

LES RADIONUCLEIDES EMETTEURS GAMMA DANS LES SEDIMENTS DE L'ESTUAIRE DE L'ORNE PENDANT LES ANNEES 1977-1983.

AUFRET J.P. *, GUEGUENIAT P. **, LEPY M.C. ***, PATRY J.P. ***, SAUR H. ***.

INTRODUCTION

La Baie de Seine, dans laquelle se jettent l'Orne et la Seine, est soumise à l'impact des rejets de l'usine de retraitement des combustibles irradiés de La Hague, d'une manière décrite par Germain *et al.* (1979), Lepy (1982) pour le milieu biologique, Guéguéniat, Le Hir (1980) pour les eaux, Guéguéniat *et al.* (1976) (1981) pour les sédiments.

Le présent travail vise un triple objectif :

Effectuer un suivi régulier de l'évolution de la radioactivité artificielle gamma sur les sédiments et les suspensions de l'estuaire de l'Orne, en essayant de différencier les parts revenant aux rejets industriels et aux retombées atmosphériques consécutives aux explosions nucléaires.

Comparer les résultats obtenus dans cet estuaire avec ceux relevés dans les sédiments du cap Lévy, de la rade de Cherbourg, des ports de Saint-Vaast et de Goury, résultats utilisés par Guéguéniat *et al.* (1979) pour suivre l'évolution de la radioactivité artificielle dans les sédiments du Nord Cotentin.

Utiliser la radioactivité artificielle pour étudier le fonctionnement de l'estuaire de l'Orne.

1. SEDIMENTS ETUDIES

1.1. Origine :

Le choix des échantillons et les conditions de prélèvement, vu leur importance fondamentale pour les interprétations ou les comparaisons du résultat des mesures (Foulquier *et al.*, 1982), ont été soigneusement définis pour cette étude.

Les points de prélèvement ont été répartis sur le site où les conditions de sédimentation sont variées, afin qu'un éventuel facteur hydrosédimentaire de concentration de la radioactivité n'échappe pas à notre investigation.

L'estuaire de l'Orne est constitué par la juxtaposition de trois unités géographiques, comprenant d'aval vers l'amont (fig. 1) :

1.1.1. L'avant-port de Ouistreham :

Site totalement aménagé avec un chenal entretenu par dragage et des aires latérales d'envasement. Une trappe à suspensions y a été installée dans laquelle l'eau se renouvelle à chaque pleine mer. L'avant-port subissant peu

* Laboratoire de géologie marine, Université de Caen, 14032 Caen Cedex.

** C.E.A., Laboratoire de radioécologie marine, Département de protection, B.P. 270, 50107 Cherbourg, France.

*** Laboratoire de Physique Corpusculaire, Université de Caen, 14032 Caen Cedex.

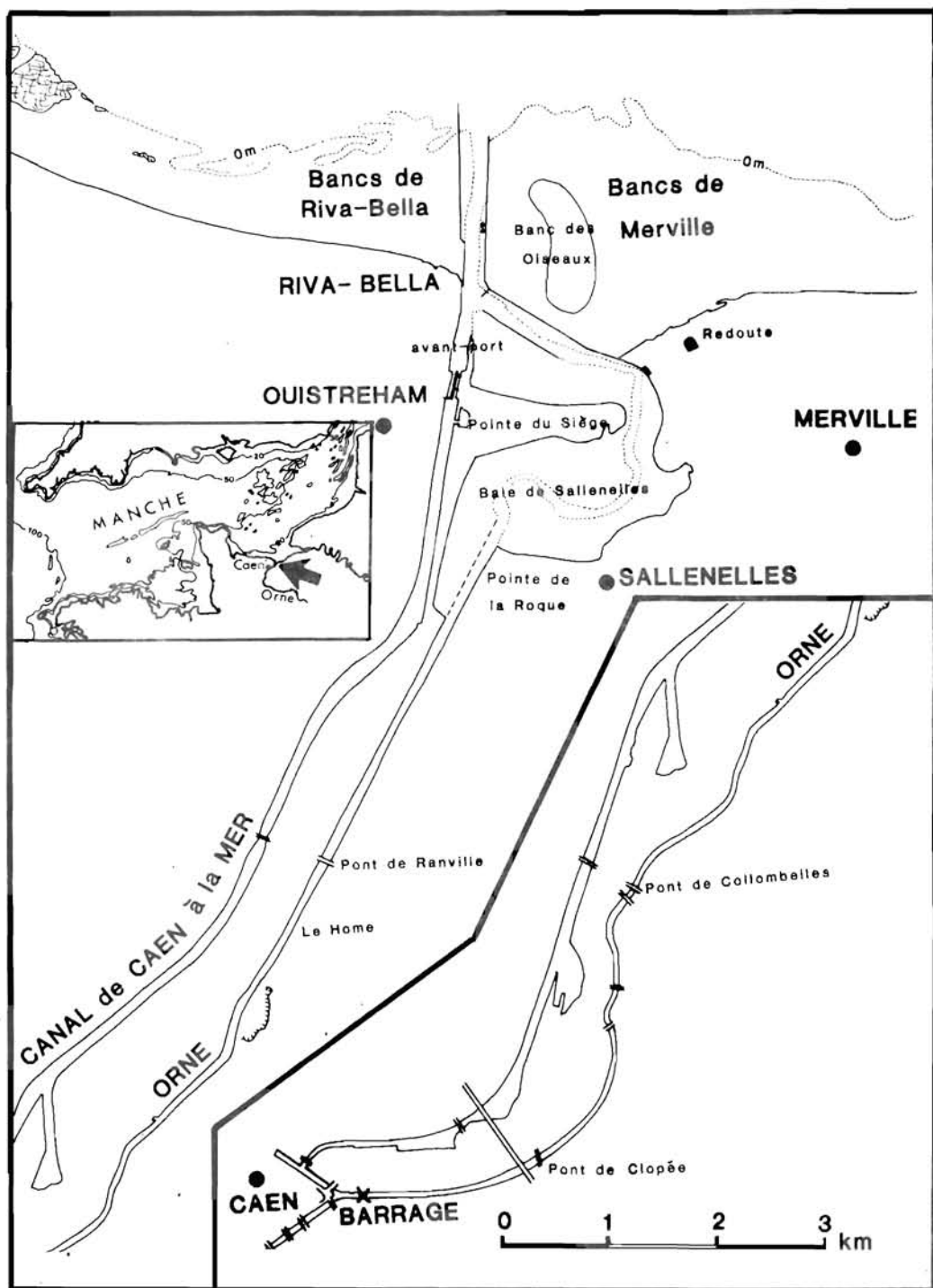


Figure 1.- Estuaire de l'Orne : schéma de situation.

l'impact des eaux douces, ce dispositif permet l'étude des suspensions d'origine marine.

1.1.2. La baie de Sallenelles :

C'est la partie externe et non aménagée de l'estuaire de l'Orne. Dans cette zone, les sédiments sont prélevés, en rive gauche, dans une caisse de décantation nettoyée à chaque prélèvement et, en rive droite, sur une vasière.

1.1.3. L'Orne canalisée de la pointe de la Rocque au barrage de Caen :

Ce tronçon est complètement aménagé en canal calibré à berges pentées originellement étayées par des empièremments. Actuellement, ces berges sont en cours de dégradation sous l'action de loupes de glissement. Elles entraînent dans le chenal les argiles bleues dans lesquelles est creusé celui-ci.

Cet estuaire amont est directement soumis à l'influence des eaux douces de l'Orne. Le débit du fleuve est contrôlé par le jeu des vannes du barrage de Caen. Celui-ci arrête également la remontée de la marée.

- En étiage, le barrage étant fermé, le mélange de l'eau de mer et de l'eau douce de surverse s'effectue donc artificiellement et brutalement à Caen.
- En crue, l'eau de mer est repoussée jusqu'à la baie de Sallenelles par la chasse des eaux douces non retenues par le barrage.

Fily (1967) et Dubrulle (1982) ont décrit la structure hydrologique de l'estuaire et donné des sections longitudinales représentant l'évolution des principaux paramètres de l'environnement au cours du cycle de marée et du cycle saisonnier.

1.2. Composition :

Nous avons cherché à prélever uniquement des vases fines et à répéter les prélèvements strictement au même endroit afin de faire intervenir aussi peu que possible les fluctuations du paramètre granulométrique sur les taux de comptage. La composition granulométrique et minéralogique des sédiments de l'Orne est connue depuis l'étude de Fily (1967).

En moyenne, les échantillons comptés sont constitués de 30% d'argile (<2 μm) et 50% de silts (2 à 20 μm) dans l'avant-port et l'estuaire amont. En baie de Sallenelles, les sédiments prélevés sont légèrement plus grossiers avec 25% d'argiles, 45% de silts, le reste étant constitué de sablons.

La teneur en calcaire est très homogène à 30 \pm 5%. L'analyse des minéraux argileux montre la présence surtout d'illite, kaolinite, smectite et chlorite dans le rapport moyen 3,5 I + 3 K + 2 S + 1,5 C. La teneur en matière organique est de 3 à 5%.

2. MATERIEL ET METHODES

Le détecteur utilisé est une diode au germanium lithium de 60 cm³. Le système de détection et la méthode expérimentale utilisés ont été décrits ailleurs (Damoy, 1978; Damoy *et al.*, 1980). Le tableau I donne les activités minimales détectables par le dispositif de mesure pour les radioéléments artificiels étudiés.

3. RESULTATS - ORIGINE DES RADIONUCLÉIDES ARTIFICIELS

3.1. Radionucléides naturels :

En ce qui concerne les radionucléides naturels émetteurs gamma, les activités massiques pour le ²⁰¹Tl (chaîne du ²⁸⁶Th), le ²¹⁴Bi (chaîne du ²³⁸U) et le ⁴⁰K, ont été mesurées dans chaque échantillon. Ces activités sont de l'ordre de 0,12pCi.g⁻¹ pour ²⁰⁸Ti, de 0,60pCi.g⁻¹ pour ²¹⁴Bi et de 11pCi.g⁻¹ pour ⁴⁰K.

Ces valeurs sont très stables dans l'échantillonnage en raison de la

TABLEAU DES MESURES

LIEU DE PRELEVEMENT	DATE DE PRELEVEMENT	^{106}Ru + ^{106}Rh	^{144}Ce + ^{144}Pr	^{137}Cs	^{125}Sb
TIRAGE RIVE GAUCHE NOZAL	1.12.1977	2,1	0,94	1,22	
	5.10.1979	10,04	Tr	1,04	0,17
	29.09.1980	5,03		0,92	
	27.03.1981	3,2		0,83	
	17.06.1982	5,3		0,8	0,17
	2.06.1983			0,25	
	18.10.1983	4		0,7	0,11
POINTE DU SIEGE TRAPPE-BATEAU	1.12.77	1,42		0,36	
	30.10.1978	4,16		0,96	0,19
	4.05.1979	11,08		0,86	
	5.10.1979	7,92		0,86	0,28
	10.03.1980	5,95		0,81	0,20
	29.09.1980	3,95		0,6	0,21
	27.03.1981	3,82	1,52	0,75	0,16
	21.01.1982	4,83	1,16	0,9	0,23
	17.06.1982	5,32	0,48	0,99	0,17
	18.10.1983	4,9		0,74	0,11
	SALLENELLES BAIE	10.03.1980	9,29		1,23
29.09.1980		3,39		0,92	0,14
27.03.1981		6,14		0,97	0,25
17.06.1982		5,02	0,44	1,01	0,14
2.06.1983		8,33		1,22	0,19
18.10.1983					
OUISTREHAM PORT	30.10.1978	7,24	1,76	1,26	
	4.05.1979	16,2	1,36	1,22	0,31
	5.10.1979	9,76		0,97	0,15
	29.09.1980	5,96		0,85	0,15
	31.10.1980	6,38		0,86	
	27.03.1981	6,87		0,88	0,21
	21.01.1982	8,44	1,22	1,08	0,21
	17.06.1982	6,82	0,72	1,00	0,23
	2.06.1983	7,29		0,99	0,15
	18.10.1983	4,96		0,93	0,23
OUISTREHAM TRAPPE	30.10.1978	5,24	1,94	1,06	0,15
	4.05.1979	18,1	1,64	1,21	0,24
	5.10.1979	8,1	0,88	0,82	0,13
	10.03.1980	9,98		1,08	
	29.09.1980	6,44		0,84	
	27.03.1981	7,72	0,52	0,94	0,34
	21.01.1982	5,18	1,06	0,82	0,17
	17.06.1982	8,5	1,25	1,1	0,17
	2.06.1983	7,2		0,86	
	18.10.1983	5,2		0,76	

stabilité de la composition et de la granulométrie des prélèvements effectués à des dates différentes. Dans une mesure durant 22 h l'activité des radionucléides naturels dans le spectre de bruit de fond de notre appareillage est également stable.

Elément	Energie E (KeV) du photon détecté	A _m (pCi/Kg)	Période
¹⁴⁴ Ce	133,5	170	284 J
¹⁴¹ Ce	145,4	40	23 J
¹²⁵ Sb	427,9	100	2,7 A
¹³⁴ Cs	604,7	30	2,1 A
¹⁰⁶ Ru	621,6	350	367 J
¹¹⁰ Ag	657,7	40	253 J
¹³⁷ Cs	661,6	40	30 A
⁹⁵ Zr	756,4	70	65,2 J
⁹⁵ Nb	765,8	40	35 J
⁵⁴ Mn	834,8	40	303 J
⁶⁰ Co	1332,5	40	5,3 J

Tableau 1.- Activités minimales détectables par le dispositif de mesure.

Les valeurs de A_m données dans le tableau ont une précision de l'ordre de 6%. Ces résultats s'appliquent à des mesures d'une durée de 22 heures faites sur des échantillons mis en forme dans la géométrie indiquée. Dans ces conditions, les corrections d'absorption sont négligeables.

Un pic dans le spectre, dû à un photon d'énergie E n'est pas conservé si l'incertitude sur la mesure de sa surface est supérieure à 45%.

3.2. Radionucléides artificiels :

Le ¹⁰⁶Ru + ¹⁰⁶Rh : ce radionucléide est présent dans tous les échantillons. Les activités détectées sont habituellement de l'ordre de 6 pCi.g⁻¹. Elles diminuent lorsque, dans le cours de l'Orne, la distance à la mer augmente mais elles peuvent conserver à Caen des valeurs significatives (2pCi.g⁻¹). Une valeur maximale (10 à 18 pCi/g) a été très nettement observée en tous les points de prélèvements marins durant mai 1979 suivie d'une diminution - supérieure à la seule décroissance radioactive - qui se poursuit jusqu'en septembre 1980 (3 à 6 pCi/g). Au-delà on observe une légère augmentation avec un maximum qui se placerait vers juin 1982 (5,3 à 8,5 pCi/g). Cette évolution entre 1977 et 1980 est tout à fait comparable à celle observée par Guéguéniat *et al.* (1981) au cap Levy avec en particulier un maximum de 92 pCi/g mis en évidence le 16 mai 1979. Les évolutions des activités dues au ¹⁰⁶Ru + ¹⁰⁶Rh dans les sédiments marins prélevés au cap Levy et à la pointe du Siège entre 1977 et 1983 sont reportées sur la figure 2.

¹³⁷Cs : le Césium 137 est également présent dans tous les échantillons étudiés, avec des activités variant de 0.200 à 1.300 pCi.g⁻¹ (le plus souvent, activité de l'ordre de 0.9 pCi.g⁻¹). La distribution du ¹³⁷Cs présente une grande stabilité tant dans l'espace que dans le temps: la teneur moyenne observée entre 1979 et 1982 est de 0.94 pCi.g⁻¹ ce qui représente une valeur 1.6 fois supérieure à celle du cap Levy.

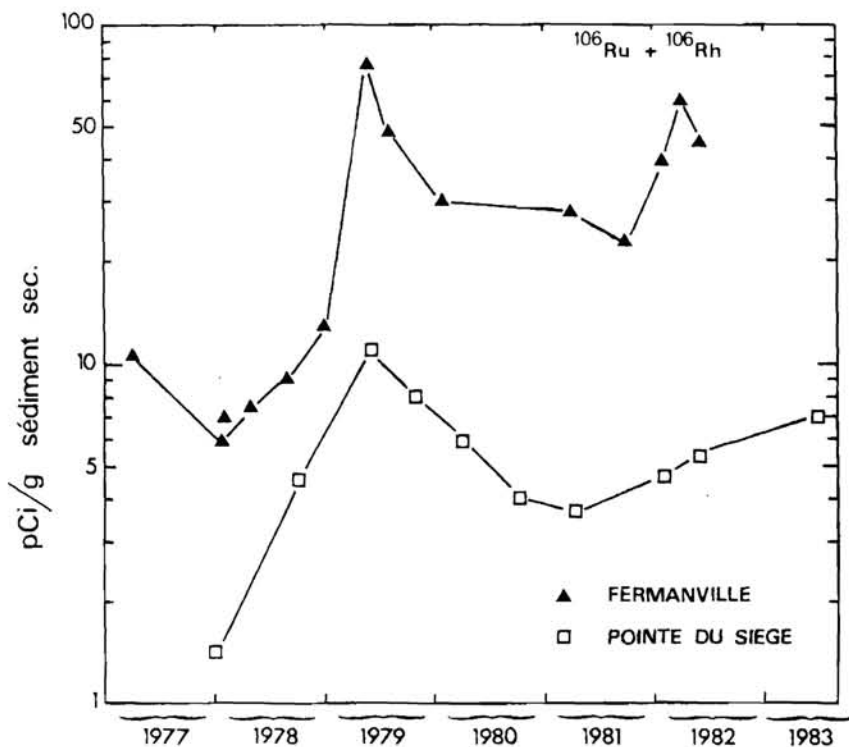


Figure 2.- Evolution de l'activité massique due au $^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$ dans les sédiments prélevés au cap Levy et à la pointe du Siège entre 1977 et 1983.

^{125}Sb : L'antimoine est détecté dans trois échantillons sur quatre avec des activités inférieures à 0.5 pCi.g^{-1} et en moyenne égales à 0.2 pCi.g^{-1} .

^{125}Sb est détecté plus fréquemment dans les échantillons prélevés près de la mer, et de façon plus régulière dans les prélèvements effectués depuis 1979. La valeur moyenne, entre 1979 et 1982, est de $0,2$ c'est-à-dire 2,6 fois moins élevée que celle du cap Levy.

^{144}Ce : le Cérium n'apparaît pas dans tous les échantillons. Son activité maximale est de 0.97 pCi.g^{-1} obtenue en 1978. Son comportement en fonction du temps est assez net : présent dans quelques échantillons en 1979, il disparaît complètement en 1980 pour revenir progressivement et être présent dans tous les échantillons de 1982. En 1983, sa présence est très épisodique.

$^{95}\text{Zr} - ^{95}\text{Nb}$: Zirconium-Niobium apparaissent dans un échantillon sur trois. L'activité maximale du ^{95}Zr est $1,26 \text{ pCi.g}^{-1}$. Absents des échantillons jusqu'en mars 1981, ils apparaissent à cette date et leurs activités diminuent pour ne subsister qu'à l'état de trace en 1982. On ne peut mettre en évidence le rôle de la position géographique des échantillons.

Dans de rares échantillons nous avons détecté de plus ^{103}Ru , ^{60}Co , ^{110}Ag et ^{134}Cs .

3.3. Interprétations des mesures :

Pour interpréter ces mesures et en particulier pour préciser la provenance de ces radionucléides (retombées atmosphériques ou rejets dans le milieu marin des effluents liquides de l'usine de retraitement des combustibles irradiés de la Hague), nous avons effectué des mesures complémentaires dans des

algues, des sédiments de l'Orne à l'amont de Caen, donc non soumis à l'influence marine et sur des végétaux terrestres (Cosson *et al.*, 1983, Lepy, 1982).

Le ^{106}Ru est entièrement d'origine marine et provient des rejets de la Hague. Présent dans tous nos échantillons de sédiment marin, il est systématiquement absent des sédiments prélevés dans l'Orne en amont de Caen et dans tous les végétaux terrestres. Les activités mesurées dans les sédiments marins sont 3 à 4 fois supérieures à celles dues uniquement aux retombées atmosphériques.

L'activité maximale de mai 1979 (fig. 2) correspond bien, comme à Fermanville, à une augmentation de ^{106}Ru dans les rejets de la Hague ou à une modification de forme physico-chimique, dans les effluents industriels, de ce radionucléide (Guéguéniat, Gandon, 1977). Il est intéressant de constater la coïncidence dans le temps des pics d'activité au cap Levy et à l'embouchure de l'Orne.

Le ^{106}Ru est aussi présent dans tous nos échantillons d'algues prélevées sur les côtes du Calvados et les activités décroissent lorsqu'on s'éloigne de la Hague (5,4 pCi.g⁻¹ à Goury, 1 pCi.g⁻¹ à Luc-sur-Mer, 0,6 pCi.g⁻¹ au Havre).

Les conclusions concernant le ^{144}Ce sont plus difficiles à établir. Ce radionucléide n'apparaît pas dans tous les échantillons. Son activité a été maximale (0,97 pCi.g⁻¹) pour une période (oct. 78) au cours de laquelle les rejets de la Hague ont été les plus faibles (0,85 pCi.g⁻¹ en août 78 au cap Levy). A la même période sur des stations non soumises à des rejets industriels, on atteignait 0,9 pCi/g en Baie de Bourgneuf, 1,75 pCi/g dans le golfe du Morbihan, 1,45 pCi/g sur le littoral vendéen. En 1982, l'influence de la Hague a atteint en ^{144}Ce un maximum pour la période d'étude; la répercussion a été nette au cap Levy (15 pCi/g), très atténuée sinon nulle à l'embouchure de l'Orne (0,46 pCi/g en valeur moyenne). Il est par conséquent très difficile de conclure sur le rôle, à l'embouchure de l'Orne, du ^{144}Ce d'origine industrielle d'autant plus qu'il faut ajouter, qu'entre 1978 et 1982, les teneurs moyennes en ^{144}Ce dans la baie de Bourgneuf (zone de référence pour des retombées atmosphériques) ont présenté une évolution comparable à celle de la partie marine de l'Orne 0,59 pCi/g en 1978, 0,29 pCi/g en 1982. L'hypothèse de Guéguéniat *et al.* (1979) trouve là un argument; le ^{144}Ce , de forme particulaire ou colloïdale rejeté par l'usine de la Hague, migre préférentiellement vers l'ouest.

Le ^{137}Cs est présent dans tous les échantillons de sédiments marins, d'algues (Cosson *et al.*, 1983) et, avec des activités moindres, dans la quasi totalité des échantillons non soumis à l'influence marine. On peut lui attribuer une double origine: rejets de la Hague, retombées atmosphériques. Ces deux origines auraient une contribution sensiblement égale.

^{134}Cs : Le ^{134}Cs absent des retombées atmosphériques constitue un traceur des rejets industriels. Un seul résultat concernant ce radionucléide a pu être obtenu: 0,2 pCi/g en juin 1982 à Sallenelles (précision de 50% dans la mesure) pour un rapport isotopique $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ compris entre 37 et 110. Entre juin 1981 et juin 1982, les mêmes rapports isotopiques entre les mêmes radionucléides étaient de 6; on retrouve ce résultat dans les Fucus (Lepy, 1982) recueillis à Goury le 11 décembre 1981: ^{137}Cs : 0,36 pCi/g; ^{134}Cs : 0,06 pCi/g; $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ = 6.

Cette différence des rapports isotopiques entre Goury et Sallenelles indique pour ce dernier site pour l'échantillon impliqué une contribution non négligeable des retombées atmosphériques dans les résultats.

^{103}Ru : il n'est apparu que dans deux échantillons en mars 1981 à Caen (0,59 pCi/g) et à Ouistreham (0,23 pCi/g). Pour ces deux mêmes échantillons, les teneurs en ^{95}Zr étaient respectivement de 1,26 et 0,49 d'où un rapport constant $^{95}\text{Zr}/^{103}\text{Ru}$ = 2,14 à Caen et 2,13 à Ouistreham équivalent à celui observé en 1977 par Guéguéniat *et al.* (1979) sur les sédiments des bandes

côtières françaises de l'Atlantique, Manche, Baie de Seine et mer du Nord.

Comme l'on fait ces auteurs en constatant que le ^{103}Ru était un marqueur des retombées, nous pouvons également conclure qu'il en est de même pour le ^{95}Zr .

Enfin le ^{125}Sb est détecté dans les sédiments marins avec des activités 2 à 3 fois supérieures à celles dues aux retombées : son origine est essentiellement due aux rejets de la Hague.

4. DISCUSSION. IMPLICATIONS SEDIMENTOLOGIQUES DES RESULTATS.

Jeandel *et al.* (1980) ont étudié au cours de l'hiver 1979-1980 la distribution des radionucléides artificiels dans les grands estuaires français; la comparaison des résultats pour ^{137}Cs - ^{106}Ru - ^{125}Sb (pCi/g) avec l'Orne et la Seine montrent l'impact des rejets industriels.

	SEINE	LOIRE	GIRONDE	ORNE
Cs	1.06 ± 0.47	0.56 ± 0.11	0.45 ± 0.09	0.8 1.8
Ru	3.4 ± 1.6			4. 4.5
Sb	0.4	0.14	0.008	0.13 0.24

Au point de vue de l'irradiation externe un lit de sédiments ayant une activité de 25 pCi/g (ce qui correspond environ à l'activité maximale mesurée en mai 1979) entraînerait, par l'émission gamma et beta, à son contact un débit de dose absorbée d'environ 1,5 millirad.an⁻¹, ce qui est faible en comparaison de l'irradiation naturelle (150 à 200 mrad.an⁻¹, Ancellin, 1979).

Les taux d'activité mesurés sont en moyenne moins élevés dans l'estuaire sans qu'une différence de composition granulométrique soit imputable. De plus, le sens de variation au cours du temps est toujours parallèle dans l'Orne et dans l'avant-port. On peut en conclure que les sources du signal radioactif sont les mêmes dans ces deux environnements; elles sont surtout d'origine marine comme le montrent les activités plus élevées mesurées à Ouistreham. Les sédiments marins remontent dans l'estuaire où ils subissent une dilution d'origine tellurique, par les suspensions apportées par la rivière, surtout en période de crue. Ces résultats sont en accord avec les observations sédimentologiques de Fily (1967) et Dubrulle (1982).

Les échantillons de l'estuaire amont, en particulier ceux prélevés à proximité du barrage de Caen, sont très intéressants par les brusques variations qu'ils montrent. En période d'étiage de l'Orne, les taux de comptage sont ici très voisins de la moyenne générale dans l'embouchure. Dans ce cas, l'échantillon est donc un mélange des vases que l'onde de marée montante a rencontrées en aval dans l'estuaire et qu'elle a remises en suspension et poussées contre les vannes.

En période de crue de l'Orne, ces sédiments sont totalement dépourvus d'éléments de période moyenne (^{106}Ru et ^{144}Ce) leur activité en ^{137}Cs restant peu variable. Dans son état actuel d'aménagement, l'estuaire de l'Orne passe donc par deux stades où le bilan du fonctionnement sédimentaire est totalement inverse ainsi que le montre la simple observation régulière d'un cycle annuel :

- En étiage, le barrage de Caen est fermé et l'apport d'eau douce dans l'estuaire est pratiquement négligeable en raison des prélèvements effectués à l'amont pour l'alimentation en eau des populations ou du canal maritime. Il se dépose alors, en particulier entre le barrage et le pont de Clopée, une couche de crème de vase qui peut dépasser 1 m d'épaisseur dans laquelle les activités mesurées en Cérium et Ruthénium démontrent l'origine marine bien que diluée par la reprise de sédiments déposés en aval dans l'estuaire.
- En crue, les vannes sont ouvertes car le débit de la rivière peut dépasser 150 m³/s. L'effet de chasse ainsi produit érode et pousse vers l'aval cette

masse vaseuse qui peut même être expulsée hors de l'estuaire à basse mer. Nous avons cherché à quantifier ce volume par la pose de bornes sur une surface de vase de 11 000 m² située en rive gauche à proximité aval du barrage de Caen. L'effet de chasse de la crue du 15 au 20 janvier 1984 a ainsi pu être mesuré; 45 cm de vase ont été érodés en moyenne sur la vase surveillée soit un volume de 4 950 m³ pour cette seule crue. Après les crues, les sédiments prélevés à proximité du barrage, sont compactés, présentent de nombreuses gouges d'érosion et ne contiennent que ¹³⁷Cs. Ils peuvent donc être considérés comme "fossiles". Ce résultat est difficile à concilier avec les mesures de Dubrulle (1982) qui observe des flux résiduels de suspensions dirigés vers l'aval quelles que soient les conditions de marnage et débit du cycle annuel de l'estuaire (p. 32 et 145). Ces vases expulsées en mer se déposent à l'ouest du chenal d'accès de l'avant-port de Ouistreham (LCHF 1976; Dubrulle, 1982). L'étude du delta de marée de l'Orne au sonar à balayage latéral (d'Ozouville *et al.*, 1985), montre que cette vase, qui se dépose à l'ouest de la sortie de l'estuaire par une profondeur de 6 à 9 m, constitue des voiles d'envasement discontinus repris et dilacérés par les houles hivernales. Cette disposition est l'équivalent pour un estuaire macrotidal, du modèle de prodelta microtidal proposé par l'école de Perpignan (Aloisi *et al.*, 1977) pour les exutoires fluviaux méditerranéens.

Le rôle déterminant de l'estuaire amont au voisinage du barrage de Caen, comme site d'accumulation temporaire durant l'étiage d'un épais bouchon de "crème de vase", est un apport nouveau de nos mesures de radioactivité artificielle à la connaissance de la dynamique sédimentaire de l'estuaire. La chasse brutale de cette vase molle lors des crues de l'Orne, est certainement à l'origine des apports en masses de vases à forte teneur en eau dans l'avant-port de Ouistreham lors des crues. Cet envasement atteindrait (LCHF, 1976) un taux annuel moyen de 2 mètres.

- Aloisi J.C., Auffret G.A., Auffret J.P., Barusseau J.P., Hommeril P., Larsonneur C. & Monaco A. (1977).- Essai de modélisation de la sédimentation annuelle sur les plateaux continentaux français. Bull. Soc. Géol. Fr., 19, (2), p. 183-195.
- Ancellin J. & Bovard P. (1979).- Données radioécologiques concernant le site marin de la Hague. C.R. du 3ème colloque de l'AEN Tokyo, 1-5 octobre 1979.
- Cosson J., Lepy M.C., Patry J.P. & Saur H. (1983).- Etude des radioéléments artificiels émetteurs gamma, présents dans les algues des côtes du Calvados pendant les années 1980-1982. Bot. Mar., t. 27, p. 301-307.
- Damoy F. (1978).- Mise en oeuvre d'une chaîne Ge-Li de spectrométrie de haute résolution entre 100 KeV et 2 MeV. Réalisation du traitement automatique de l'information par un ordinateur en ligne. Application à l'identification et à la mesure de très faibles activités de radioléments gamma artificiels dans les sédiments du littoral Bas-Normand. Thèse de 3ème cycle, Univ. Caen, 114 p.
- Damoy F. & Patry J.P. (1980).- Ensemble de mesures des faibles doses de radioéléments émetteurs gamma. Nucl. Instruments and Methods 173 (1980) 311-316.
- Dubrulle L. (1982).- Etude hydrosédimentaire de l'estuaire de l'Orne et de ses abords. Thèse de 3ème cycle. Univ. Caen, 212 p.
- Fily G. (1967).- Etude sédimentologique et hydrologique de l'estuaire de l'Orne et du littoral adjacent. Thèse de 3ème cycle. Univ. Caen, 128 p.

- Foulquier L. & Philippot J.C. (1982).- Métrologie de l'environnement. Echantillonnage et préparation d'organismes d'eau douce. Mesure de radionucléides émetteurs gamma. Rapport Commis. Energie Atom. R-5164.
- Germain P., Masson M. & Baron Y. (1979).- Etude de la répartition de radionucléides émetteurs gamma chez des indicateurs biologiques littoraux des côtes de la Manche et de la mer du Nord, de février 1976 à février 1978. Rapport Commis. Energie Atom. R-5017.
- Guéguéniat P., Baron Y. & Auffret J.P. (1976).- Note sur l'évolution de la radioactivité artificielle dans les sédiments de la Manche, pendant les années 1971-1975. Rapport Commis. Energie Atom. R-4739.
- Guéguéniat P. & Gandon R. (1977).- Le Ruthénium. Cas particulier du devenir d'un radionucléide dans le milieu marin. Recueil des communications du 4ème Congr. Intern. Assoc. Intern., Radiopr. Paris, avril 1977, 255-258.
- Guéguéniat P., Auffret J.P. & Baron Y. (1979).- Evolution de la radioactivité artificielle gamma dans des sédiments littoraux de la Manche pendant les années 1976-1977-1978. Océanol. Acta 1979, vol. 2, n° 2.
- Guéguéniat P. & Le Hir P. (1980).- Données nouvelles sur la dispersion des radionucléides en Manche. Internat. Atomic. Energy Agency, Vienne, 1980.
- Guéguéniat P., Auffret J.P. & Ballada J. (1981).- Sediments as indicators of artificial radionuclide distribution west of la Hague. International Atomic Energy Agency. Vienna 1981.
- Jeandel C., Martin J.M. & Thomas A.J. (1981).- Les radionucléides artificiels dans les estuaires français. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1981.
- L.C.H.F. (1976).- Estuaire de l'Orne et accès au port de Ouistreham, synthèse générale des études effectuées. Rapport D.D.E., Calvados, 35 p.
- Lepy M.C. (1982).- Etude sur les radioéléments artificiels, émetteurs gamma, présents dans des sédiments et des algues de la baie de l'Orne, pendant les années 1980-1982. Thèse de 3ème cycle. Univ. Caen, 105 p.
- d'Ozouville L. & Auffret J.P. (1986).- Répartition et évolution actuelle des sédiments superficiels en Baie de Seine en utilisant un sonar à balayage latéral. Océanol. Acta (à paraître).