

# Rôle du plancton dans le cycle biogéochimique du cadmium et du vanadium en baie de Seine orientale : premiers résultats

Plancton  
Cd  
V  
Baie de Seine

Plancton  
Cd  
V  
Bay of Seine

Pierre MIRAMAND <sup>a</sup>, Daniel BENTLEY <sup>a</sup>, Jean-Claude GUARY <sup>a</sup> et Jean-Michel BRYLINSKI <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire de Biogéochimie Marine, Institut National des Sciences et Techniques de la Mer, Conservatoire National des Arts et Métiers, B. P. 324, 50103 Cherbourg Cedex, France.

<sup>b</sup> Station Marine de Wimereux, URA 1363, B. P. 80, 62930 Wimereux, France.

## RÉSUMÉ

Les concentrations en Cd et en V ont été mesurées dans le seston total, les floculats et différentes fractions planctoniques prélevées sur onze stations de la baie de Seine orientale lors de sept campagnes de prélèvements. Les concentrations en Cd mesurées dans le plancton restent dans la gamme des concentrations mesurées dans d'autres zones océaniques, alors que celles en V semblent supérieures. Dans les conditions de prélèvements, le rôle du plancton dans les flux horizontaux de Cd et de V en baie de Seine apparaît comme faible (Cd), voire négligeable (V) comparé à celui du matériel particulaire non vivant (tripton). Néanmoins, il reste à estimer ces flux dans des conditions de floraison de diatomées. Les floculats, qui présentent des concentrations en Cd et en V relativement fortes, jouent vraisemblablement un rôle important dans le cycle biogéochimique de ces deux éléments en baie de Seine.

*Oceanologica Acta*, 1993. 16, 5-6, 625-632.

## ABSTRACT

Role of plankton on the biogeochemical cycle of cadmium and vanadium in the eastern area of the bay of Seine: first results

Cd and V were analyzed in planktonic species (zooplankton and diatoms), in flocks and in total seston (suspended materials) collected at eleven stations for seven sampling periods in the eastern area of the bay of Seine. Cd concentrations measured in planktonic species of the bay of Seine are identical to those measured in other oceanic areas, but V concentrations are generally higher. In the conditions of sampling, the role of both planktonic species and flocks in the horizontal fluxes of Cd and V in the bay of Seine appears not to be important (Cd) or negligible (V) compared to non-living materials (tripton). Nevertheless, this study should be continued in periods of diatom blooms. Flocks which present high Cd and V concentration probably have an important role in the biogeochemical cycle for both elements in the bay of Seine.

*Oceanologica Acta*, 1993. 16, 5-6, 625-632.

## INTRODUCTION

Les flux de métaux apportés par la Seine dans son estuaire sont largement dépendants des flux de particules en suspension (Boust, 1981 ; Avoine *et al.*, 1986 ; Guéguéniat *et al.*, 1986). L'étude des particules en suspension dans l'estuaire de la Seine et dans la baie de Seine orientale a montré une grande diversité de sources et de structures : matériel détritique d'origine continentale et marine, matériel planctonique marin et fluviatile, matériel organique inerte, ... et le rôle prépondérant de l'activité biologique du plancton dans la production et la structuration des matières en suspension (Lafite, 1990). Le rôle du plancton dans l'enrichissement du matériel particulaire en suspension en certains éléments traces et particulièrement en or (Au) a été également suggéré (Guéguéniat *et al.*, en préparation). Par ailleurs, l'aptitude des organismes planctoniques (phytoplancton et zooplancton) à concentrer les éléments traces contenus dans leur environnement et à les transporter (flux vertical) dans les écosystèmes marins est bien connue (Martin et Knauer, 1973 ; Fowler, 1977 ; Fisher *et al.*, 1984 ; Roméo, 1985 ; Fowler, 1986 ; Fowler *et al.*, 1987 ; Fisher *et al.*, 1991). Jusqu'à présent, ces organismes n'ont pas été pris en considération dans les études concernant le devenir des éléments métalliques en baie de Seine.

Afin d'évaluer le rôle exact des organismes planctoniques dans le cycle biogéochimique de certains éléments-traces en baie de Seine orientale, nous nous sommes intéressés dans un premier temps au cadmium et au vanadium, deux métaux rejetés en quantité particulièrement importante en baie de Seine : de 8 à 26 t/an de Cd (8 à 18 t/an provenant de la Seine et 8 t/an rejetées par les phosphogypses) et environ 317 t/an de vanadium rejetées après fabrication du dioxyde de titane (Cossa et Lassus, 1989 ; Anonyme, 1990). De plus, ces deux métaux ont un comportement différent vis-à-vis des espèces biologiques marines. Le vanadium a une très forte tendance à s'adsorber sur les surfaces des animaux en contact direct avec l'eau de mer, exosquelette, coquille, test (Miramand *et al.*, 1980 ; 1981 ; 1982). Pour le cadmium, cette tendance est moins prononcée, Collier et Edmond (1984) ont montré, par exemple, que la majorité du Cd est liée à la phase organique du plancton et non au squelette. Néanmoins, ces deux éléments présentent un cycle biogéochimique qui semble proche, corrélé pour le cadmium aux nutriments [phosphate et nitrate (Bruland *et al.*, 1978)], lié au cycle du phosphate pour le vanadium (Jeandel *et al.*, 1987).

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les échantillons de plancton ont été récoltés, en baie de Seine orientale à une profondeur d'environ 5 m à l'aide d'un filet type WP2 de vide de maille 200  $\mu\text{m}$  (Anonyme, 1968), muni d'un courantomètre permettant d'estimer le volume d'eau filtrée lors de sept campagnes de prélèvements (juin et décembre 1989, mars et octobre 1990, octobre et novembre 1991, janvier 1992). Selon les stations, la durée du trait a été de 15 ou 30 mn. Afin d'éviter

la contamination des échantillons, en particulier par des éclats de peinture pouvant éventuellement être relargués par le navire océanographique *Côte de Normandie*, le filet à plancton a été traîné, par l'intermédiaire de bouts de nylon, 100 m environ derrière un bateau pneumatique lui-même remorqué 100 m derrière le *Côte de Normandie*. Entre 12 et 24 heures après la collecte, les échantillons de plancton (conservés dans des bidons de «Nalgène» enfermés dans des sacs plastiques à l'abri de la lumière) ont été séparés au laboratoire sous hotte à flux laminaire en trois fractions par tamisage sur filets de nylon calibrés de vides de mailles 1 mm (obtention du macroplancton), 250  $\mu\text{m}$  (obtention du petit mésozooplancton) et 83  $\mu\text{m}$  [microplancton récolté sur le filet après colmatage (Bougis, 1974 a)]. Pour chaque fraction une partie aliquote a été formolée pour dénombrement et détermination des espèces présentes. Les échantillons destinés aux analyses métalliques ont été séchés à l'étuve à 90°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant, puis homogénéisés par broyage. Deux parties aliquotes de 300 mg de poids sec ont été minéralisées par attaque nitro-perchlorique à 80°C puis analysées par spectrophotométrie d'absorption atomique avec four de graphite et correction d'absorption non spécifique par effet Zeeman. La méthodologie employée ainsi que les résultats obtenus sur le dosage de standards certifiés, MAA2 (AIEA) et Orchard Leaves SRM1571 (Bureau National des Standards), ont été décrits précédemment (Miramand et Bentley, 1991 ; 1992). 60 à 80 l d'eau de mer ont été collectés à la même profondeur que le plancton à l'aide d'une pompe dont le corps en polypropylène évite la contamination métallique et stockés dans des bidons de «Nalgène» enfermés dans des sacs plastiques. Le lendemain, au laboratoire l'eau a été filtrée sous hotte à flux laminaire. Le support de filtre et la membrane filtrante (Sartorius 0,45  $\mu\text{m}$  de porosité, 293 mm de diamètre) ont été préalablement lavés à l'acide nitrique dilué puis rincés à l'eau distillée. Le matériel en suspension (MES = seston) a été ensuite récupéré par lavage des filtres à l'eau distillée, puis totalement attaqué après évaporation. Les concentrations en Cd et en V du seston ont alors été mesurées. A chaque station, la température et la salinité de l'eau de mer ont été mesurées à l'aide d'une sonde CTD «SeaBird» et des prélèvements d'eau ont été effectués pour analyse des nutriments ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) du silicium minéral dissous, de la chlorophylle *a* et des matières en suspension selon les procédés décrits par Aminot (1983). Les floculats ont été récoltés soit directement dans les bidons de Nalgène où, après repos, ils remontent à la surface, soit après tamisage où ils forment une mince pellicule muqueuse à la surface du tamis de 1 mm. Ils ont été observés au microscope électronique à balayage après métallisation à l'or.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

A chaque campagne, dix à onze prélèvements ont été effectués (fig. 1). Les prélèvements de mars 1990 et, dans une moindre mesure, ceux de juin 1989 et de novembre 1991 ont été effectués après une période de crue de la Seine, alors qu'au cours des autres campagnes, la Seine était en

étiage (fig. 2). Les concentrations en cadmium et en vanadium mesurées dans le seston total, les floculats et différentes fractions planctoniques exprimées en  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de poids sec sont reportées dans le tableau 1. Une étude statis-

tique par analyse en composantes principales, effectuée sur les données centrées réduites, a été appliquée à l'ensemble des données hydrologiques (correspondant à quarante prélèvements) après leur transformation en rang (nécessaire

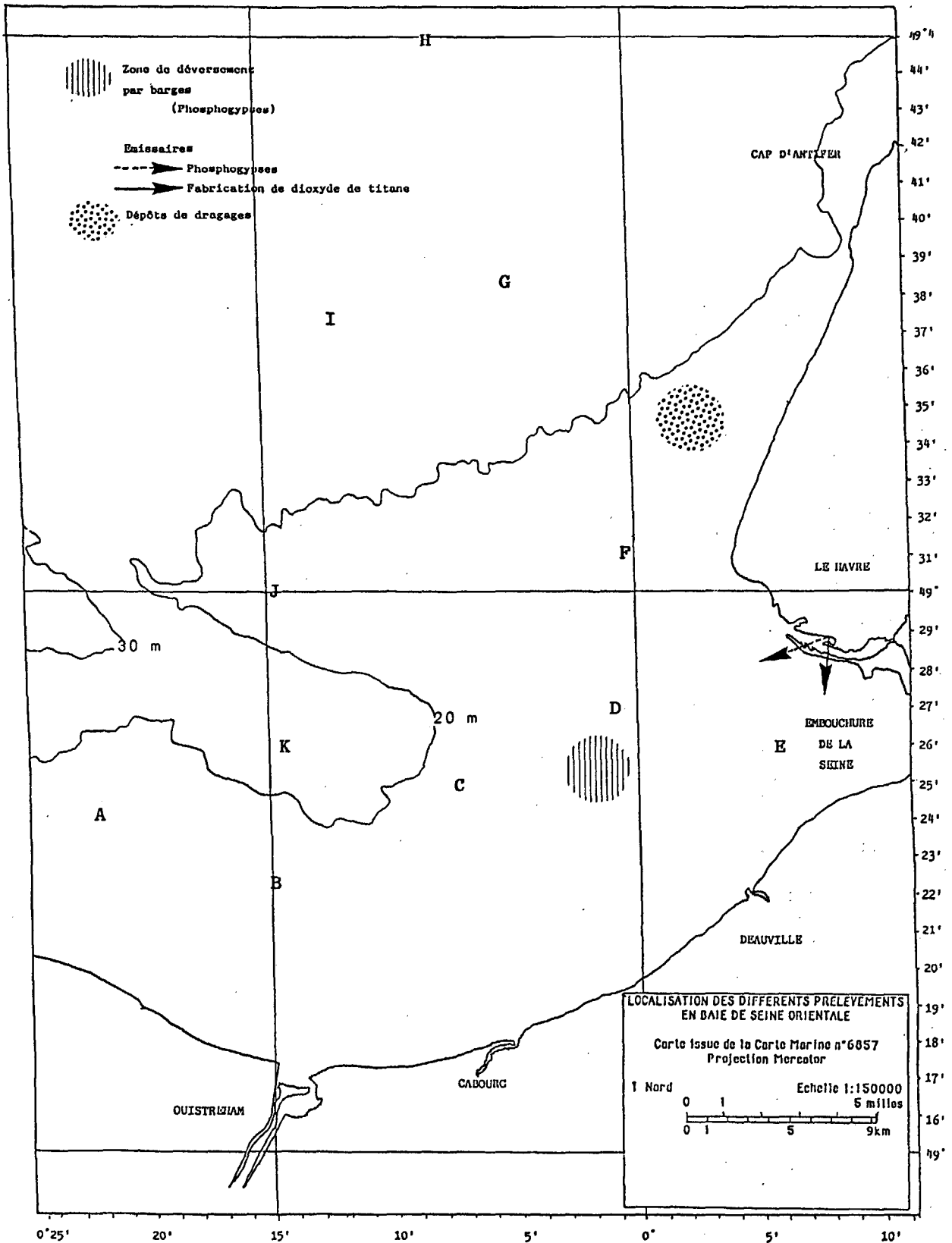


Figure 1

Localisation des stations de prélèvements.

Location of sampling stations.

pour comparer les différents paramètres). Cette ACP semble très significative puisque les trois premiers axes, axe 1 (ensemble des paramètres hydrologiques et salinité), axe 2 (température), axe 3 (chlorophylle) représentent 73,2 % de la variance totale. Elle a permis de séparer les stations D, E, F ainsi que, après une crue de la Seine, la station C en mars (notée C3), influencées par les apports de la Seine, des autres stations non influencées par ces apports (fig. 3). Un test t appliqué aux moyennes des concentrations en cadmium et en vanadium trouvées dans ces différents prélèvements montre pour le seston total, les floculats, l'ensemble du microplancton et les diatomées des différences statistiquement significatives entre les deux groupes de stations. Ces prélèvements se révèlent donc de bons indicateurs de teneurs métalliques de leur environnement et reflètent les apports métalliques industriels ou fluviaux à l'embouchure de la Seine. L'ensemble du mésozooplancton et du macroplancton ne peut, par contre, pas être employé comme indicateur biologique des apports métalliques en baie de Seine du fait de la grande hétérogénéité spécifique de ces prélèvements.

Les floculats que nous avons récoltés se sont révélés être, après observation au microscope électronique à balayage, de trois types (fig. 4) :

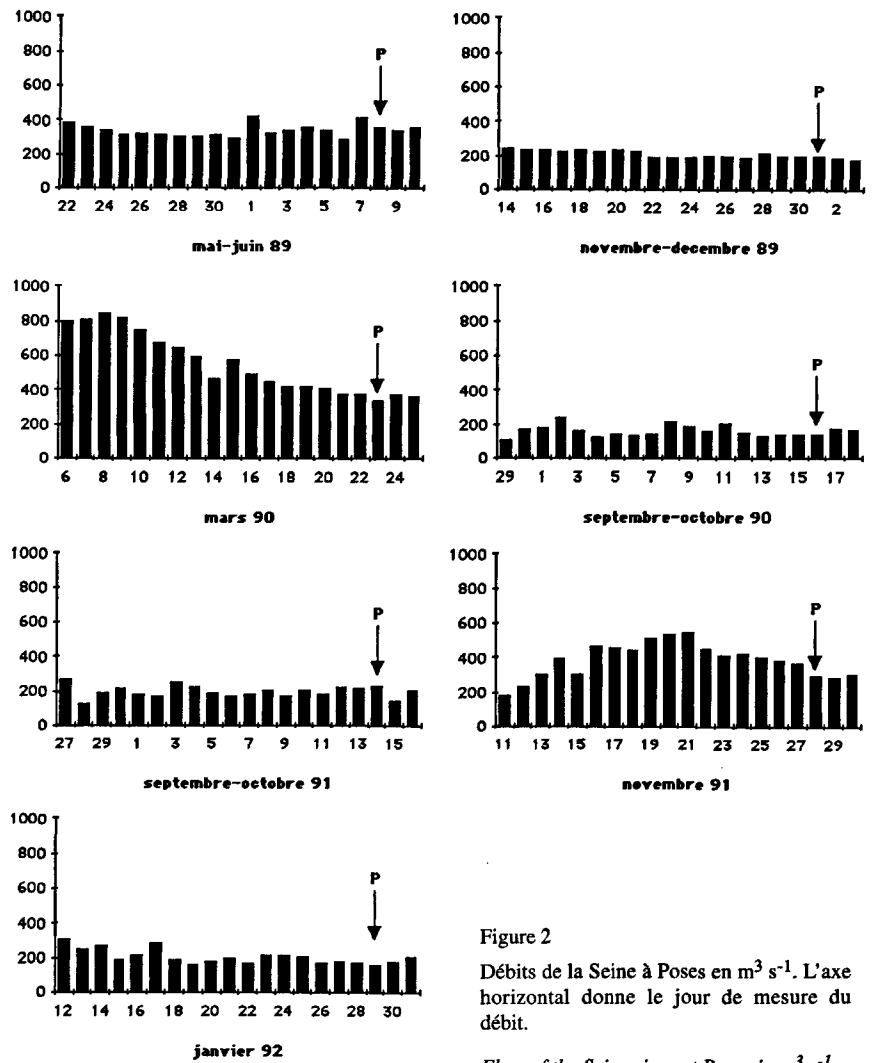


Figure 2

Débites de la Seine à Poses en  $m^3 s^{-1}$ . L'axe horizontal donne le jour de mesure du débit.

Flow of the Seine river at Poses in  $m^3 s^{-1}$ .

Tableau 1

Concentrations en Cd et en V ( $\mu g g^{-1}$  poids sec) mesurées dans le seston et différentes fractions planctoniques prélevées en baie de Seine orientale sur des stations influencées ou non influencées par la Seine.  $X \pm s$ ; ( ) nombre d'échantillons, test t significatif à  $P <$ ; NS = non significatif; NP = non prélevé.

Cd and V concentrations ( $\mu g g^{-1}$  dry weight) measured in seston and different planktonic fractions collected in the eastern area of the bay of Seine at stations either influenced or not by the Seine river.  $X \pm s$ ; ( ) number of samples; student t test significant at  $P <$ ; NS = not significant, NP = not collected.

	Influencées	Cd p <	Non Influencées	Influencées	V p <	Non influencées
SESTON	1,39 ± 0,51 (15)	0,05	1,03 ± 0,56 (32)	110,9 ± 77,5 (15)	0,001	15,9 ± 31,7 (32)
FLOCULATS	9,1 ± 9,9 (20)	0,01	1,3 ± 1,4 (15)	53,4 ± 39,3 (20)	0,001	11,1 ± 5,3 (15)
Dominants filamenteux	3,0 ± 0,8 (7)	-	N.P.	41,9 ± 19,4	-	N.P.
Dominants diatomées	0,65 ± 0,15 (3)	NS	1,03 ± 0,85 (5)	19,4 ± 1,6 (3)	NS	13,3 ± 8,5 (5)
Débris copépodes	N.P.	-	2,95 ± 0,41 (2)	N.P.	-	31,7 ± 16,6 (2)
MICROPLANCTON	1,02 ± 1,39 (20)	0,01	0,38 ± 0,35 (43)	5,1 ± 2,9 (20)	0,001	2,4 ± 1,7 (43)
MÉSOZOOPLANCTON	0,38 ± 0,20 (4)	NS	0,47 ± 0,17 (16)	4,7 ± 3,9 (4)	NS	3,1 ± 2,9 (16)
MACROPLANCTON	0,34 ± 0,23 (6)	NS	0,07 ± 0,01 (1)	3,1 ± 3,1 (6)	NS	3,6 ± 1,0 (1)
DIATOMÉES	0,30 ± 0,18 (11)	0,001	0,13 ± 0,08 (23)	4,0 ± 2,9 (11)	0,001	1,7 ± 0,7 (23)
ZOOPLANCTON	0,38 ± 0,21 (19)	0,05	0,60 ± 0,26 (25)	2,4 ± 2,0 (19)	NS	2,5 ± 2,3 (25)

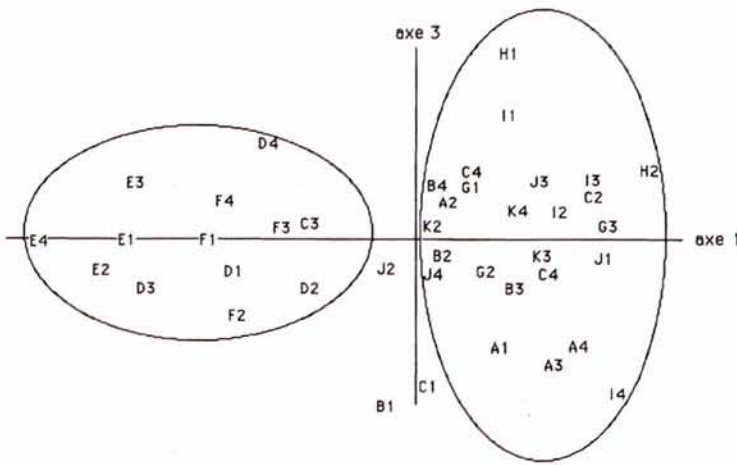


Figure 3

A.C.P. : température, salinité,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , Si, chlorophylle *a*, MES, V particulaire, Cd particulaire. Axe 1 : 50,9 % ; axe 3 : 10,2 % de la variation totale.

ACP: temperature, salinity,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , Si, chlorophyll *a*, particulate matter, particulate V, particulate Cd. Axis 1: 50.9 %; axis 3: 10.2 % of the variance.

- 1) des floculats à base de débris de diatomées dans l'ensemble des stations ;
- 2) des floculats d'aspect filamenteux ou filandreux, dans les stations influencées par la Seine exclusivement ;
- 3) des floculats formés de débris de copépodes, dans les stations du large exclusivement.

Ces floculats présentent globalement des concentrations en Cd et en V toujours largement supérieures à celles mesurées dans le plancton, et compte tenu des écarts-types, proches de celles mesurées dans le seston total. Ces floculats jouent donc vraisemblablement un rôle important dans le cycle biogéochimique de ces deux éléments en baie de Seine : le cycle formation-dégradation des floculats devrait donc être pris en compte dans les modèles prévisionnels du devenir de ces deux éléments en baie de Seine.

Un certain nombre d'échantillons se sont révélés constitués d'une seule catégorie d'organismes pour plus de 99 %. Les concentrations en Cd et en V dans ces organismes, reportées dans le tableau 2, montrent que s'il y a en effet bioaccumulation, il ne semble pas y avoir de biomagnification de ces deux métaux dans les chaînes trophiques planctoniques de la baie de Seine. Ce résultat est identique à celui obtenu pour le cadmium en Méditerranée (Roméo, 1985).

Les concentrations en cadmium mesurées dans le microplancton et les mysidacés de la baie de Seine orientale (y compris l'embouchure) restent dans la gamme des concentrations mesurées dans des fractions planctoniques comparables d'autres régions océaniques (tab. 3). En ce qui concerne le vanadium, peu de données sont disponibles dans la littérature ; néanmoins, il semble que les teneurs observées dans le plancton de la baie de Seine soient supérieures aux teneurs habituellement rencontrées dans le plancton d'autres régions océaniques, traduisant les apports anthropiques particulièrement importants en vanadium dans cette zone côtière.

Lors des dernières campagnes de prélèvements, les biomasses des principales fractions (seston total, floculats, diatomées, zooplancton) ont pu être estimées (tab. 4), ce qui a permis, connaissant les concentrations ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) dans chacune de ces fractions, d'estimer les concentrations en cadmium et en vanadium rapportées au volume

d'eau de mer ( $\text{pg}\cdot\text{poids sec}\cdot\text{l}^{-1}$ ). La connaissance de ces concentrations par unité de volume peut permettre de calculer les flux de Cd et de V véhiculés par ces diffé-

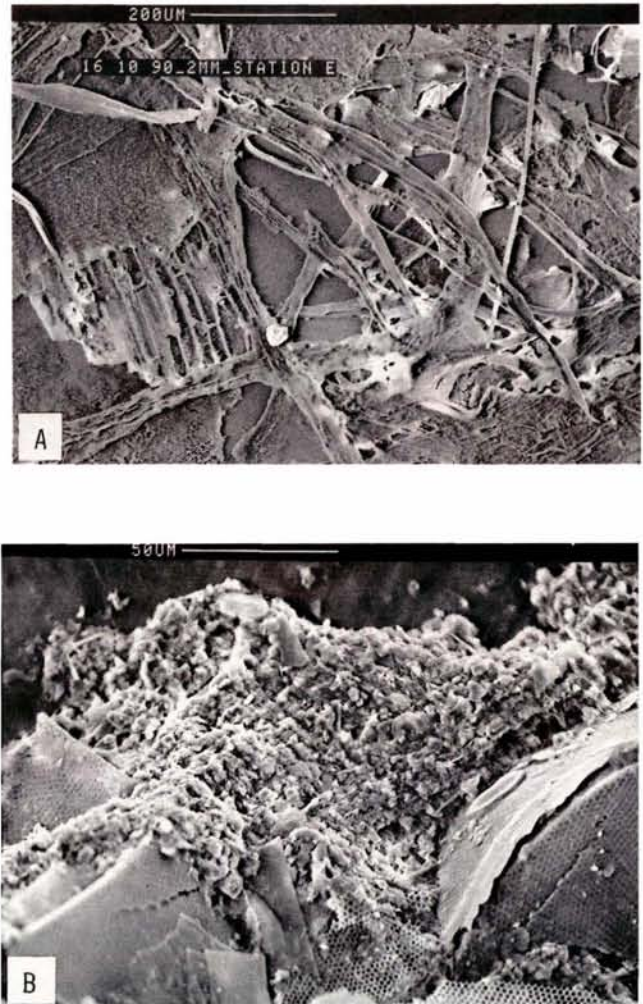


Figure 4

A) baie de Seine, station E, floculats d'aspect filamenteux ; B) baie de Seine, station J, floculats formés de débris de diatomées *Coscinodiscus* sp.

A) bay of Seine, station E, fibrous flocks ; B) bay of Seine, station J, flocks constituted from debris of diatoms *Coscinodiscus* sp.

Tableau 2

Concentrations en Cd et en V ( $\mu\text{g g}^{-1}$  poids sec) mesurées dans différentes espèces planctoniques prélevées en baie de Seine orientale sur des stations influencées ou non influencées par la Seine.  $X \pm s$ ; ( ) : nombre d'échantillons ; test significatif à  $P <$  ; NS : non significatif ; NP : non prélevé.

*Cd and V concentrations ( $\mu\text{g g}^{-1}$  dry weight) measured in different planktonic species collected in the eastern area of the bay of Seine at stations either influenced or not by the Seine river.  $X \pm s$ ; ( ) : number of samples ; student t test significant at  $P <$  ; NS = not significant ; NP = not collected.*

	Cd		V		Non influencées	
	Influencées	p <	Influencées	p <		
<b>DIATOMÉES</b>						
<i>Coscinodiscus</i> sp.	0,21 $\pm$ 0,10 (5)	0,1	0,10 $\pm$ 0,08 (8)	3,0 $\pm$ 1,9 (5)	NS	1,9 $\pm$ 0,8 (8)
<i>Biddulphia</i> sp.	0,36 $\pm$ 0,20 (5)	0,01	0,15 $\pm$ 0,07 (15)	4,7 $\pm$ 3,3 (5)	0,01	1,5 $\pm$ 0,7 (15)
<b>COPÉPODES</b>						
<i>Acartia clausi</i> (dominants) + <i>Centropages hamatus</i> + <i>Temora longicornis</i>	NP	-	1,05 $\pm$ 0,63 (3)	NP	-	0,7 $\pm$ 0,1 (5)
<b>ZOÉS</b>						
<i>Macropipus</i> sp. (80 à 100 %) + <i>Porcellana</i> sp.	NP	-	0,33 $\pm$ 0,16 (5)	NP	-	0,6 $\pm$ 0,6 (5)
<b>CTÉNAIRES</b>						
<i>Pleurobrachia pileus</i>	0,50 $\pm$ 0,30 (3)	-	NP	0,4 $\pm$ 0,2 (3)	-	NP
<b>Mysidacés</b>						
<i>Mysidopsis slabberi</i>	0,39 $\pm$ 0,32 (2)	NS	0,07 $\pm$ 0,01 (1)	5,1 $\pm$ 3,3 (3)	NS	3,6 $\pm$ 1,0 (1)

Tableau 3

Concentrations en Cd et en V ( $\mu\text{g g}^{-1}$  poids sec) mesurées dans différents planctons prélevés dans l'océan mondial. (1) = stations influencées par la Seine ; (2) = stations non influencées par la Seine.

*Cd and V concentrations ( $\mu\text{g g}^{-1}$  dry weight) in different planktonic samples collected in the world ocean. (1) = stations under the influence of the Seine river ; (2) = stations not under the influence of the Seine river.*

	Lieu	Cd	V	Auteurs
MICROPLANCTON	Baie de Seine (1)	1,02 $\pm$ 1,39	5,1 $\pm$ 2,9	Cette étude
"	Baie de Seine (2)	0,38 $\pm$ 0,35	2,4 $\pm$ 1,7	Cette étude
"	Méditerranée	2,1	-	Fowler (1977)
"	"	1,8 $\pm$ 1,0	0,95 $\pm$ 0,50	Fowler (1986)
(60 à 70% de copépodes)	"	3,5 $\pm$ 2,9	-	Hardstedt-Roméo et Laumond (1980)
(Copépodes)	Long Island (USA)	1,6	-	Greig <i>et al.</i> (1977)
ZOOPLANCTON	Baie de New-York	1,2-2,6	-	"
"	Côte sud du Texas	0,93-5,25	-	Horowitz et Preley (1977)
MYSIDACÉS	Baie de Seine (1)	0,39 $\pm$ 0,32	5,1 $\pm$ 3,3	Cette étude
"	Baie de Seine (2)	0,07 $\pm$ 0,01	3,6 $\pm$ 1,0	Cette étude
"	Atlantique Nord-Est	2,0-2,7	0,24-0,32	Ridout <i>et al.</i> (1989)
EUPHAUSIACÉS	Pacifique Nord-Est	0,8-5,5 (2,8)	-	Martin et Knauer (1973)
"	Méditerranée	0,74	-	Fowler (1977)
"	"	0,34 $\pm$ 0,24	0,48 $\pm$ 0,45	Fowler (1986)
"	Atlantique Nord-Est	0,39 $\pm$ 0,03	0,17 $\pm$ 0,11	Ridout <i>et al.</i> (1989)
PÉNÉIDÉS PLANCTONIQUES	"	1,8-3,6	0,3-1,1	"
CARIDÉS	"	3,8-13,3	0,37-1,84	"

rentes composantes du matériel particulaire. Or, dans tous les cas, les concentrations en Cd et V observées dans le seston total sont de deux à cinq ordres de grandeur supérieures à celles trouvées dans les floculats ou dans le plancton seuls. Le rôle du plancton dans les flux horizontaux de Cd et de V en baie de Seine apparaît donc faible pour le cadmium, voire négligeable pour le

vanadium comparé à celui du tripton, qui englobe les particules non vivantes d'origine biologique ou minérale (Bougis, 1974 *b*). Ceci est vraisemblablement dû à des apports considérables de tripton par la Seine. Exprimées en pourcentage, les biomasses planctoniques (zooplankton et diatomées) ne représentent qu'une faible part (2 à 3 %) du seston total, celles des floculats sont négli-

Tableau 4

Biomasse ( $\mu\text{g poids sec l}^{-1}$ ) et concentrations en Cd et en V ( $\text{pg poids sec.l}^{-1}$ ) du seston et de différentes fractions planctoniques prélevées en baie de Seine orientale sur des stations influencées ou non influencées par la Seine.  $X \pm s$ ; NP : non prélevé.

*Biomass ( $\mu\text{g dry weight.l}^{-1}$ ) and Cd and V concentrations ( $\text{pg dry weight.l}^{-1}$ ) measured in seston and different planktonic fractions collected in the eastern area of the bay of Seine at stations either influenced or not by the Seine river.  $X \pm s$ ; NP = not collected.*

		Biomasse		Cd		V	
		$\mu\text{g s l}^{-1}$		$\text{pg s l}^{-1}$		$\text{pg s l}^{-1}$	
		Influencées	Non influencées	Influencées	Non influencées	Influencées	Non influencées
SESTON TOTAL (MES)	12/89	$263,9 \times 10^3$	1 190	$427 \times 10^3$	900	$35,5 \times 10^6$	$67 \times 10^3 \pm 10^3$
	10/91	N.P.	$650 \pm 50$	N.P.	$1 100 \pm 200$	N.P.	$71 \times 10^3 \pm 9 \times 10^3$
	11/91	$117,8 \times 10^3$	$2 000 \pm 100$	$73 \times 10^3 \pm 7 \times 10^3$	$1 000 \pm 100$	$7 \times 10^6$	$135 \times 10^3 \pm 5 \times 10^3$
	01/92	$17,3 \times 10^3$	$800 \pm 100$	$11,5 \times 10^3 \pm 3 \times 10^3$	$600 \pm 100$	$2 \times 10^6$	$55 \times 10^3 \pm 15 \times 10^3$
FLOULATS	12/89	31	0,8	733,4	11	2 900	12
	10/91	N.P.	$0,3 \pm 0,1$	N.P.	$0,19 \pm 0,06$	N.P.	$3,9 \pm 1,5$
	11/91	4,6	$0,7 \pm 0,5$	$10,57 \pm 1,37$	$1,31 \pm 1,20$	$129,6 \pm 18,1$	$15 \pm 14$
	01/92	6,2	$0,1 \pm 0,1$	$22,29 \pm 3,01$	$0,24 \pm 0,13$	$384,4 \pm 48,1$	$2,5 \pm 2,4$
DIATOMÉES	12/89	N.P.	$6,1 \pm 1,9$	N.P.	$1,7 \pm 1,0$	N.P.	$10,0 \pm 4,4$
	10/91	N.P.	$20,8 \pm 0,6$	N.P.	$4,6 \pm 1,4$	N.P.	$51,4 \pm 17,3$
	11/91	0	$1,5 \pm 1,2$	0	$0,4 \pm 0,3$	0	$9,1 \pm 8,0$
	01/92	0	0	0	0	0	0
ZOOPLANCTON	10/91	N.P.	$11,0 \pm 2,8$	N.P.	$7,6 \pm 1,4$	N.P.	$50,6 \pm 3,9$
	11/91	0,4	$0,7 \pm 0,4$	0,06	$0,7 \pm 0,4$	1	$5,1 \pm 3,7$
	01/92	0,1	$1,8 \pm 0,4$	0,02	$1,1 \pm 0,6$	0,7	$5,0 \pm 3,5$

Tableau 5

Pourcentage dans les différentes fractions planctoniques de la biomasse et des concentrations en Cd et en V par rapport à l'ensemble du seston.

*Biomass and Cd and V concentrations in different planktonic fractions expressed as a percentage of the total seston.*

		Biomasse		Cd		V	
		Influencées	Non influencées	Influencées	Non influencées	Influencées	Non influencées
FLOULATS	12/89	0,011	0,07	0,17	1,22	0,008	0,018
	10/91	N.P.	0,05	N.P.	0,017	N.P.	0,005
	11/91	0,004	0,04	0,01	0,13	0,002	0,011
	01/92	0,04	0,01	0,19	0,04	0,019	0,005
DIATOMÉES	12/89	N.P.	0,51	N.P.	0,19	N.P.	0,01
	10/91	N.P.	3,2	N.P.	0,42	N.P.	0,07
	11/91	0	0,08	0	0,04	0	0,007
	01/92	0	0	0	0	0	0
ZOOPLANCTON	10/91	N.P.	1,7	N.P.	0,69	N.P.	0,07
	11/91	0,0003	0,04	0,006	0,07	$\approx 0$	0,004
	01/92	0,0006	0,23	$\approx 0$	0,18	$\approx 0$	0,009

geables [ $< 0,1\%$  (tab. 5)]. De ce fait, la part prise par les floculats, les diatomées ou le zooplancton dans la concentration en Cd et en V du seston total est très faible, généralement largement inférieure à 1 %, voire négligeable (tab. 5). Cependant, nos estimations n'ont pu être faites qu'au début de l'hiver ou en hiver, période où les diatomées (forme dominante du phytoplancton en baie de Seine) étaient peu présentes (0,5 à 3 % du seston total), voire absentes. L'étude de la participation des compartiments planctoniques dans le cycle biogéochimique de ces deux éléments-traces sera donc poursuivie dans notre laboratoire, durant l'année 1993, et dans des conditions de floraisons de diatomées.

### Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du GDR «Manche» du CNRS. Les auteurs ont particulièrement apprécié l'aide de l'équipage du *Côte de Normandie* lors des prélèvements et le remercient chaleureusement.

Nous remercions également D. Féron et Y. Lefèvre (Commissariat à l'Énergie Atomique/L.E.T.C., Centre de La Hague), qui nous ont facilité l'accès à la microscopie électronique à balayage, ainsi que P. Guéguéniat et P. Germain (L.E.R.F.A./CEA) pour la mise à disposition d'une sonde CTD.

Le manuscrit a pu être bien amélioré grâce aux remarques de M. Roméo et d'un arbitre anonyme que nous remercions.

## RÉFÉRENCES

- Aminot A. (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National d'Exploitation des Océans, Brest, 395 pp.
- Anonyme (1968). Smaller mesozooplankton. Report of working, part n°2. *Monogr. oceanogr. Methodol., U.N.*, 2, 153-159.
- Anonyme (1990). Commission chargée de contrôler l'évolution de la pollution en estuaire et en baie de Seine. Agence de Bassin Seine-Normandie Rouen, 36 pp.
- Avoine J., D. Boust et J.-F. Guillaud (1986). Flux et comportement des contaminants dissous et particulaires dans l'estuaire de la Seine. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer*, 186, 392-411.
- Bougis P. (1974 a). *Écologie du plancton marin. I : Le phytoplancton*. Masson et Cie, Paris, 200 pp.
- Bougis P. (1974 b). *Écologie du plancton marin. II : Le zooplancton*. Masson et Cie, Paris, 200 pp.
- Boust D. (1981). Les métaux traces dans l'estuaire de la Seine et ses abords. *Thèse de Doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Caen, France*, 207 pp.
- Burland K.W., G.A. Knauer et J.H. Martin (1978). Cadmium in northeast pacific waters. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 4, 618-625.
- Collier R. et J. Edmond (1984). The trace element geochemistry in marine biogenic particulate matter. *Prog. Oceanogr.*, 13, 113-199.
- Cossa D. et P. Lassus (1989). Le cadmium en milieu marin, biogéochimie et écotoxicologie. Rapports scientifiques et techniques de l'IFREMER, 16, 111 pp.
- Fisher N.S., M. Bohe et J.L. Teysie (1984). Accumulation and toxicity of Cd, Zn, Ag and Hg in four marine phytoplankton. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.*, 18, 201-213.
- Fisher N.S., C.V. Nolan et S.W. Fowler (1991). Assimilation of metals in marine copepods and its biogeochemical implications. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.*, 71, 37-43.
- Fowler S.W. (1977). Trace elements in zooplankton particulate products. *Nature*, 269, 5623, 51-53.
- Fowler S.W. (1986). Trace metal monitoring of pelagic organisms from the open Mediterranean sea. *Environ. Monit. Assessment*, 7, 59-78.
- Fowler S.W., P. Buat-Ménard, Y. Yokogama, S. Ballestra, E. Holm et H. Van Nguyen (1987). Rapid removal of Chernobyl fallout from Mediterranean surface waters by biological activity. *Nature*, 329, 6134, 56-58.
- Greig R.A., A. Adams et G.R. Wenzloff (1977). Trace metal content of plankton and zooplankton collected from the New York Bight and Long Island Sound. *Bull. environ. Toxicol.*, 18, 1, 3-8.
- Guéguénat P., D. Boust, G. Hémon, J.-C. Philippot, G. Lagarde et C. Heitz (1986). Comportement géochimique du lanthane et de 40 éléments à l'état de traces dans l'estuaire de la Seine. in : La baie de Seine, L. Cabioch, éditeur. Actes de Colloques CNRS-IFREMER, 4, 303-314.
- Guéguénat P., J.-P. Auffret et J.-C. Philippot (1993). Application of gold and other geochemical tracers to study sedimentary processes in the Seine estuary. *Mar. Chem.*, in prep.
- Hardstedt-Roméo M. et F. Laumond (1980). Zinc, copper and cadmium in zooplankton from the N.W. Mediterranean. *Mar. Pollut. Bull.*, 11, 133-138.
- Horowitz A. et B.J. Presley (1977). Trace metal concentrations and partitioning in zooplankton, neuston and benthos from the south Texas outer continental shelf. *Archs environ. Contamin. Toxicol.*, 5, 2, 241-255.
- Jeandel C., M. Caisso et J.-F. Minster (1987). Vanadium behaviour in the global ocean and in the Mediterranean Sea. *Mar. Chem.*, 21, 51-74.
- Lafite R. (1990). Caractérisation et dynamique des particules en suspension dans un domaine marin macrotidal influencé par un estuaire : l'exemple de la baie de Seine orientale (France). *Thèse de Doctorat, Université de Rouen, France*, 294 pp.
- Martin J.M. et G.A. Knauer (1973). The elemental composition of plankton. *Geochim. cosmochim. Acta*, 37, 1639-1653.
- Miramand P. et D. Bentley (1991). Heavy metal concentrations in two biological indicators (*Patella vulgata* and *Fucus serratus*) collected near the french nuclear fuel reprocessing plant of La Hague. *Sci. total Environment*, 111, 135-149.
- Miramand P. et D. Bentley (1992). Concentration and distribution of heavy metals in tissues of two cephalopods *Eledone cirrhosa* and *Sepia officinalis* from the French coast of English Channel. *Mar. Biol.*, 114, 407-414.
- Miramand P., J.-C. Guary et S.W. Fowler (1980). Vanadium transfer in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Mar. Biol.*, 56, 281-293.
- Miramand P., J.-C. Guary et S.W. Fowler (1981). Uptake, assimilation and excretion of vanadium in the shrimp *Lysmata seticaudata* (Risso) and the crab *Carcinus maenas* (L.). *J. expl. mar. Biol. Ecol.*, 49, 267-287.
- Miramand P., S.W. Fowler et J.-C. Guary (1982). Comparative study of vanadium biokinetic in three species of echinoderms. *Mar. Biol.*, 67, 127-134.
- Ridout P.S., P.S. Rainbow, H.S.J. Roe et H.R. Jones (1989). Concentrations of V, Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, As and Cd in meso-pelagic crustaceans from the North East Atlantic Ocean. *Mar. Biol.*, 100, 465-471.
- Roméo M. (1985). Contribution à la connaissance des métaux-traces (Cd, Cu, Hg, Pb, Zn) dans l'écosystème marin au niveau du plancton. Approches analytiques et expérimentales. *Thèse de Doctorat d'État, Université de Nice, France*, 172 pp.