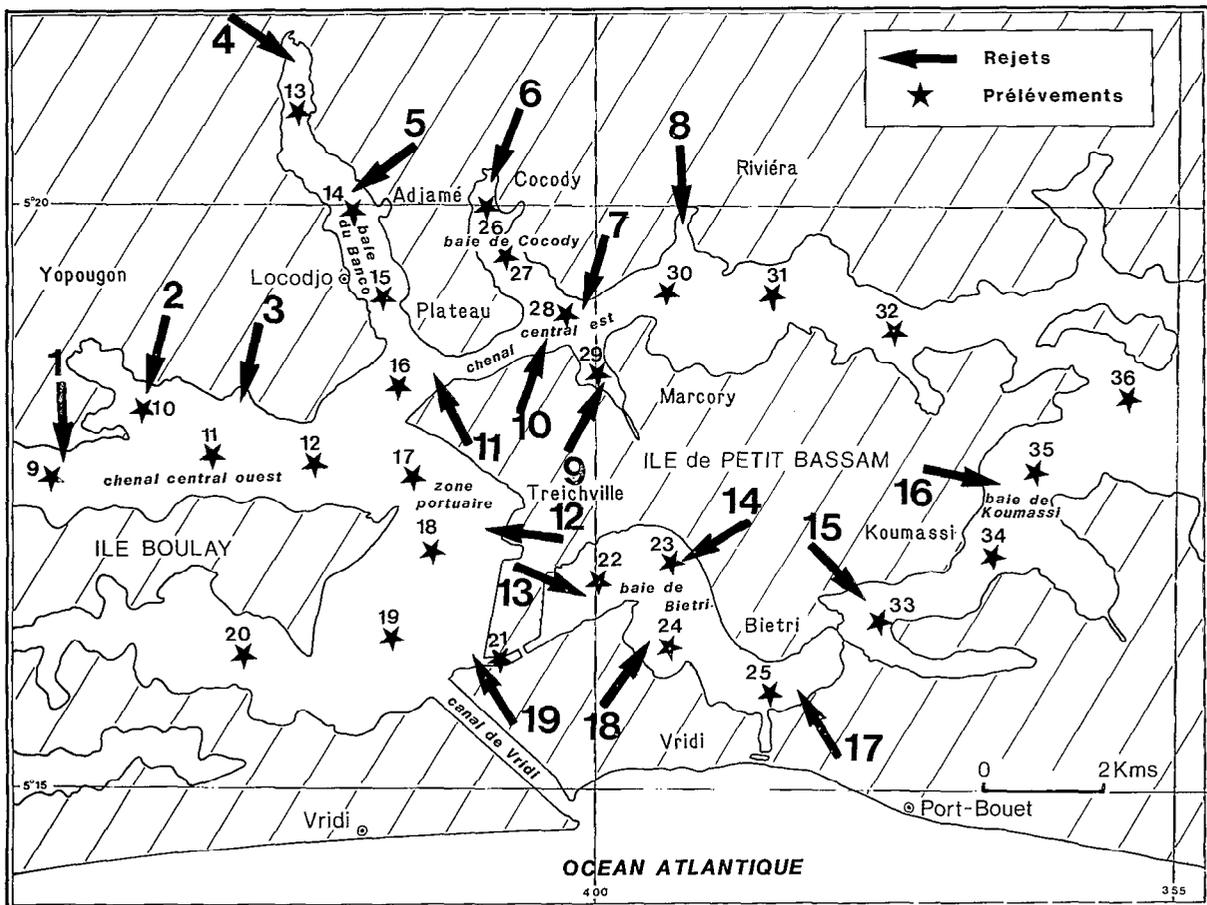
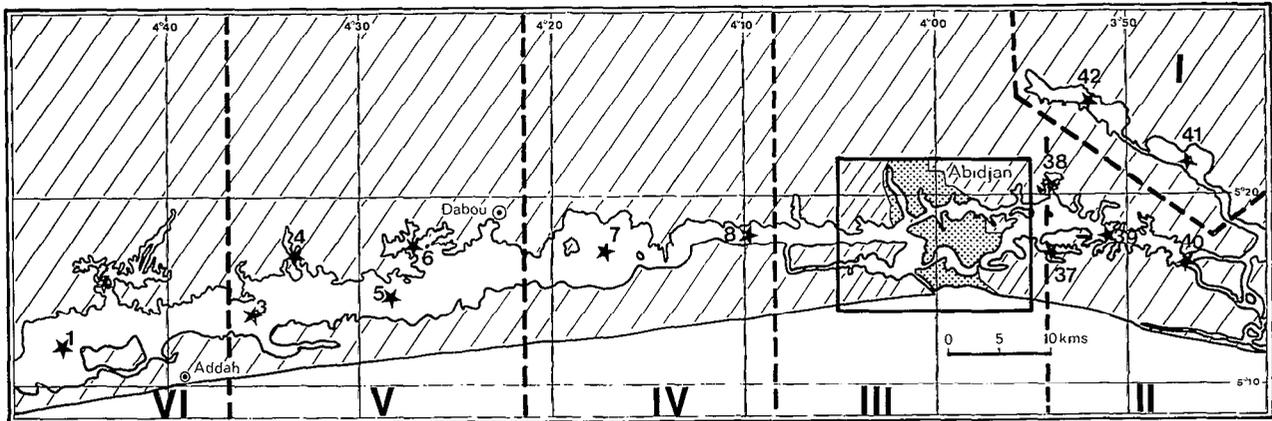


FIG. 1. — La lagune d'Abidjan : zonation, stations de prélèvements des sédiments, principaux rejets urbains et industriels
 The Abidjan lagoon : typical zones, sediment sampling stations, main urban and industrial inputs

TABLEAU I

Principaux rejets urbains et industriels d'Abidjan
Main urban and industrial inputs in Abidjan area

Rejets	Nature
1	Rejets urbains de Yopougon et industriels d'Uniwax
2	Rejets urbains du quartier Séminaire
3	Rejets urbains de Yopougon-Santé
4	Rivière du Banco polluée par les eaux savonneuses et les détergents des "laveurs du Banco"
5	Rejets urbains d'Adjamé
6	Rejets urbains d'Indénié
7	Rejets urbains de Blokosso
8	Rejets urbains de la baie de la Riviéra
9	Rejets urbains du réseau de Treichville
10	Pont de Gaille. Rejets de matières de vidange
11	Pont Houphouët Boigny. Rejets à dominante industrielle
12	Rejets sur le port de pêche à dominante industrielle
13	Rejets industriels (Blochorh)
14	Rejets à dominante industrielle
15	Rejets urbains et industriels de Koumassi
16	Rejets de matières de vidange et de fosses septiques
17	Rejets à dominante industrielle, derrière l'abattoir
18	Rejets industriels (SIR et PALMINDUSTRIE)
19	Rejets industriels (RHONE-POULENC, SHELL-CHIMIE, SIVENG)

situent les principaux rejets. A cette pression industrielle et urbaine, il convient d'ajouter le développement des installations portuaires qui induit, par l'extension du trafic maritime, d'inévitables pressions sur l'environnement. En-dehors de l'agglomération d'Abidjan, le lessivage intense des sols, lors de la saison des pluies en mai et juin, peut provoquer des apports continentaux d'engrais et de résidus de pesticides utilisés dans les plantations villageoises et industrielles de cultures vivrières ou d'exportations, telles que palmiers, cocotiers, bananiers, ananas, cacao, café, hévéa (DUFOUR, 1982). Une dernière pression sur l'environnement, que nous qualifierons de particulière, est signalée par COLCANAP et DUFOUR (1982). Elle concerne la pêche au moyen de produits toxiques. Certains pêcheurs utilisent des substances chimiques qu'ils répandent à la surface de l'eau pour intoxiquer les poissons. Ce mode de pêche, réglementairement interdit, semble toujours se pratiquer.

L'énumération des diverses pressions humaines sur la lagune Ebrié, rejets urbains et industriels, trafic maritime, apports continentaux d'engrais et pesticides, pêche avec des produits toxiques, montre qu'aucun secteur de l'écosystème lagunaire ne peut être considéré comme *a priori* indemne de toute pollution et nuisance. Il est toutefois clair que la pression maximale s'exerce dans la partie de la lagune centrée sur Abidjan. La stratégie d'échantillonnage des sédiments pour cartographier l'état de pollution chimique de la lagune consistait donc en une couverture spatiale sur l'ensemble du système lagunaire, avec un maillage plus serré au droit

d'Abidjan. La campagne de prélèvements de sédiment s'est déroulée du 28 janvier au 1^{er} février 1983. Au total 42 échantillons ont été prélevés : 8 dans la partie ouest, 6 dans la partie est et 28 au niveau de l'agglomération abidjanaise (fig. 1).

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Prélèvements

Les prélèvements de sédiments ont été réalisés à l'aide d'une benne, à bord du N/O FIKI, mis à notre disposition par l'ORSTOM et le Centre de Recherches Océanographiques d'Abidjan. Une fraction des sédiments prélevés était conservée dans des boîtes métalliques pour l'analyse des polluants organiques (hydrocarbures, organochlorés), une seconde fraction était conservée dans des sacs plastique pour l'analyse des métaux. Les échantillons ont été rapportés en France, au Centre Océanologique de Bretagne à Brest. Les sédiments étaient séchés par lyophilisation. Le dosage des hydrocarbures et des résidus organochlorés (pesticides et PCB) a été effectué sur le sédiment total (toutefois tamisé à 1 mm pour éliminer les gros débris), tandis que le dosage des métaux a été réalisé sur la fraction fine du sédiment, inférieure à 63 μm .

Hydrocarbures

L'estimation de la pollution par hydrocarbures dans le sédiment a été réalisée par la mesure

des hydrocarbures totaux par spectrométrie IR (ROUSSEL, 1983). Parallèlement à cette mesure, nous associons la mesure du carbone organique comme paramètre descriptif de la nature du sédiment. L'échantillon (environ 40 g) de sédiment sec, broyé et tamisé à 1 mm, est extrait deux fois dans un bain à ultra-sons par du dichlorométhane (100 + 80 ml). Les extraits combinés sont évaporés à l'aide d'un évaporateur rotatif jusqu'à 5 ml, et ajustés à 10 ml par ajout de dichlorométhane. Une fraction de 5 ml est prise pour l'analyse des hydrocarbures ; la fraction restante est conservée pour l'analyse ultérieure des résidus organochlorés. La fraction aliquote de l'extrait organique concentré est évaporée à sec sous jet d'air, puis reprise par 5 ml de tétrachlorure de carbone. Une fraction (2 ml) de cet extrait est purifiée sur colonne de Florisil (\varnothing : 0,9 cm, h : 10 cm) pour éliminer les résines et composés polaires. Les hydrocarbures sont élués par 10 ou 20 ml, selon la concentration de l'extrait. L'éluat est à nouveau concentré à 2 ml. L'extrait organique, concentré et purifié, est analysé par spectrophotométrie IR (PERKIN ELMER, 390B). La mesure est effectuée au nombre d'onde de 2925 cm^{-1} , répondant à l'absorption dans l'infra-rouge de la liaison C-H. L'appareil est préalablement étalonné par une solution étalon, mélange de deux pétroles bruts, Arabian et Iranian light (1:1) (MARCHAND et CAPRAIS, 1981).

Résidus organochlorés

Les 5 ml d'extrait correspondant à la seconde fraction aliquote sont concentrés sous jet d'air jusqu'à 0,5 ml, puis 5 ml d'hexane sont ajoutés et une nouvelle concentration est effectuée jusqu'à 1 ml, afin d'éliminer le dichlorométhane. L'extrait hexanique est purifié sur Florisil désactivé (5 % en eau) (\varnothing : 0,5 cm, h : 10 cm). L'extrait purifié est à nouveau concentré à 2 ml. Une seconde opération de purification est réalisée pour précipiter le soufre libre co-extrait, en ajoutant 1 ml de mercure métallique (MARCHAND, 1983). La mesure des résidus organochlorés est réalisée sur chromatographe en phase gazeuse (TRACOR 560), équipé d'un détecteur à capture d'électrons et d'un injecteur solide, type de ROS. La séparation chromatographique est effectuée sur colonne capillaire (\varnothing_i : 0,25 mm, L : 40 m), imprégnée de phase silicone SE-54, en programmation de température de 180 à 240 °C, à raison de 2 °C/minute.

Carbone organique

Le sédiment sec, 100 mg, est pesé dans un creuset « LECO », réfractaire et non poreux. L'échantillon est décarbonaté par addition de 3 ml d'acide orthophosphorique (1 M). Après attaque acide à froid

durant quelques minutes, l'échantillon est placé sur une plaque chauffante à 80 °C jusqu'à siccité. Le carbone organique est ensuite dosé sur un appareil LECO WR 12.

Métaux

L'échantillonnage de sédiment en vue de l'analyse des éléments métalliques est effectué sur le même prélèvement que celui réalisé pour l'analyse des polluants organiques. Les échantillons sont lyophilisés, puis tamisés à 63 μm . La minéralisation des échantillons pour le dosage de Pb, Cr, Cd, Cu, Zn, Co, Ni, Mn et Fe est effectuée par voie humide. Environ 0,7 g de sédiment tamisé sont minéralisés à l'aide d'un mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique (3:1) concentrés. Lorsque la minéralisation est achevée, ceci nécessitant parfois un ajout supplémentaire d'acide, ce dernier est évaporé. Un millilitre d'acide chlorhydrique est ajouté au résidu de minéralisation, puis une dilution adéquate est effectuée avec de l'eau bidistillée. Les analyses sont réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (IL 351) de flamme (air-acétylène). L'analyse du mercure est effectuée après minéralisation oxydante de 0,7 g d'échantillon (ajout de KMnO_4), à chaud sous reflux d'air. L'excès d'oxyde de manganèse est dissous par addition d'hydroxylamine. La réduction du mercure est effectuée par ajout de SnCl_2 . L'analyse du métal est réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre sans flamme (Mercury Monitor UV, LDC). Pour l'analyse de l'arsenic, la minéralisation de 1 g d'échantillon est effectuée à 450 °C, en présence de nitrate d'ammonium. Après reprise des cendres par HCl (6N) et ébullition de 30 minutes, la solution est filtrée et réduite par addition d'iodure de potassium. La formation d'hydrure d'arsenic est réalisée par ajout de borohydrure de sodium. L'analyse est réalisée par spectrophotométrie d'absorption atomique, en flamme hydrogène.

III. RÉSULTATS, DISCUSSIONS

Hydrocarbures

L'analyse des hydrocarbures totaux ne définit pas la nature des hydrocarbures mesurés dans le sédiment, et par conséquent ne différencie pas la part revenant aux hydrocarbures biogènes présents naturellement dans le sédiment, de celle correspondant aux hydrocarbures d'origine pétrolière. Le taux d'hydrocarbures biogènes est variable selon la nature du sédiment, faible ou nul dans un sédiment grossier et sableux, significatif dans une vase. Nous avons utilisé deux critères pour définir si un sédiment

TABLEAU II

Concentrations des hydrocarbures totaux (ppm) et résidus organochlorés (ppb) dans les sédiments de la lagune d'Abidjan
Concentrations of total hydrocarbons (ppm) and organochlorine residues (ppb) in sediments collected from the Abidjan lagoon

Station	Carbone organique CO (%)	Hydrocarbures totaux HC (ppm)	HC/CO	PCB (ppb)	Lindane (ppb)	DDE (ppb)	DDD (ppb)	DDT (ppb)	Σ DDT (ppb)
1	2,5	24	9,6	2	0,5	0,5	0,5	0,5	2
2	7,7	51	6,6	2	3,0	0,4	1,8	1,5	3,7
3	19,7	146	7,4	2	3,1	0,1	0,8	0,9	1,8
4	17,1	241	14,1	2	3,7	0,4	1,6	1,9	3,9
5	15,0	41	2,7	10	3,0	1,1	1,3	0,9	3,3
6	12,3	113	9,2	2	3,1	0,3	0,8	0,8	1,9
7	3,5	26	7,4	14	0,6	0,5	0,5	0,5	2
8	0,53	7	13,2	2	0,5	0,5	0,5	0,5	2
9	5,52	46	8,3	3	1,7	0,2	1,2	1,5	2,9
10	3,05	596	195,4	77	19,0	0,5	0,5	0,5	2
11	3,07	137	44,6	63	1,1	4,5	2,5	17,7	24,7
12	2,35	273	116,1	37	0,6	4,0	11,3	1,1	16,4
13	1,73	408	235,8	117	7,0	4,3	12,3	0,2	16,8
14	2,84	1 790	630,3	170	0,5	8,0	5,5	0,5	13,5
15	2,49	656	263,4	156	5,1	7,6	23,1	29,7	60,4
16	2,74	280	102,2	213	2,2	10,3	35,4	113,2	158,9
17	2,73	293	107,3	36	3,2	5,4	4,9	7,6	17,9
18	2,97	455	153,2	46	3,4	4,6	12,4	2,9	19,9
19	0,01	nd	-	2	0,5	0,5	0,5	0,5	2
20	2,27	477	210	32	1,1	3,4	7,0	6,4	16,8
21	0,59	505	856	54	0,5	6,1	132,0	354,0	492
22	3,00	1 194	398	194	0,5	17,4	47,5	7,1	72,0
23	1,83	68	37,2	4	0,6	0,7	0,3	0,6	1,6
24	2,24	57	25,4	8	0,9	1,6	0,2	0,3	2,1
25	0,90	187	207,8	26	0,6	6,0	0,5	0,5	7,0
26	2,80	1 606	573,6	40	0,5	7,4	0,5	0,5	8,4
27	2,32	636	274,2	55	1,7	6,6	7,2	2,1	15,9
28	3,28	565	172,3	130	1,7	10,2	15,2	33,7	59,1
29	2,59	2 440	942	187	9,7	149	803	45	997
30	0,14	191	135,7	3	0,5	0,5	0,2	0,4	1,1
31	0,52	82	157,7	8	0,7	1,0	1,9	0,2	3,1
32	2,98	33	11	4	2,4	0,7	1,0	1,5	3,2
33	5,55	314	56,6	151	0,5	7,8	1,0	0,5	8,8
34	5,00	277	55,4	35	4,2	18,2	11,4	2,5	32,1
35	8,02	35	4,4	2	1,4	1,7	3,3	0,3	5,6
36	2,64	139	52,6	-	-	-	-	-	-
37	2,59	nd	-	2	0,5	4,0	0,5	0,5	5,0
38	3,42	182	53,2	8	0,5	3,0	0,5	0,5	4,0
39	2,95	13	4,4	5	2,5	0,7	1,1	0,8	2,6
40	0,45	nd	-	4	0,5	0,5	0,5	0,5	2
41	1,92	3	1,5	3	0,5	0,5	0,5	0,5	2
42	2,32	88	38	3	0,5	1,4	1,0	1,0	3,4

est pollué ou non par les hydrocarbures d'origine pétrolière. Une première indication est trouvée dans le résultat lui-même. En première approximation, un sédiment contenant plus de 100 ppm (mg/kg) d'hydrocarbures totaux peut être considéré comme contaminé. Mais ce premier critère ne suffit pas. Dans certains cas, relativement exceptionnels, une concentration supérieure à 100 ppm ne traduit pas une pollution par hydrocarbures fossiles, mais reflète un sédiment extrêmement riche en matière organique naturelle. A l'inverse, dans un sédiment non vaseux, pauvre en matière organique, une concentration inférieure à 100 ppm peut refléter une pollution par hydrocarbures. Un second critère,

développé par MARCHAND et ROUCACHE (1981), associe les deux paramètres hydrocarbures totaux (HC) et carbone organique (CO) du sédiment. La part d'hydrocarbures biogènes du sédiment transparait dans la concentration du carbone organique. L'expérience montre qu'un rapport HC (ppm) / CO (%) inférieur à 50 ne traduit pas l'existence d'une pollution par hydrocarbures au sein du sédiment. Ce second critère a l'avantage de pouvoir faire abstraction de la nature du sédiment dans l'interprétation du résultat.

Les résultats concernant le carbone organique (CO), les hydrocarbures totaux (HC) et le rapport HC/CO sont présentés dans le tableau II. Le carbone orga-

nique reflète la nature des sédiments échantillonnés. Ce sont pour la plupart des vases ($CO = 3,63 \% \pm 3,00$). Quatre échantillons vaseux prélevés dans la partie occidentale de la lagune (stations 3, 4, 5 et 6) se singularisent par de très fortes teneurs en carbone organique ($CO = 16,03 \% \pm 3,14$). Trois échantillons (stations 8, 21, 31) sont des sables vaseux ($CO = 0,50 \% \pm 0,04$). Deux échantillons (stations 9 et 30) sont des sables non vaseux ($CO = 0,01 \%$ et $0,14 \%$). Les teneurs en hydrocarbures totaux varient de la limite de détectabilité (< 3 ppm) à plus de 1 000 ppm. Le second critère utilisé pour observer la pollution par hydrocarbures, le rapport HC/CO, varie de 3 à 856. L'examen de ces deux paramètres, hydrocarbures totaux, d'une part, et rapport HC/CO, d'autre part, montre que la pollution par hydrocarbures ne se manifeste qu'au niveau de l'agglomération d'Abidjan. La partie occidentale, correspondant aux secteurs IV, V et VI de la lagune (fig. 1), ne présente pas l'apparence d'un milieu pollué par les hydrocarbures. Dans les secteurs VI (extrémité occidentale) et V (d'Agnéby à Abidjan), les concentrations en hydrocarbures sont inférieures à 50 ppm ($HC/CO < 15$). Dans le secteur V, les vases prélevées sont extrêmement riches en carbone organique ($CO = 16 \% \pm 3$). Trois des échantillons prélevés ont des teneurs en hydrocarbures totaux supérieures à 100 ppm ($m = 167 \text{ ppm} \pm 66$), ce qui pourrait suggérer, sur cette seule base, l'existence d'une pollution par hydrocarbures. En réalité, le rapport HC/CO reste inférieur à 15 et indique, au contraire, que ces teneurs significatives en hydrocarbures totaux sont d'origine biogène, provenant de la richesse exceptionnelle en matière organique des vases prélevées. Dans la partie orientale (secteurs I et II), la pollution par hydrocarbures n'est pas identifiée, à l'exception du fond de baie, face à la localité de Bingerville ($HC = 182$ ppm, $HC/CO = 53$), site légèrement pollué, vraisemblablement par les rejets urbains de cette agglomération.

La pollution par hydrocarbures est identifiée au niveau de la ville d'Abidjan, et semble avoir trois causes essentielles : rejets urbains, rejets industriels et trafic maritime. Sur 28 échantillons prélevés dans la zone urbaine d'Abidjan, seuls 6 échantillons ne présentent pas de traces significatives de pollution par hydrocarbures ($HC < 70$ ppm, $HC/CO < 40$), représentant les limites est et ouest de l'extension urbaine (stations 9, 32, 35), la station 19 face au canal de Vridi qui se caractérise par un sable non vaseux, traduisant l'importance de l'échange eau saumâtre/eau marine, et les stations 23 et 24 dans la lagune de Biétri. Partout ailleurs, la pollution par hydrocarbures est observée dans les sédiments à des concentrations variables. Dans la baie de Banco, soumise à des apports urbains et industriels, les

concentrations observées sont élevées et varient de 400 à 1 800 ppm. La pollution de la baie de Marcory reflète les effluents de l'exutoire des quartiers populaires (2 440 ppm). La baie de Cocody est fortement polluée (500 à 1 600 ppm) par les rejets urbains d'Indénié et les multiples exutoires du Plateau. Les phénomènes de dispersion sont observés dans la baie de Biétri où les teneurs les plus fortes (200 et 1 200 ppm) sont relevées dans le chenal d'entrée (station 21), dans la baie (station 22) et au fond de baie (station 25). Le centre de la baie ne présente pas de traces de pollution significative. Aux rejets industriels et urbains chroniques, le rejet accidentel de 400 tonnes de pétrole par la Société Ivoirienne de Raffinage, en décembre 1981, a certainement influencé l'état de pollution des sédiments locaux. La pollution par hydrocarbures est également observée au débouché des rejets urbains de Yopougon à l'ouest, des rejets industriels et urbains de la baie de Koumassi à l'est. La pollution des chenaux de navigation, centrale (entre l'île Boulay et Treichville), central ouest (au nord de l'île Boulay), central est (au nord de Petit Bassam) est liée vraisemblablement à la fois au trafic maritime, aux activités portuaires et à la dispersion des rejets industriels et urbains précités.

En conclusion, la pollution par hydrocarbures se localise dans la lagune au niveau de l'agglomération d'Abidjan et, en fond de baie, face à la localité de Bingerville.

Organochlorés

Trois types de résidus organochlorés sont identifiés, selon le protocole analytique utilisé dans les sédiments : le lindane (HCH), insecticide chloré ; le DDT (insecticide chloré) et ses deux principaux métabolites (DDD, DDE) ; et les PCB (polychlorobiphényles), résidus essentiellement industriels.

Les PCB sont des produits de synthèse résultant de la chloration d'un radical biphényle et se présentant sous la forme de liquides plus ou moins visqueux selon leur degré de chloration. Ils sont utilisés comme agents diélectriques, fluides caloporteurs. On les retrouve dans les formulations de peintures, d'encres et de vernis. A la différence des hydrocarbures, les résidus organochlorés sont des produits de synthèse, et le niveau de référence dans l'environnement est le niveau zéro, c'est-à-dire, dans le cadre de cette étude, la limite de détectabilité de la méthode utilisée, à savoir 0,5 ppb pour le lindane, 2 ppb pour les PCB et les composés du DDT. Les concentrations mesurées sont présentées dans le tableau II. L'examen d'ensemble des données recueillies indique que la pollution par ce type de substances se localise essentiellement dans le secteur d'Abidjan.

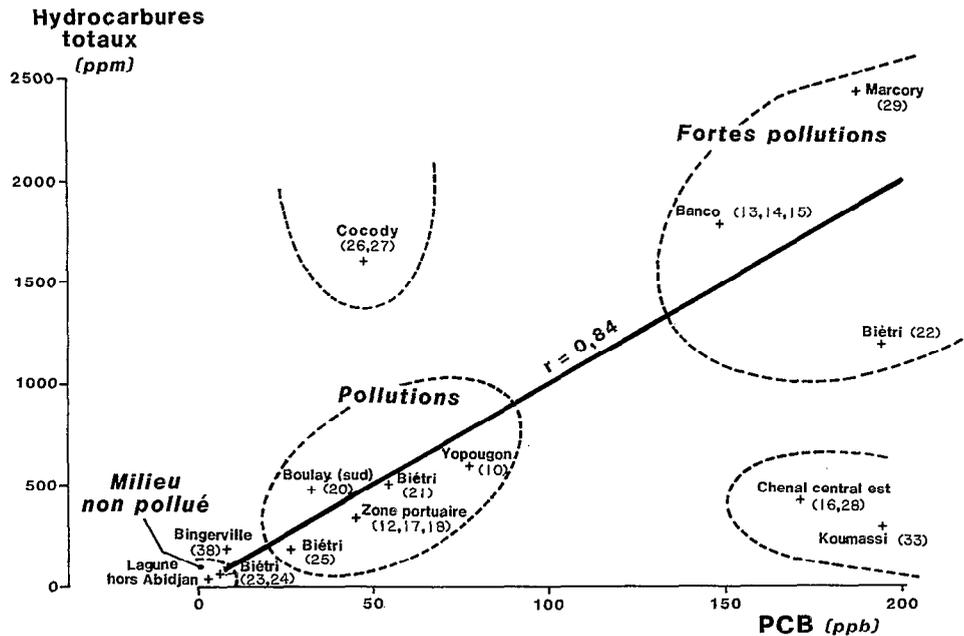


FIG. 2. — Relation entre les concentrations d'hydrocarbures totaux (ppm) et les PCB (ppb) dans les sédiments (fraction totale)
Correlation between total hydrocarbon concentrations (ppm) and PCB's concentrations (ppb) in sediments (total fraction)

— PCB

La composition des PCB identifiés dans les sédiments correspond généralement à un mélange de deux formulations commerciales, DP-5 et DP-6, c'est-à-dire un taux de chloration moyen sur le radical biphenyle, respectivement de 50 à 60 %. Les concentrations mesurées varient de 2 à 200 ppb. Les plus fortes concentrations (> 100 ppb) se localisent dans les baies de Marcory, de Banco, de Biétri et de Koumassi. Les sédiments de la zone portuaire, l'entrée du chenal central ouest (au nord de l'île Boulay) et la baie de Cocody traduisent un état de pollution significatif (30-40 ppb). Les gradients de concentrations observés, notamment dans les chenaux de navigation est et ouest et la baie de Koumassi, restituent les principales sources d'apports polluants en PCB vers le milieu lagunaire, sources principalement constituées par les effluents urbains et industriels. L'absence de PCB dans les sédiments, ou leur présence à l'état de traces (environ 3ppb), se localise dans le milieu lagunaire extérieur à l'agglomération abidjanaise. Des teneurs faibles, mais significatives, sont toutefois relevées en fond de baie, face à Bingerville (8 ppb) et dans la partie ouest de la lagune aux stations 5 et 7 (10 et 14 ppb). Si l'on compare la distribution des PCB dans le système lagunaire avec celle observée pour les hydrocarbures, on remarque une corrélation significative d'apports communs PCB/hydrocarbures dans les secteurs soumis à de

fortes pollutions (Marcory, Biétri, Banco) à des pollutions significatives (Yopougon, zone portuaire, Biétri) et dans les zones non polluées hors Abidjan (fig. 2). Toutefois, trois secteurs se singularisent, traduisant des apports non corrélés en PCB et en hydrocarbures totaux : baie de Cocody, baie de Koumassi et entrée du chenal central est.

— DDT

De même que pour les PCB et les hydrocarbures, la pollution en DDT se localise dans le secteur d'Abidjan. Il était permis d'émettre l'hypothèse qu'une fraction des pesticides utilisés dans les plantations artisanales ou industrielles aboutisse dans la lagune à la faveur du lessivage des sols durant la saison des pluies, en mai et juin, par l'intermédiaire des affluents de la lagune. Les mesures effectuées sur les sédiments ne permettent pas de confirmer cette hypothèse. En dehors du secteur d'Abidjan, les concentrations mesurées sont inférieures au seuil de détectabilité (< 2 ppb) ou représentent des quantités détectées à l'état de traces (3 à 5 ppb). Toutefois, on observe que ces traces ont tendance à se situer dans les fonds de baies (stations 2, 4, 37, 38) et dans la partie amont de la lagune Aghien (station 42). Si ces concentrations reflètent des apports continentaux, il n'en reste pas moins que ces apports restent extrêmement faibles et peu significatifs pour le milieu lagunaire.

TABLEAU III

Pourcentage de DDT par rapport au DDT total. Identification des sources d'apports

DDT percentage in relation to total DDT. Identification of some input sources

Site	Station	DDT total (ppb)	% DDT	Zone de dispersion	% DDT
<u>Apports frais</u>					
Entrée de la baie de Biétri	21	492	72		
Entrée du chenal centre ouest	16	159	71	(st 15) : 60 ppb (st 28) : 59 ppb (st 17) : 18 ppb	49 57 43
Chenal centre ouest (Yopougon-Santé)	11	25	72	(st 9) : 3 ppb	52
<u>Apports vieux ou dégradés</u>					
Baie de Marcory	28	997	5		
Baie du Banco	13-14	13-17	0-1		
Baie de Cocody	26	7	0		
Baie de Biétri	22	72	10		
Baie de Koumassi	34	32	8		

Dans l'agglomération abidjanaise, deux sources d'apports en DDT sont localisées, l'une dans la baie de Marcory (997 ppb) où aboutissent les rejets urbains de Treichville, l'autre à l'entrée de la baie de Biétri (492 ppb), secteur où se situe l'usine Shell-Chimie, susceptible de rejeter des formulations commerciales d'insecticides chlorés. Les concentrations indiquées représentent le DDT total, c'est-à-dire la somme du DDT et de ses deux principaux métabolites (DDD, DDE). L'examen du pourcentage de répartition de ces trois composés permet de différencier l'origine des apports de cet insecticide chloré. Dans le milieu sédimentaire, le DDT tend à se transformer en DDE et DDD, produits de dégradation également toxiques. Il est admis qu'un fort pourcentage de DDT par rapport aux deux métabolites traduit une origine récente ou « fraîche » de ce produit dans le milieu environnant récepteur. A l'inverse, un faible pourcentage en DDT sera significatif, soit d'apports anciens, soit d'apports de produits déjà métabolisés. Le tableau III montre des différences significatives. Les baies de Marcory, Biétri, Banco, Cocody et Koumassi, dans lesquelles des concentrations non négligeables de DDT total sont relevées (7 à 997 ppb), s'individualisent comme étant des zones où le pourcentage de DDT par rapports aux métabolites reste faible, de 0 à 10 %. A l'opposé, trois sources d'apports frais en DDT (71-72 %) sont localisées distinctement, d'une part à l'entrée de la baie de Biétri, d'autre part à l'entrée

du canal central-est, au niveau du pont Houphouët-Boigny (station 16) où des rejets industriels sont identifiés, et enfin à l'entrée du chenal central-ouest en face du rejet de Yopougon-Santé (station 11). Sur la base du pourcentage de DDT, la dispersion des apports polluants, à partir de la station 16, semble s'étendre dans la zone portuaire (station 17 : 43 %), à l'entrée de la baie de Banco (station 15 : 49 %) et dans le chenal central-est jusqu'à la station 28 (57 %).

— LINDANE

Le lindane, insecticide chloré, est beaucoup plus soluble dans l'eau (environ 10 mg/l) que le DDT ou les PCB (environ 1 µg/l). Par conséquent, sa capacité d'adsorption sur les matières en suspension ($K = 110$) est faible par rapport aux DDT et PCB ($K = 50\,000$) (MARCHAND *et al.*, 1983). Le sédiment ne constitue donc pas un bon indicateur de pollution du milieu pour ce type de composé. Les concentrations mesurées restent faibles, de < 0,5 à 20 ppb, par rapport à celles mesurées en DDT et PCB, mais elles sont suffisamment significatives pour traduire la présence du lindane dans le milieu lagunaire (tabl. II). Les plus fortes teneurs sont localisées en face de Yopougon dans le chenal central-ouest et en baie de Marcory (> 10 ppb), puis dans les baies du Banco et Koumassi et dans la zone portuaire (3 à 4 ppb en moyenne). Ailleurs, les concentrations sont peu

TABLEAU IV

Concentration des métaux dans les sédiments (fraction < 63 μm). Les valeurs sont exprimées en mg/kg de sédiment, excepté le fer exprimé en % et le mercure exprimé en $\mu\text{g/kg}$

Heavy metals concentrations in sediments (fraction < 63 μm). Data are expressed as mg/kg of sediment, except for iron expressed as % and mercury as $\mu\text{g/kg}$

Stations	Cu	Mn	Zn	Fe	Ni	Cr	Co	Pb	Cd	Hg	As
1	5,8	3 043	43,7	7,96	10,7	27,8	6,7	1,6	< 0,1	43	3,6
2	19,1	91	57,9	4,60	22,9	51,9	7,9	8,7	< 0,1	159	10,6
3	21,7	157	84,1	5,87	30,7	40,3	10,9	9,6	< 0,1	170	13,6
4	25,3	85	127,3	5,88	30,1	113,5	14,1	14,7	0,37	282	7,8
5	25,0	140	70,6	4,70	33,9	87,1	12,9	10,9	< 0,1	192	11,4
6	19,0	175	84,2	8,72	23,6	92,8	9,0	14,0	< 0,1	803	10,8
7	15,0	177	98,9	5,37	26,0	44,5	16,2	11,3	< 0,1	319	5,6
8	20,9	383	110,9	6,40	31,1	117,9	17,4	24,0	< 0,1	461	14,2
9	19,8	136	97,5	3,90	28,3	53,1	12,0	10,4	< 0,1	308	2,5
10	32,2	107	424,7	4,82	18,6	10,3	10,5	23,7	< 0,1	836	15,6
11	25,6	282	131,2	4,71	29,4	48,9	13,4	18,2	< 0,1	588	12,0
12	30,6	388	101,1	4,79	30,8	42,8	12,6	22,1	< 0,1	321	13,3
13	20,3	97	134,6	4,59	11,6	53,4	3,6	59,5	< 0,1	399	14,8
14	48,8	134	379,3	3,86	19,8	51,3	7,5	60,4	0,25	798	15,0
15	43,1	337	154,3	4,46	32,3	39,0	13,0	28,5	< 0,1	389	12,8
16	42,2	363	144,1	5,04	33,9	45,2	14,7	32,3	< 0,1	655	14,0
17	33,8	272	84,2	4,71	32,9	43,6	11,6	15,4	< 0,1	304	11,8
18	35,1	163	82,6	4,36	29,1	41,2	12,1	13,2	< 0,1	249	6,8
20	28,6	682	101,3	4,75	29,4	44,7	12,6	21,8	< 0,1	459	13,0
21	39,5	283	220,8	5,83	59,0	84,6	18,0	34,3	< 0,1	889	20,0
22	39,4	282	200,5	4,21	53,3	92,7	18,1	29,3	< 0,1	399	12,0
23	32,8	198	99,0	5,74	36,6	82,3	22,8	14,8	< 0,1	201	14,0
24	33,2	269	92,3	5,06	55,2	75,9	24,3	18,1	< 0,1	148	15,3
25	60,0	200	326,6	7,76	41,2	91,0	18,4	45,3	0,28	1390	75,0
26	23,3	97	199,0	4,85	6,7	82,5	2,4	59,3	0,10	203	14,0
27	34,5	247	193,6	4,29	22,3	77,8	9,2	42,6	< 0,1	421	10,5
28	44,9	332	163,8	3,86	35,3	69,9	13,3	34,8	< 0,1	321	8,8
29	50,5	186	208,1	4,34	45,1	78,4	17,2	70,2	0,20	549	10,0
31	31,6	374	156,0	5,43	32,2	46,2	17,1	26,3	< 0,1	360	5,3
32	34,5	288	87,4	4,67	37,8	87,3	18,8	27,0	< 0,1	302	4,5
33	28,9	215	138,8	5,94	35,3	77,4	14,2	24,8	0,14	673	15,0
34	34,1	266	103,8	7,67	38,2	48,4	16,5	17,6	0,24	526	15,0
35	29,7	275	81,7	6,43	39,2	83,9	15,8	8,2	< 0,1	284	5,3
36	31,0	566	91,6	5,14	33,5	40,7	15,8	16,9	< 0,1	191	11,3
37	34,5	792	133,6	4,10	30,8	38,6	15,8	12,1	< 0,1	119	8,5
38	34,6	180	97,6	4,96	35,6	41,6	14,9	17,9	< 0,1	231	11,8
39	26,5	265	58,9	3,69	27,3	30,3	21,7	34,1	< 0,1	103	4,3
40	25,0	852	84,1	5,20	28,7	34,8	25,0	16,2	< 0,1	140	6,8
41	16,4	206	59,6	2,69	15,5	24,4	10,4	11,8	< 0,1	154	1,8
42	16,4	95	69,7	5,38	13,4	34,0	4,9	16,1	< 0,1	179	9,8

significatives et semblent indiquer que les baies de Cocody et de Biétri ne sont pas touchées par cet insecticide.

A la différence des autres polluants organiques étudiés, le lindane est identifié dans la lagune en dehors d'Abidjan, principalement dans la zone occidentale, dans le secteur compris entre les stations 2 et 6, où la teneur moyenne relevée est de $3,2 \pm 0,5$ ppb. La présence de lindane dans cette partie de la lagune est difficilement explicable par les apports d'eaux continentales résultant du lessivage des sols. En hypothèse, nous pouvons évoquer la pêche avec des produits toxiques comme élément explicable possible. Ce procédé est décrit par COLCANAP et DUFOUR (1982), mais les auteurs ne mentionnent pas la nature des produits toxiques utilisés. Si le lindane constitue une présence toxique

dans le milieu lagunaire, la surveillance d'une telle substance, compte tenu de ses propriétés physico-chimiques, devrait être abordé par l'analyse de l'eau plutôt que par celui du sédiment.

Métaux

L'interprétation des résultats concernant la concentration des métaux dans le sédiment apparaît plus délicate que pour les composés organiques précédemment étudiés. Pour les métaux, la fraction liée de façon naturelle aux sédiments se superpose à la fraction de nature exogène. La différenciation entre les deux fractions est, dans l'état actuel des connaissances, impossible à déterminer ou bien même à cerner, comme cela est le cas pour les hydrocarbures. Pour certains de ces métaux, la fraction naturelle

TABLEAU V

Concentrations des métaux dans le sédiment du littoral français (R.N.O., 1981 b). Les concentrations sont exprimées en mg/kg de sédiment, à l'exception du fer exprimé en %

Heavy metals concentrations in sediments from French coastal marine areas (RNO, 1981 b). Data are expressed as mg/kg, except iron expressed as %

	Hg	Pb	Zn	Cd	Cu	Mn	Fe	Ni	Cr	As	Co
Région Dunkerque	0,09-0,31	1-170	8-260	0,1-1,2	2-45	8-530	0,1-3,6	-	-	-	-
Baie de Seine	0,08-0,97	19-110	145-450	0,4-4,2	19-73	280-860	1,6-3,3	-	-	-	-
Baie de St Brieuc	0,05-0,15	23-72	102-488	< 1	9-28	133-581	-	6-14	-	-	-
Rade de Brest	0,27-0,81*	32-224	84-353	< 1	21-47*	143-521	-	13-25	-	-	-
Golfe du Morbihan	0,01-0,20	31-56	108-336	< 1	12-36	192-289	-	17-36	-	-	-
Estuaire Vilaine	0,03-0,37	20-35	85-135	< 0,5	5-10	320-471	-	11-15	19-40	-	-
Estuaire Loire	0,06-0,45	16-87	50-216	< 0,5	5-26	406-985	-	14-30*	34-75*	-	-
Golfe de Fos	0,19-1,51*	16-105*	144-452*	0,4-22,7*	30-76*	-	1,8-3,3	-	39-89*	7,6-15,0	-
Cannes-Villefranche	0,06-0,70	8-66	30-142	0,1-1,2	4-30	-	-	4-23	10-23	-	0,3-5,7

(*) Les valeurs obtenues directement dans le port ou dans un canal exutoire n'ont pas été répertoriées

apparaît comme très largement supérieure à la fraction exogène. C'est le cas, par exemple, du fer où la fraction naturelle peut être exprimée en pourcentage du poids de sédiment, et non pas en parties par million comme c'est le cas pour la plupart des autres métaux. Dans ces conditions, l'apport de quelques µg ou quelques dizaines de µg de métal exogène est masqué par le « bruit de fond » naturel. Cependant, pour certains métaux qui s'avèrent être les plus toxiques pour l'environnement marin (Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, As), le « bruit de fond » est très faible et peut être exprimé en mg ou µg de métal par kg de sédiment. Pour ces métaux, la fraction anthropogénique est relativement plus importante, par rapport à la fraction naturelle, que pour le fer et le manganèse. Il apparaît de ce fait possible pour les métaux toxiques pré-cités de porter, bien que subjective, une appréciation sur l'état de pollution des sédiments, par comparaison des valeurs trouvées d'un sédiment à l'autre ou d'un site géographique à un autre. Les concentrations des éléments métalliques dans le sédiment (fraction normalisée inférieure à 63 µm) sont reportées dans le tableau IV. De plus, le tableau V présente de façon synthétique les concentrations d'éléments métalliques observées dans les sédiments (fraction < 63 µm) du littoral français. De même, le tableau VI met en évidence pour cinq des métaux possédant un haut pouvoir de toxicité la plage de variation des concentrations rencontrées dans les sédiments marins. Ces valeurs permettent d'apporter une appréciation sur celles observées dans la lagune d'Abidjan.

Pour le fer et le manganèse, comme cela a été précisé par ailleurs, les concentrations observées sont plus liées à la nature géochimique des sédiments analysés et des sols drainés par les eaux de ruissellement qu'aux apports de nature anthropogénique. En effet, les concentrations les plus élevées sont obser-

vées pour ces deux métaux en dehors de la zone urbaine, à savoir les stations 1 et 6 pour le fer et 1, 8, 37, 40 pour le manganèse. Ces différentes stations n'apparaissent pas être influencées par des rejets de nature industrielle.

Pour le cobalt, les concentrations observées ne laissent pas apparaître de contamination particulière du milieu dans la mesure où, d'une part les valeurs observées sont relativement homogènes sur la plupart des stations de la lagune, et où, d'autre part, les valeurs observées dans la zone orientale (stations 39 et 40), non soumises à une influence industrielle, sont aussi élevées que les valeurs les plus hautes observées dans la zone urbanisée et industrialisée (stations 23 et 24). De plus, les valeurs observées apparaissent identiques à celles observées sur le littoral européen (PERKINS *et al.*, 1973; TAYLOR, 1974; NELSON, 1979; R.N.O., 1981 a). Il est cependant à noter que sur l'ensemble de la lagune, les valeurs les plus faibles sont systématiquement observées aux stations les plus extrêmes. c'est-à-dire les plus éloignées de l'agglomération abidjanaise, ou les plus en amont sur les rivières se déversant dans la lagune (stations 1, 2, 13, 14, 26, 27, 42).

Les observations effectuées pour le cobalt sont sensiblement valables pour le chrome. Les valeurs les plus élevées, observées dans la partie occidentale de la lagune (stations 4, 5, 6, 8) semblent devoir être liées à la nature des sédiments, dans la mesure où aucune cause liée à l'industrialisation ou à l'urbanisation ne permet de les expliquer. Par contre, à l'intérieur de la lagune, des valeurs relativement plus élevées sont observées dans des sites soumis à des rejets industriels ou artisanaux, baie de Biétri (stations 22, 23, 24, 25), baie de Cocody (station 26 et station 21, par exemple). Cependant, les concentrations mesurées apparaissent conformes aux valeurs observées sur le littoral français (tabl. V). Il est

toutefois à noter que ces concentrations sont à rapprocher des zones soumises à l'industrialisation (golfe de Fos, par exemple) plutôt qu'aux zones littorales non industrialisées (estuaire de la Vilaine ou littoral Cannes-Villefranche).

Les concentrations de nickel mesurées sont également en concordance avec celles observées sur le littoral français (tabl. V) et aucune concentration n'apparaît anormalement élevée. Toutefois, l'impact de l'industrialisation et de l'urbanisation apparaît certain dans des sites tels que la baie de Biétri (stations 22, 24, 25), à proximité des rejets urbains de Treichville (station 29) et à proximité des rejets industriels de la station 21. Il est à noter que les valeurs les moins élevées correspondent aux stations géographiquement les plus extrêmes (stations 1, 13, 26, 42).

Pour le zinc, il apparaît que l'empreinte de l'industrialisation et de l'urbanisation est plus marquée que pour les métaux tels que le fer, le manganèse, le chrome et le cobalt par exemple. En effet, les parties orientale et occidentale présentent des concentrations moins élevées que la partie centrale urbanisée et industrialisée. Il est à noter que les concentrations les plus faibles sont observées dans les parties les plus excentrées, par rapport à cette zone urbanisée. Il s'agit des stations 1 et 2 pour la partie occidentale et 41 et 42 pour la partie orientale. Dans la partie centrale soumise aux influences urbaines et industrielles, les concentrations les plus élevées sont observées aux stations 10 et 14 à proximité des rejets urbains du quartier Séminaire et d'Adjamé, respectivement, et à la station 25, à proximité de rejets à dominante industrielle. Les autres stations présentant des concentrations supérieures à 200 mg/kg sont observées à proximité des rejets industriels proches du canal de Vridi (station 21), dans la baie de Biétri (station 22) et à proximité des rejets urbains de Treichville (station 29). Si l'on compare les concentrations de zinc observées aux plages de variation telles que définies par le R.N.O. (tabl. VI), on constate que quelques valeurs sont supérieures aux valeurs considérées comme normales pour le milieu naturel (de 20 à 150 mg/kg), sans atteindre toutefois des valeurs considérées comme anormales (> 600 mg/kg).

Pour ce qui concerne le cuivre, les concentrations observées apparaissent comme normales, pour un milieu côtier, par rapport aux valeurs observées sur le littoral français. Cependant, il est à noter que certaines stations présentent des concentrations qui, sans atteindre des valeurs anormales, sont supérieures à celles classées en « milieu naturel » (voir tabl. VI). Comme pour le zinc, les valeurs rentrant dans la plage des concentrations considérées comme « milieu naturel » sont observées dans les parties orientale et occidentale de la lagune. De même, les valeurs

TABLEAU VI

Concentration des métaux dans la fraction fine (< 63 μm) des sédiments marins. Plages de variation (R.N.O., 1981 a). Les concentrations sont exprimées en mg/kg de sédiment

Heavy metals concentrations in marine sediments (fraction < 63 μm). Range of values (RNO, 1981 a). Data are expressed as mg/kg of sediment

Métal	Milieu naturel	Teneurs anormales
Hg	0,02-0,350	2,5
Zn	20-150	600
Pb	10-70	500
Cu	5-30	300
Cd	0,1-2,0	10

minimales sont observées pour les stations géographiquement les plus excentrées par rapport à l'agglomération abidjanaise (stations 1, 2, 41 et 42). L'impact de l'industrialisation et de l'urbanisation apparaît manifeste, en particulier dans la baie de Biétri (station 25), à proximité des rejets urbains de Treichville (station 29) et dans la baie du Banco (stations 14 et 15).

Toutes les concentrations de plomb mesurées sont semblables à celles observées sur le littoral français (tabl. V), de même que ces concentrations sont comprises dans la plage des concentrations admises en « milieu naturel » (tabl. VI). Toutefois, comme pour le cuivre, le zinc et le nickel, l'urbanisation et l'industrialisation paraît jouer un rôle évident sur la concentration observée. En effet, les valeurs les plus élevées sont observées dans l'agglomération abidjanaise. L'impact de rejets se fait essentiellement ressentir dans la baie de Biétri (station 25), à proximité des rejets urbains de Treichville (station 29), dans la baie du Banco (station 14) et dans la baie de Cocody (stations 26 et 27).

Les concentrations de cadmium dans le sédiment de la lagune apparaissent faibles puisque, pour 33 stations sur les 40 analysées, ces concentrations sont inférieures à 0,1 mg Cd/kg de sédiment. Les valeurs obtenues peuvent être considérées comme normales par rapport aux valeurs observées sur le littoral français (tabl. V) et par rapport aux valeurs admises pour le milieu naturel (tabl. VI). Cependant, pour ce métal également, l'influence de l'urbanisation et de l'industrialisation se fait sentir dans la mesure où les valeurs les plus élevées sont observées dans l'agglomération abidjanaise, et plus particulièrement dans la baie du Banco (station 14), à proximité des rejets urbains de Treichville (station 29) et dans la baie de Biétri, à proximité de rejets industriels (station 25). Dans la baie de Koumassi, la valeur la plus élevée est observée, comme pour le cuivre, à la station 34.

Les concentrations de mercure observées semblent être sous la dépendance de l'urbanisation et de l'industrialisation. En effet, d'une façon générale, les concentrations les plus faibles sont observées dans les parties occidentale et orientale de la lagune et plus particulièrement aux stations les plus extrêmes 1 à 3 et 36 à 42 respectivement. Les concentrations les plus élevées sont observées dans la partie urbanisée de la lagune. Quatre stations présentent des concentrations relativement plus élevées. Il s'agit de la station 10, à proximité des rejets urbains du quartier Séminaire ; de la station 14, dans la baie du Banco, à proximité des rejets urbains d'Adjamé ; des stations 21, près du canal de Vridi, et 25 dans la baie de Biétri, à proximité des rejets à composante industrielle. La station 25 est celle qui présente la concentration la plus élevée. Pour cette station, la valeur observée (1,4 mg/kg), sans être regardée comme anormale, peut être considérée comme haute par rapport au milieu naturel (tabl. VI). Par ailleurs, une concentration de 549 µg/kg de sédiment est observée à la station 29. Dans la baie de Koumassi, les valeurs les plus élevées sont observées aux stations 33 et 34.

Les concentrations d'arsenic apparaissent relativement uniformes sur l'ensemble de la majorité des prélèvements de la lagune. Il est cependant possible de remarquer que les concentrations les plus faibles sont rencontrées en dehors de la zone urbanisée et industrialisée, et plus particulièrement sur les stations géographiquement les plus extrêmes à l'est et à l'ouest. A l'intérieur de la zone urbanisée et industrialisée, deux stations présentent des concentrations plus élevées. Il s'agit de la station 21, à proximité du canal de Vridi et dans la baie de Biétri, à la station 25, à proximité de rejets industriels. Cette station présente une concentration de 75 mg/kg de sédiment. Dans les baies de Banco et de Koumassi, les valeurs les plus élevées sont observées pour les stations 14 et 34 respectivement. Les concentrations mesurées pour l'arsenic sont en accord avec les valeurs observées sur la plupart des sites littoraux (KENNEDY, 1976 ; HALBERG, 1979 ; R.N.O., 1981 a). Toutefois la concentration mesurée sur le site 25 (75 mg/kg de sédiment) peut être considérée comme haute et correspond, par exemple, aux valeurs observées sur le site des rejets urbains d'Athènes (ΠΑΡΑΚΟΣΤΙΔΙΣ *et al.*, 1975).

IV. CONCLUSIONS

Polluants organiques

L'ensemble des résultats obtenus concernant les polluants organiques (hydrocarbures totaux, PCB, DDT, lindane) montre que la pollution se manifeste

TABLEAU VII

Degrés de pollution organique dans la lagune Ebrié
Relative organic pollution levels in the Ebrié bay

	Hydrocarbures	PCB	DDT	Lindane
Baie de Marcory	3	3	3	3
Baie du Banco	3	3	2	2
Baie de Biétri	3	3	3	0
Baie de Cocody	3	2	1	0
Baie de Koumassi	2	3	2	1
Yopougon	2	2	0	3
Zone portuaire	2	2	2	1
Chenal central est	2	3	3	0
Bingerville	1	1	1	0
Lagune ouest	0	0	0	2
Lagune est	0	0	0	1

- (0) : non pollué.
(1) : faible pollution.
(2) : pollution significative.
(3) : forte pollution.

essentiellement sur le secteur d'Abidjan soumis aux rejets urbains et industriels. Le tableau VII illustre de manière schématique les degrés de pollution organique observés dans la lagune Ebrié, en particulier sur les différents secteurs de l'agglomération d'Abidjan. Les secteurs les plus pollués se localisent dans les baies (Marcory, Cocody, Banco et Koumassi) et les zones de navigation (chenaux et zone portuaire). Il est, par ailleurs, intéressant d'observer la corrélation significative des taux de pollution en PCB et les hydrocarbures totaux sur les principaux secteurs étudiés (fig. 2), les plus fortes pollutions se localisant dans les baies de Marcory, du Banco et de Biétri.

Les charges maximales en DDT sont également observées dans les baies de Marcory et à l'entrée de Biétri. Toutefois, les rejets de DDT dans la lagune doivent se différencier, si l'on considère le pourcentage de DDT, par rapport à ses deux métabolites (DDD, DDE) produits de dégradation. Les apports « vieux » ou dégradés, correspondant à un faible pourcentage de DDT par rapport au DDT total (0-10 %), se localisent dans les baies d'Abidjan (Marcory et en quantités moindres Banco, Cocody, Biétri et Koumassi). A l'inverse trois zones d'apports « frais » (% DDT environ 70 %) se situent à l'entrée du chenal central est (station 16), à l'entrée de la baie de Biétri (station 21) et dans le chenal central ouest (station 11). Cette différence qualitative des apports de DDT dans la lagune pose le problème de l'origine des apports (industriels, urbains, traitement de produits), ce qui pourrait constituer l'objectif d'une étude complémentaire spécifique.

Le lindane ne relève pas d'une distribution régulière, il est principalement observé sur Abidjan dans les baies de Marcory et du Banco et de façon

punctuelle sur Yopougon (station 10). A l'inverse des autres polluants organiques étudiés, le lindane est identifié dans la partie occidentale de la lagune Ebrié (stations 2 à 6). Le problème de la pêche avec des produits toxiques est posé ; toutefois, la provenance de ce composé par le lessivage des plantations de bananiers est également possible. La confirmation de l'origine du lindane dans la partie occidentale de la lagune Ebrié, zone où le taux de renouvellement annuel des eaux est très faible (0,4), devrait être abordée par l'analyse des eaux. En effet, le lindane, à l'inverse du DDT et des PCB, est un élément relativement soluble et peu adsorbé par les matières en suspension.

Métaux

Il ressort de l'ensemble des résultats concernant les éléments métalliques dans les sédiments de la lagune d'Abidjan qu'aucune des concentrations observées ne peut, en valeur absolue, être considérée comme anormale et qui témoignerait d'une pollution aiguë du milieu. Toutefois, sur la station 25, dans la baie de Biétri, deux métaux, le mercure et l'arsenic, présentent des concentrations qui peuvent être considérées comme élevées. Cependant, l'aire géographique affectée par ces concentrations élevées apparaît restreinte, dans la mesure où les autres stations de la baie de Biétri présentent pour ces deux métaux des concentrations nettement inférieures à celles observées à la station 25.

Même si les valeurs trouvées peuvent être considérées comme normales, ou élevées, comme vu pour Hg et As pour la station 25, il apparaît que pour l'ensemble des métaux liés à des rejets anthropogéniques (Cu, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Ni) l'impact de l'industrialisation et de l'urbanisation est certain. En effet, pour ces métaux, les concentrations observées dans la zone urbanisée sont en règle générale plus élevées que pour la partie orientale et occidentale de la lagune. Ceci semble devoir témoigner d'une surcharge en éléments métalliques de ces sédiments par rapports aux sédiments « naturels » prélevés dans les parties orientale et occidentale. La surcharge en éléments métalliques est variable suivant la station et la nature du métal. Toutefois, plusieurs stations présentent la caractéristique d'une surcharge pour plusieurs métaux. Il s'agit : de la station 25 (baie de Biétri) qui, outre le mercure et l'arsenic, présente une surcharge en chrome (?), nickel, zinc, cuivre, plomb et cadmium ; de la station 21 (entrée de la baie de Biétri), pour laquelle des surcharges sont

observées en chrome (?), nickel, mercure et arsenic ; de la station 29 (baie de Marcory) pour le nickel, le zinc, le cuivre, le plomb ; de la station 14 (baie du Banco) pour le zinc, le cuivre, le plomb, le cadmium, le mercure et l'arsenic ; de la station 10 (Yopougon) pour le zinc, le mercure, l'arsenic. L'origine de la surcharge en métaux semble devoir être industrielle pour les stations 21 et 25 en particulier. Cependant, pour d'autres stations, cette surcharge ne semble pouvoir être expliquée que par la proximité de rejets urbains (rejets de Treichville pour la station 29 ; rejets d'Adjamé pour la station 14 ; rejets du quartier Séminaire pour la station 10). Cela supposerait que les rejets de nature urbaine sont porteurs d'éléments métalliques en quantité non négligeable. Les surcharges observées dans certaines baies, pour certains éléments métalliques (surcharge en plomb dans la baie de Cocody, par exemple) pourraient trouver leur origine dans l'artisanat mécanique développé sur ces sites. L'introduction de ces métaux pouvant être effectuée soit directement, soit par l'intermédiaire des rejets urbains (rejets d'Indiéni).

S'il ressort de l'ensemble des résultats qu'aucune valeur obtenue ne peut être considérée comme significative d'une pollution aiguë du milieu par tel ou tel métal, il existe une surcharge de la zone industrialisée et urbanisée pour tous les métaux à caractère polluant, et ce par rapport aux valeurs que l'on peut considérer comme les valeurs naturelles de la lagune, observées dans les parties orientale et occidentale de celle-ci. Il n'est pas possible, dans l'état actuel des connaissances de déterminer l'impact de cette surcharge sur le milieu qui, si elle existe, procède plus de la surcharge restreinte de l'ensemble des éléments métalliques (action synergique) que de tel ou tel élément.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'étude de faisabilité d'un Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin en Côte d'Ivoire (RNO/CI). La campagne d'échantillonnage dans la lagune d'Abidjan était organisée par le Centre de Recherches Océanographiques (C. R.O), qui mettait à notre disposition le N/O FIKI. Nous remercions pour leur collaboration au cours de cette campagne M. J. M. CHANTRAINE, de l'ORSTOM, et M. J.L. PESCHET, du Ministère de l'Environnement Ivoirien. Les analyses chimiques des sédiments prélevés ont été réalisées au Centre Océanologique de Bretagne, à Brest. Ont collaboré à cette étude : M^{lle} P. PIGNET, M^{me} A. M. Le GUELLEC et M. J. C. CAPRAIS. Les missions en Côte d'Ivoire ont été financées dans le cadre des crédits FAC (Fonds d'Aide à la Coopération) accordés au Ministère de l'Environnement de la Côte d'Ivoire.

BIBLIOGRAPHIE

- COLCANAP (M.) et DUFOUR (P.), 1982. — L'assainissement de la ville d'Abidjan. Rapp. Ministère de l'Environnement.
- DUFOUR (P.), 1982. — Les frontières naturelles et humaines du système lagunaire Ebrié. Incidences sur l'hydroclimat. *Hydrobiologia*, 94 : 105-120.
- DURAND (J. R.) et SKUBICH (M.), 1982. — Les lagunes ivoiriennes. *Aquaculture*, 27 : 211-250.
- HALBERG (R. O.), 1979. — Heavy metals in the sediments of the Gulf of Bothnia. *Ambio*, 8 : 265-269.
- KENNEDY (V. S.), 1976. — Arsenic concentrations in some coexisting marine organisms from New foundland and Labrador. *J. Fish. Res. Bd Can.*, 33 : 1388-1393.
- MARCHAND (M.), 1983. — Dosage des pesticides et des polychlorobiphényles dans l'eau, les sédiments et les organismes marins par chromatographie gazeuse. In : «Manuel des Analyses Chimiques en Milieu Marin ». CNEXO éd. : 367-80.
- MARCHAND (M.) et CAPRAIS (M. P.), 1981. — Suivi de la pollution de l'AMOCO CADIZ dans l'eau de mer et les sédiments marins. In : « AMOCO CADIZ. Conséquences d'une pollution accidentelle par hydrocarbures ». Publ. CNEXO : 23-54.
- MARCHAND (M.) et ROUGACHE (J.), 1981. — Critères de pollution par hydrocarbures dans les sédiments marins. Étude appliquée à la pollution du « BOHLEN ». *Oceanol. Acta*, 4 (2) : 171-183.
- MARCHAND (M.) et MARTIN (J. L.), 1983. — Détermination de la pollution chimique de la lagune d'Abidjan par l'étude des sédiments (Hydrocarbures, Organochlorés, Métaux). Étude de faisabilité du RNO Côte d'Ivoire. Polluants chimiques. Doc. COB/CNEXO, Brest, 70 p.
- MARCHAND (M.), CAPRAIS (J. Cl.), CASSON-MANNEVY (M. A.) et MORINIERE (P.), 1983. — Apports et distribution des résidus organochlorés à haut poids moléculaire en milieu marin semi-fermé. Étude appliquée à la rade de Brest. *Oceanol. Acta*, 6 (3) : 269-82.
- NELSON (L. A.), 1979. — Minor elements in the sediments of the Thames estuary. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 9 : 623-629.
- PAPAKOSTIDIS (G.), GRIMANIS (A. P.), ZAFIROPOULOS (D.), GRIGGS (G. B.) and HOPKINS (T. S.), 1975. — Heavy metals in sediments from the Athen sewage outfall area. *Mar. Poll. Bull.*, 6 : 136-139.
- PERKINS (E. J.), GILCHRIST (J. R.), ABBOTT (O. J.) and HALCROW (H.), 1973. — Trace metals in solway firth sediments. *Mar. Poll. Bull.*, 4 : 59-61.
- R.N.O., 1981 a. — Synthèse des travaux de surveillance 1975-1979 du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin. Centre Océanologique de Bretagne. CNEXO éd., 358 p.
- R.N.O., 1981 b. — Bulletin du R.N.O. n° 15. Résultats des contrôles. CNEXO éd., 156 p.
- ROUSSEL (J. C.), 1983. — Dosage des hydrocarbures dans l'eau et les sédiments marins par spectrométrie infrarouge. In : « Manuel des Analyses Chimiques en Milieu Marin ». CNEXO éd. : 321-28.
- TAYLOR (D.), 1974. — Natural distribution of trace metals in sediments from coastal environment, Ter Bay, England. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 2 : 417-424.