

C.50

**NOTE SUR L'EVOLUTION
DE LA RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE
DANS LES SEDIMENTS DE LA MANCHE
PENDANT LES ANNEES 1971 - 1975**

par

*Pierre GUEGUENIAT, Yves BARON,
Jean-Paul AUFFRET*

DEPARTEMENT DE PROTECTION

Centre de la Hague

Rapport CEA-R-4739

PLAN DE CLASSIFICATION DES RAPPORTS ET BIBLIOGRAPHIES CEA

(Classification du système international de documentation nucléaire SIDON/INIS)

A 11	Physique théorique	C 30	Utilisation des traceurs dans les sciences de la vie
A 12	Physique atomique et moléculaire	C 40	Sciences de la vie : autres études
A 13	Physique de l'état condensé	C 50	Radioprotection et environnement
A 14	Physique des plasmas et réactions thermonucléaires		
A 15	Astrophysique, cosmologie et rayonnements cosmiques	D 10	Isotopes et sources de rayonnements
A 16	Conversion directe d'énergie	D 20	Applications des isotopes et des rayonnements
A 17	Physique des basses températures		
A 20	Physique des hautes énergies	E 11	Thermodynamique et mécanique des fluides
A 30	Physique neutronique et physique nucléaire	E 12	Cryogénie
		E 13	Installations pilotes et laboratoires
B 11	Analyse chimique et isotopique	E 14	Explosions nucléaires
B 12	Chimie minérale, chimie organique et physico-chimie	E 15	Installations pour manipulation de matériaux radioactifs
B 13	Radiochimie et chimie nucléaire	E 16	Accélérateurs
B 14	Chimie sous rayonnement	E 17	Essais des matériaux
B 15	Corrosion	E 20	Réacteurs nucléaires (en général)
B 16	Traitement du combustible	E 30	Réacteurs nucléaires (types)
B 21	Métaux et alliages (production et fabrication)	E 40	Instrumentation
B 22	Métaux et alliages (structure et propriétés physiques)	E 50	Effluents et déchets radioactifs
B 23	Céramiques et ciments		
B 24	Matières plastiques et autres matériaux	F 10	Economie
B 25	Effets des rayonnements sur les propriétés physiques des matériaux	F 20	Législation nucléaire
B 30	Sciences de la terre	F 30	Documentation nucléaire
		F 40	Sauvegarde et contrôle
C 10	Action de l'irradiation externe en biologie	F 50	Méthodes mathématiques et codes de calcul
C 20	Action des radioisotopes et leur cinétique	F 60	Divers

Rapport CEA-R-4739

Cote-matière de ce rapport : C.50

DESCRIPTION-MATIERE (mots clefs extraits du thesaurus SIDON/INIS)

en français : BERYLLIUM 07 - POTASSIUM 40 - MANGANESE 54 - COBALT 58 - COBALT 60 - ZINC 65 - ZIRCONIUM 095 - NIOBIUM 095 - RUTHENIUM 103 - RUTHENIUM 106 - ARGENT 110 - ANTIMOINE 125 - CESIUM 134 - CESIUM 137 - CERIUM 141 - CERIUM 144 - DECHETS RADIOACTIFS - USINES DE RETRAITEMENT DU COMBUSTIBLE - EAU DE MER - SEDIMENTS - MIGRATION DES RADIONUCLÉIDES - CONTAMINATION - RADIOACTIVITE - CONCENTRATION RADIOECOLOGIQUE.

en anglais : BERYLLIUM 7 - POTASSIUM 40 - MANGANESE 54 - COBALT 58 - COBALT 60 - ZINC 65 - ZIRCONIUM 95 - NIOBIUM 95 - RUTHENIUM 103 - RUTHENIUM 106 - SILVER 110 - ANTIMONY 125 - CESIUM 134 - CESIUM 137 - CERIUM 141 - CERIUM 144 - RADIOACTIVE WASTES - FUEL REPROCESSING PLANTS - SEAWATER - SEDIMENTS - RADIONUCLIDE MIGRATION - CONTAMINATION - RADIOACTIVITY - RADIOECOLOGICAL CONCENTRATION.

- Rapport CEA-R-4739 -

Centre de la Hague
Département de Protection
Service d'Etudes et de Recherches sur l'Environnement
Laboratoire de Radioécologie Marine

NOTE SUR L'EVOLUTION DE LA RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE
DANS LES SEDIMENTS DE LA MANCHE PENDANT LES ANNEES 1971 - 1975

par

Pierre GUEGUENIAT, Yves BARON*, Jean-Paul AUFFRET**

avec la collaboration de

Yves LE MOSQUET*, Jean LE GALL*, Jean-Marie JOUANNEAU*,
René CAPRON*, Pierre FERAL*, Pierre GERMAIN

* Groupe d'Etudes Atomiques, Marine Nationale - Cherbourg

** Département de Géologie, Faculté des Sciences - Caen

- Mars 1976 -

CEA-R-4739 - GUEGUENIAT Pierre, BARON Yves, AUFFRET Jean-Paul
avec la collaboration de LE MOSQUET Yves, LE GALL Jean, JOUANNEAU
Jean-Marie, CAPRON René, FERAL Pierre, GERMAIN Pierre

NOTE SUR L'EVOLUTION DE LA RADIOACTIVITE ARTIFICIELLE DANS LES
SEDIMENTS DE LA MANCHE PENDANT LES ANNEES 1971-1975

Sommaire.- La radioactivité des sédiments du littoral de la Manche et de l'Atlantique a été mesurée par comptage sur sonde germanium-lithium, des fractions globales et fines d'échantillons prélevés pendant les années 1971 à 1975. L'influence de l'usine de traitement de combustibles irradiés de La Hague, point central de la zone étudiée, n'a pu être clairement mise en évidence qu'à partir de 1974 d'une part sur la fraction globale au sujet de ^{137}Ru , ^{92}Zr , ^{125}Sb , ^{140}Ce et d'autre part sur les fractions inférieures à 28 μm au sujet de ^{137}Ru , ^{92}Zr , ^{125}Sb , ^{140}Ce , ^{137}Zn , ^{110}Ag , ^{134}Cs , ^{154}Eu . Dans le cas où ^{137}Cs par contre les mesures effectuées n'ont pas permis de déceler une influence manifeste des rejets bien que ceux-ci soient relativement importants. En outre certains aspects des modalités de fixation *in situ* des radionucléides sur les sédiments ont pu être établis d'une part en comparant les activités relevées dans les sédiments à celles rejetées et d'autre part en considérant les caractéristiques de désorption.

1976 - Commissariat à l'Energie Atomique - France

39 p.

CEA-R-4739 - GUEGUENIAT Pierre, BARON Yves, AUFFRET Jean-Paul
avec la collaboration de LE MOSQUET Yves, LE GALL Jean, JOUANNEAU
Jean-Marie, CAPRON René, FERAL Pierre, GERMAIN Pierre

A NOTE ON THE EVOLUTION OF ARTIFICIAL RADIOACTIVITY IN CHANNEL
SEDIMENTS, 1971-1975

Summary.- The radioactivity of sediments of the Channel and Atlantic shores was measured by Ge-Li diode spectrometry on gross and fine samples collected from 1971 to 1975. The effects of the fuel reprocessing plant at La Hague, the central point of the monitored area, were clearly demonstrated only from 1974 on the gross fraction for ^{137}Ru , ^{92}Zr , ^{125}Sb , ^{140}Ce , and on the fraction smaller than 28 μm for ^{137}Ru , ^{92}Zr , ^{125}Sb , ^{140}Ce , ^{137}Zn , ^{110}Ag , ^{134}Cs , ^{154}Eu . As regards ^{137}Cs , in spite of rather significant discharges, no evident effects could be detected by measurements. Some aspects of *in situ* retention processes of radionuclides on sediments were demonstrated by comparing sediment activities versus discharged activities and by considering desorption characteristics.

1976 - Commissariat à l'Energie Atomique - France

39 p.

INTRODUCTION

Depuis 1966, l'usine de traitement de combustibles irradiés de La Hague, implantée dans le secteur nord-ouest du Cotentin, a effectué en mer des rejets d'effluents radioactifs (principaux radionucléides : ^{106}Ru , ^{137}Cs , ^{144}Ce , ^{125}Sb). Ces rejets de l'industrie nucléaire émis à partir d'une source ponctuelle augmentent la radioactivité déjà présente - d'origine naturelle ou artificielle (retombées atmosphériques) - et rendent indispensable une surveillance continue et précise de l'eau de mer et des constituants du milieu. Les sédiments qui possèdent la propriété de concentrer de nombreux éléments à l'état de traces constituent à ce sujet un des pôles d'attention.

Des études ayant montré la fixation préférentielle des radionucléides sur les fractions fines des sédiments et sur les suspensions, le contrôle du milieu marin doit être cristallisé dans les baies, havres et estuaires où s'accroissent les vases. Les travaux sédimentologiques en Manche [1] soulignent en effet que les particules fines n'abondent que dans les zones abritées où les suspensions peuvent décanter. Quelques dépôts vaseux apparaissent, en outre, au large de la Dives et de Port-en-Bessin, en bordure de la côte est du Cotentin et dans la région cherbourgeoise (anse de la Mondrée, baie du Becquet, rade de Cherbourg et anse Saint-Martin). Ces lieux de calme hydraulique, véritables "pièges à vases", ont subi une action plus ou moins longue de la part des houles et des courants de marée. Seule, une faible fraction d'éléments terrigènes provient directement du continent par l'intermédiaire des cours d'eau qui débouchent au fond des estuaires et des baies [2 - 6].

Pour étudier la distribution des éléments à l'état de traces, stables ou radioactifs, dans les sédiments, des prélèvements échelonnés de St Brieuc à l'ouest, au cap de la Hève à l'est, ont été effectués depuis mai-juin 1971 soit dans les dépôts vaseux qui découvrent à marée basse dans une échancrure de la côte, soit directement en mer (figure 1). Les échantillons recueillis ont été, en outre, utilisés pour des études expérimentales visant à interpréter, à l'aide de radionucléides, les mécanismes de fixation des éléments à l'état de traces sur les sédiments. Le présent travail fait la synthèse des mesures de radioactivité effectuées depuis 1971.

1. CARACTERISTIQUES DES SEDIMENTS

1. Granulométrie

Les échantillons après avoir été séchés à l'étuve (110°C), ont été tamisés sous l'eau de manière à séparer les sables (2 mm à 50 μm) des lutites (particules inférieures à 50 μm)¹⁾ ; pour les sédiments étudiés (figure 1) les teneurs en lutites varient de 2 % à plus de 70 %. Ceux prélevés à l'intérieur des estuaires sur la frange supérieure des rives sont les plus riches en particules fines ; il existe, en effet, dans les baies et estuaires de Normandie, un double gradient d'affinement des matériaux dirigé depuis l'axe de la rivière vers la rive et depuis l'aval vers l'amont [4 - 7].

2. Fraction argileuse

Les échantillons ont été analysés par diffractométrie X aux laboratoires de chimie minérale B de Rennes et des Facultés des Sciences de Paris et de Caen. Cette étude porte sur les particules inférieures à 2 μm isolées par décantation puis montées sur lame sous forme d'agrégats orientés. Le cortège argileux des vases de la région est homogène ; il est constitué

1) Dans le présent travail, conventionnellement, la limite sable-lutites a été fixée à 28 μm .

- Rôle des paramètres physico-chimiques dans la contamination expérimentale des sédiments marins par le ^{60}Co [12]
- Contamination de sédiments marins par le ^{137}Cs en fonction de leur composition en argiles et en carbonates [13].

Le présent travail, qui regroupe les mesures de radioactivité effectuées entre 1971 et 1975, s'est déroulé dans les conditions suivantes :

- Mai 1971 et mai 1973 : les prélèvements ont été recueillis soit le long du littoral, soit en mer de Saint-Servan à l'ouest, au cap de la Hève à l'est (figure 1), et les mesures ont porté sur les sédiments globaux.

- Juillet 1973 et année 1974 : en juillet 1973 et au cours de l'année 1974 les déterminations de radioactivité ont essentiellement porté sur les lutites. Les points de prélèvements relatifs à ces deux dernières campagnes ont été également reportés figure 1.

Des déterminations de profils verticaux de radioactivité ont été effectuées en 1974 dans la baie de Sienne (8 points de prélèvements représentés figure 2) et en 1975 dans le port de Saint-Vaast.

- En 1975, il a été procédé à l'étude détaillée d'un point critique révélé par les mesures précédentes, celui de Fermanville près du Cap Levy où ont été observés les taux de contamination les plus élevés (les points de prélèvements sont reportés figure 3).

III. RADIOACTIVITE DES SEDIMENTS PRELEVES SUR LE LITTORAL BRETON ET NORMAND

1. Processus expérimental

a) Prélèvement des sédiments

Pour les échantillons prélevés à terre, une fraction correspondant à une épaisseur de 10 cm a été recueillie. A partir de juillet 1973, les prélèvements directs en mer par dragage ont été abandonnés (on ignore la profondeur du prélèvement et une partie du matériel prélevé est perdue lorsque la drague est remontée).

Ces résultats illustrent la concentration des radionucléides au niveau des lutites. Il est difficile, de ce fait, de se baser sur les échantillons globaux pour suivre le cheminement des éléments à l'état de traces à partir d'un émissaire, celui de La Hague dans le cas présent, puisque la fraction fine entre pour une part très variable dans la constitution des sédiments. Nous porterons essentiellement l'attention sur les résultats de contaminations (pCi/kg sec) observées en 1974 dans les lutites :

a) $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$	2 500 à	5 000	en Bretagne	} Nord-Cotentin
	9 000		à Granville	
	40 000 à	70 000	dans la Hague	
	10 000 à	50 000	dans la rade de Cherbourg	
	220 000		à Fermanville (cap Levy)	
b) $^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$	2 000 à	7 500	en Bretagne	} Nord-Cotentin
	7 000		à Granville	
	40 000		dans la Hague	
	10 000 à	40 000	dans la rade de Cherbourg	
	85 000		à Fermanville	
c) ^{95}Zr	50 à	500	en Bretagne	} Nord-Cotentin
	250		à Granville	
	1 000 à	2 000	dans la Hague	
	500 à	1 500	dans la rade de Cherbourg	
	15 000		à Fermanville	

d) $^{95}\text{Nb}^{2)}$	100 à	400	en Bretagne	} Nord-Cotentin
	600		à Granville	
	5 000 à	10 000	dans la Hague	
	1 000 à	5 000	dans la rade de Cherbourg	
	30 000		à Fermanville	
e) ^{137}Cs	1 000 à	5 000	en Bretagne	} Nord-Cotentin
	1 500		à Granville	
	3 000		dans la Hague	
	3 000 à	4 000	dans la rade de Cherbourg	
	4 500		à Fermanville	
f) ^{125}Sb	100 à	400	en Bretagne	} Nord-Cotentin
	300		à Granville	
	1 000 à	3 000	dans La Hague	
	1 000 à	4 000	dans la rade de Cherbourg	
	2 000		à Fermanville	

Ces résultats révèlent le rôle des paramètres d'ordre physico-chimique dans la répartition des principaux radionucléides sur les sédiments le long du littoral.

Les éléments hydrolysables (^{144}Ce , ^{106}Ru , ^{95}Zr) se concentrent dans le secteur du nord Cotentin.

Les éléments non hydrolysables (^{125}Sb , ^{137}Cs) sont dispersés plus uniformément dans le milieu. Pour ^{137}Cs , la contribution due aux retombées vient masquer l'influence des rejets de la Hague bien que ceux-ci soient relativement importants : on note, en effet, une homogénéité remarquable dans la contamination des fractions fines par ce radionucléide tout le long du littoral breton et normand.

2) Les teneurs en ^{95}Nb descendant du ^{95}Zr sont des valeurs maximales (elles ont été calculées d'après les activités mesurées et en tenant compte de la décroissance du ^{95}Nb seul)

Au cours de l'année 1974, l'étude des lutites a, en outre, permis d'établir le bilan des teneurs en ^7Be , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{103}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs , ^{141}Ce , ^{154}Eu , présents en trop faible quantité dans l'eau de mer pour être mesurables directement, avec une aussi bonne sensibilité, sur les fractions brutes des sédiments. Pour ces radionucléides, les contaminations relevées dans les sédiments fins du Nord-Cotentin sont généralement plus élevées que celles observées dans les autres secteurs. On a trouvé, cependant, dans deux échantillons de sédiments bretons (Concale et Saint Servan) des teneurs plus importantes de ^{60}Co (400 pCi/kg sec) que dans le Nord-Cotentin.

Tous les résultats obtenus sur les sédiments globaux et surtout sur les sédiments fins font comparativement ressortir, sauf dans le cas du ^{137}Cs , une contamination relativement élevée dans le port de Fermanville (Cap Levy).

IV. DISTRIBUTION VERTICALE DE LA RADIOACTIVITE

Les résultats exposés dans les tableaux I, II, qui représentent une intégration de la radioactivité des dix premiers centimètres du sédiment, ne tiennent pas compte de la distribution verticale de cette radioactivité régie par la diffusion des radionucléides et par la vitesse de sédimentation des matières en suspension de l'eau de mer. Deux exemples montrent que l'on peut rencontrer des taux de radioactivité plus importants dans les couches profondes que dans la couche superficielle.

En Adriatique à l'embouchure du Pô, SCHREIBER et al. [14] ont fait coïncider le maximum radioactivité β^- rencontré à une profondeur de 5-7 cm avec les retombées atmosphériques de 1963 (période où les explosions nucléaires ont été les plus fréquentes).

PICKERING et al. [15] ont lié dans les sédiments de la Clinch River des taux d'activité plus élevés à une profondeur de 1 m à la périodicité des rejets radioactifs d'une centrale nucléaire dans la rivière.

Pour tenir compte d'une éventuelle pénétration des radionucléides vers les couches profondes, des déterminations de radioactivité ont été effectuées

aboutit à des dépôts très vaseux que l'on rencontre, par exemple, dans le port de Saint Vaast que nous avons retenu comme second site d'étude.

Lors de l'opération de désenvasement de ce port, un endroit, pourtant à sec à marée basse mais jusqu'ici inaccessible à pied, loin du chenal emprunté par les bateaux et peu soumis à l'action des vagues, a pu être atteint. L'intervention d'une pelleteuse a permis de dégager une carotte de 1,50 m qui a été découpée par fractions de 7 cm entre 0 et 1,05 m, par fractions de 14 cm entre 1,05 et 1,50 m.

2. Résultats

Les différents résultats obtenus, reportés au tableau III pour la baie de Sienne, tableau IV pour le port de Saint Vaast, représentent un premier bilan de distribution verticale de radioactivité effectué en janvier-février 1974 dans le premier cas, en mai 1975, dans le second cas. Il faudra répéter ce travail dans le temps pour parvenir à estimer les vitesses de sédimentation et de diffusion des différents radionucléides aux points considérés. On peut cependant dès à présent, en se basant sur la distribution du ^{137}Cs observée à Saint Vaast émettre un certain nombre d'hypothèses au sujet des vitesses de sédimentation.

a) Saint Vaast

Dans le profil vertical du ^{137}Cs observé à Saint Vaast sur la carotte de 1,50 m et reporté sur la figure 4, on observe 4 pics (A, B, C, D) que l'on peut rattacher à divers éléments.

----- Pic A - Pour ^{137}Cs , les rejets de La Hague ont été :

197 Ci	en 1966
443 Ci	en 1967
768 Ci	en 1968
545 Ci	en 1969
2 409 Ci	en 1970
6 556 Ci	en 1971
890 Ci	en 1972
1 872 Ci	en 1973
1 513 Ci	en 1974

D'après les résultats exprimés ci-dessus, on peut en évaluant à 1 cm par an la vitesse de diffusion du ^{137}Cs dans les sédiments (ordre de grandeur approximatif) estimer qu'au point de prélèvement considéré, la vitesse de sédimentation moyenne serait de l'ordre de 4 à 5 cm par an. En effet, en se basant sur les datages des pics A.B.C.D., on aboutit, après correction de la diffusion, aux vitesses suivantes :

Tronche (cm)	Année	Diffusion (cm)	Vitesse de sédimentation moyenne (cm/an)
14-21	1971	4	2,5 à 4,5
56-63	1963	12	4,7
91-98	1959	16	3,7 à 4,3
133	1952	23	4,2 à 5

b) Baie de la Seine

- Les sédiments de "Slikke"

Les points III, XIII, XIV (figure 2) ont été implantés sur la slikke sablo-vaseuse du chenal principal de l'estuaire, c'est l'aire de sédimentation de la tange. La distribution verticale du ^{137}Cs sur les 20 premiers centimètres de la slikke montre la présence d'un maximum à une profondeur variable dans l'estuaire, entre 4 et 10 cm en III (point le plus en aval); entre 12 et 20 cm en XIII (partie médiane de l'estuaire); entre 4 et 8 cm en XIV (point amont).

Cette distribution peut être interprétée par comparaison avec les résultats obtenus sur le carottage de Saint Vaast la Hougue comme représentant le pic A du profil vertical de la radioactivité artificielle des slikkes de l'estuaire (rejets de 1970-1971 de La Hague).

Le point XI est implanté sur la slikke d'un chenal de schorre, affluent du chenal de la Seine. Il montre une contamination plus élevée que les autres échantillons de slikke et croissant du haut au bas de la carotte. Ceci doit être interprété par l'intervention des facteurs sédimentologiques : les sédiments de ces chenaux sont très fins et le taux de sédimentation plus élevé que dans le chenal principal en raison de l'amortissement des courants

Nous avons cherché ainsi à éviter la bioturbation intense et les nombreuses racines qui caractérisent les sols de schorre et perturbent la stratification sédimentaire.

Dans les marelles, on observe une décantation des suspensions au moment de la pleine mer des marées de vives eaux, la fréquence des apports sédimentaires est donc beaucoup plus faible que sur la slikke.

Les carottages V et X montrent que l'on peut observer dans ce milieu une décroissance assez régulière du ^{137}Cs avec la profondeur. Cette observation doit être interprétée par comparaison avec les précédentes mesures comme la confirmation d'un mode de sédimentation totalement différent sur la slikke et le schorre. Sur la slikke coexistent des dépôts de particules fines transportées en suspension et de sables transportés par courants tractifs sur le fond; sur l'herbu, par contre, la végétation interdit l'apport des sédiments tractés, les suspensions seules se décantent, d'où un taux de sédimentation faible et des sédiments très fins.

Dans les carottages V et X, le maximum de contamination se trouve donc dans les premiers centimètres, la décroissance avec la profondeur semblant due au phénomène de diffusion du césium dans les sédiments et éventuellement au drainage per-descensum du schorre.

V. ETUDE DU SITE DE FERMANVILLE

C'est dans le cas d'échantillons prélevés à Fermanville (cap Levy) que les taux de radioactivité artificielle les plus élevés ont été observés. Ceci nous a conduit à utiliser les sédiments fins de ce site pour étudier certains aspects de la fixation des radionucléides sur les sédiments.

1. Rôle de la granulométrie

Les contaminations observées dans les fractions $28\ \mu\text{m}$, $28-50\ \mu\text{m}$, $50-80\ \mu\text{m}$ d'un sédiment prélevé à Fermanville le 11.12.1974, sont reportées tableau V. Les fractions fines concentrent fortement la radioactivité ; le rapport $\frac{\text{activité de la fraction } < 28\ \mu\text{m}}{\text{activité de la fraction } 50-80\ \mu\text{m}}$ prend, en effet, les valeurs suivantes :

5 pour	^{137}Cs ,	4 pour	^{134}Cs
7 pour	^{65}Zn		
14 pour	^{125}Sb ,	^{106}Ru (confirmation en considérant	^{103}Ru pour lequel on obtient une valeur identique)
16 pour	^7Be		
22 pour	^{95}Nb		
38 pour	^{95}Zr		

calculs de dose auxquelles sont soumises les populations en contact avec la plage considérée.

4. Les études de désorption

La désorption des radionucléides fixés a été effectuée sur 10 échantillons identiques de 100 g de lutites d'un même type de sédiment. Huit d'entre eux ont subi un lavage à froid avec des solutions HNO_3 maintenues respectivement à des pH de 3 - 2,5 - 2 - 1,5 - 1 et à des normalités de 0,5 - 1 - 2 - 4 - 8 ; sur la neuvième fraction, un lavage avec un mélange à volumes égaux de solutions HCl 8N et HNO_3 8N à chaud a été effectué. Des comptages réalisés sur chaque résidu de lavage et sur le dernier échantillon non traité, conservé comme témoin, ont permis pour chaque radionucléide d'établir des caractéristiques de désorption reportés au tableau IX.

a) Cérium 144

Le ^{144}Ce , principal radionucléide observé dans les sédiments du Nord-Cotentin, n'est que peu lié à ceux-ci : un lavage par une solution de pH 2,5 suffit pour déplacer 70 % du cérium.

b) Ruthénium 106

Dans les usines de traitement de combustibles irradiés, le ruthénium (^{106}Ru de période 1 an, ^{103}Ru de période 39,8 jours) se présente sous forme de composés du nitrosylruthénium (caractérisés par l'existence d'un groupement RuNO^{3+}) et comportant d'une part, les complexes nitrate (existence d'un groupement NO_3) et d'autre part, les complexes nitro (existence de groupements NO_2 et éventuellement NO_3). Les traitements préliminaires avant rejet permettent d'éliminer la majeure partie des complexes nitrate peu stables, si bien que l'on considère généralement que dans les effluents rejetés, le ruthénium se présente essentiellement sous forme de complexes nitro très stables et peu sorbables.

La physico-chimie du ruthénium dans l'eau de mer est extrêmement complexe ; les composés nitro existent dans ce milieu sous plusieurs formes anioniques (80 à 90 %), cationiques, hydrolysées liées par des réactions d'équilibre dont les constantes de vitesse sont très faibles [18]. En raison de la nature anionique de ces composés, les forts taux de fixation du ruthénium sur les sédiments paraissent à première vue surprenants ; ils s'expliquent, cependant, par les réactions d'équilibre qui provoquent, après disparition des formes adsorbables (cationiques et hydrolysées), une lente transformation du ruthénium anionique en ruthénium adsorbable.

c) Zirconium 95

Le ^{95}Zr se présente dans l'eau de mer sous forme colloïdale.

Il est, parmi les radionucléides étudiés, celui qui est le plus difficile à désorber des sédiments ; l'utilisation d'une solution 8N HNO_3 se révèle en particulier inefficace. Pour parvenir à une désorption supérieure à 50 %, il a été nécessaire de recourir à un mélange à volumes égaux de solutions HCl 8N et HNO_3 8N à chaud.

d) Césium 137

Le ^{137}Cs existe dans l'eau de mer sous une forme chimique simple stable Cs^+ . Des études expérimentales [9, 13, 19] ont montré que ce radionucléide se fixait sur les sédiments selon deux modes de fixation : l'un sur des sites à faible affinité, l'autre sur des sites à forte affinité ; dans le premier cas, le ^{137}Cs est facilement désorbable par les cations de l'eau de mer ou par des solutions faiblement acides (de normalité inférieure à 1,5 N) ; dans le second cas, il ne commence à être désorbé que par des solutions de normalité supérieure ou égale à 2. Les sites à forte affinité sont particulièrement nombreux dans des sédiments riches en illite.

La présente étude de désorption, effectuée sur un sédiment contaminé in situ, montre (tableau IX) une fixation presque totale du ^{137}Cs sur les sites à forte affinité ; en outre, la grande difficulté rencontrée pour la désorption (20 % seulement avec une solution de normalité 4N) implique une diffusion du radionucléide à l'intérieur du réseau cristallin.

e) Antimoine 125

Le ^{125}Sb se présente dans l'eau de mer sous forme anionique ou neutre très difficilement sorbable comme le montre une étude expérimentale récente [20] ; les résultats obtenus *in situ*, montrent que les contaminations des sédiments provoquées par ce radionucléide ne sont pas négligeables et, fait encore plus étonnant, que les désorptions sont extrêmement difficiles.

VI. DISCUSSION

Le présent travail a permis d'une part, de dresser un bilan de la radioactivité en ^{144}Ce , ^{106}Ru , ^{137}Cs , ^{95}Zr , ^{125}Sb , ^{103}Ru , ^{141}Ce , ^{65}Zn , ^{95}Nb , ^{54}Mn , ^{110}Ag , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{154}Eu , dans les fractions fines des sédiments de la Manche et d'autre part, de dégager quelques caractéristiques de la fixation du ^{144}Ce , ^{106}Ru , ^{137}Cs , ^{125}Sb , ^{95}Zr , sur ces mêmes fractions.

1. Radioactivitéa) Concentration des éléments hydrolysables sur les vases, au voisinage des points de rejets

En ce qui concerne les taux de radioactivité, nous avons observé une importante concentration des éléments hydrolysables (^{95}Zr , ^{144}Ce , ^{106}Ru) dans le port du cap Levy (Fermanville). Il ne fait pas de doute que l'on peut directement relier cette concentration aux rejets d'effluents radioactifs de la Hague. Les résultats obtenus, relativement élevés, concernent, rappelons-le, les lutites qui ne constituent que quelques pourcents des sédiments ; ils sont très inférieurs (voir ci-dessous) à ceux observés à Windscale sur des bancs d'argile au voisinage du point de rejet, eux-mêmes très en dessous des limites fixées par l'I.C.R.P. [21, 22].

^{144}Ce	Cap Levy : 38 pCi/g	Windscale : 1 100 pCi/g
^{106}Ru	Cap Levy : 117 "	Windscale : 1 500 "
^{95}Zr	Cap Levy : 1,8 "	Windscale $^{95}\text{Zr} - ^{95}\text{Nb}$: 940 pCi/g

Dans le cas du ^{137}Cs , élément non hydrolysable, les activités au cap Levy sont très faibles : 0,4 pCi/g (110 pCi/g à Windscale).

Pour expliciter ces chiffres il faut envisager la valeur du rapport activité moyenne des sédiments (pCi/kg sec) / activité annuelle rejetée (Ci) qui tient compte des activités rejetées et représente, pour chaque radionucléide, un "taux d'accumulation" sur les sites voisins de la Hague (Fermanville), de Windscale (bancs d'argile). Pour les années 1974 (Hague), 1969 et 1971 (Windscale), les valeurs suivantes exprimant l'activité en picocuries par gramme de sédiment pour 1 curie rejeté, ont été obtenues :

	Cap Levy 1974	Windscale 1969	Windscale 1971
^{144}Ce	224	52	64
^{106}Ru	6	56	41
^{137}Cs	3	-	3
^{95}Zr	25	27	46
^{125}Sb	3,7	-	-
^{134}Cs	2,2	-	-
^{103}Ru	2,3	-	-

Fermanville (cap Levy)

Les "taux de concentration" obtenus précisent certaines

remarques effectuées paragraphes III.V. :

- pour une même activité rejetée à la Hague la concentration à Fermanville des éléments hydrolysables ($^{144}\text{Ce} - ^{95}\text{Zr}$) est de 10 à 100 fois supérieure à celle des éléments salubles ($^{137}\text{Cs} - ^{125}\text{Sb}$). Le taux de concentration du ^{144}Ce paraît d'ailleurs très fort ; certaines données complémentaires nous

ont conduit à émettre l'hypothèse que certains rejets, dans le cas de ce radionucléide, pourraient être sous-estimés.

- nous avons considéré (paragraphe V) la présence du ^{125}Sb comme surprenante dans les sédiments ; cette remarque trouve sa justification avec un taux d'accumulation pour ^{125}Sb (3,7) légèrement supérieur à celui du ^{137}Cs (3).

Windscale

Les données de Windscale, plus réduites quant au nombre de radionucléides, sont à rapprocher de celles de La Hague : le taux de concentration d'un élément hydralysable (^{95}Zr) est 10 à 20 fois supérieur à celui d'un élément soluble comme le ^{137}Cs .

Il est délicat, pour un radionucléide donné, de comparer les "taux d'accumulation" d'un site à un autre, l'un d'eux (Windscale) se trouve aux environs immédiats du point de rejet, l'autre (Fermanville) distant de plus de 50 km. Dans le cas de radionucléides à chimie simple, les taux d'accumulation sont cependant identiques : 3 pour ^{137}Cs , 25 à 50 pour ^{95}Zr . Par conséquent, la situation très différente observée dans le cas du ^{106}Ru amène à penser que la forme physico-chimique de ce radionucléide n'est pas la même dans les effluents des deux usines.

Cette observation est à rapprocher de celle effectuée lors de l'épreuve d'intercomparaison des méthodes de mesure de radioactivité d'eau de mer (organisée par l' A.I.E.A.) où il est apparu que la technique au bioxyde de manganèse colloïdal donnait des rendements d'adsorption du ruthénium de 100 % sur une eau de Windscale (échantillon témoin de l'épreuve) de 40 % sur une eau de la Hague.

En première approximation, on peut estimer que les complexes nitro peu sorbables, constituent la forme principale du ^{106}Ru dans les effluents de la Hague ; à Windscale, par contre, il y aurait prédominance des complexes nitrato facilement sorbables.

b) Utilisation de la radioactivité pour suivre le mouvement des matières en suspension

Outre le bilan de radioactivité présentée dans les sédiments du nord de la Bretagne et de la Normandie, de telles études peuvent être mises à profit pour étudier l'hydrodynamique et estimer les vitesses de dépôt dans les zones de sédimentation. Ainsi, une partie des radionucléides rejetés dans l'anse de Mauville est transportée par des courants vers le cap Levy suivant le jeu des courants. Il semble qu'il en soit de même pour les particules en suspension de la rade de Cherbourg : la présence des teneurs élevées de chrome stable dans les sédiments du cap Levy pourrait être attribuée à l'activité portuaire de Cherbourg.

2. Mécanismes de fixation des radionucléides sur les sédiments

La fixation, sur les fractions fines des sédiments, de chacun des principaux radionucléides rejetés par les usines de traitement de combustibles irradiés peut être caractérisée par une ou plusieurs propriétés particulières :

a) Cérium 144

Une fois fixé, ^{144}Ce est très facile à désorber : plus de 70 % par une solution de pH 2,5.

b) Zirconium 95

Le ^{95}Zr se concentre très fortement sur les lutites : le rapport $\frac{\text{activité de fraction } < 28 \mu\text{m}}{\text{activité de fraction } 28-50 \mu\text{m}}$ atteint, dans le cas de ce radionucléide à Fermanville, la valeur 30. La désorption est extrêmement difficile, il faut avoir recours à un mélange à volumes égaux de solutions HNO_3 8N et HCl 8N à chaud pour déplacer plus de 50 % du ^{95}Zr (désorption négligeable pour une solution 8N HNO_3 à froid). C'est, en outre, pour ce radionucléide, qu'ont été observées les plus larges fluctuations de la teneur sur un même site.

c) Cesium 137

La distribution du ^{137}Cs le long du littoral Bretagne nord Manche est remarquablement homogène malgré la présence de l'usine de La Hague. Le ^{137}Cs se trouve essentiellement fixé à l'intérieur des feuillets d'argile, ce qui rend sa désorption difficile.

d) Ruthénium 106

Les considérations émises dans le cas des radionucléides précédents (^{144}Ce , ^{95}Zr , ^{137}Cs) paraissent transposables à tous les sites soumis à des rejets radioactifs. Dans le cas du ^{106}Ru , il en va tout autrement, les propriétés physico-chimiques de ce radionucléide sont étroitement liées aux traitements subis avant rejet et les résultats peuvent ne pas être comparables d'une usine à une autre. Pour une même usine, ils peuvent d'ailleurs varier d'un type d'effluent à un autre ; dans le cas de l'usine de la Hague, une modification des procédés de traitement des combustibles irradiés pendant l'année 1970 a entraîné de profondes modifications dans le comportement physico-chimique du ^{106}Ru .

e) Antimoine 125

Le comportement du ^{125}Sb est étonnant :

- contrairement aux observations faites lors d'études expérimentales, il se trouve fixé sur les sédiments dans les proportions relativement importantes ; les taux de ^{125}Sb dans l'eau de mer apparaissent relativement élevés (résultats obtenus lors d'études in situ) ;
- sa désorption très difficile de sédiments contaminés in situ n'est pas explicable dans l'état actuel de nos connaissances.

VII. CONCLUSION

La présente étude dresse le bilan et l'évolution de la radioactivité des sédiments de la Manche pendant les années 1971-1975 et permet d'apporter quelques informations sur les modalités de la fixation sur les sédiments des principaux radionucléides rejetés par l'usine de traitement de combustibles

irradiés de La Hague. En outre, la diversité apparemment anarchique des résultats d'analyse obtenus dans le havre de Régneville (baie de Sienna) et rassemblés dans le tableau III, est une grande leçon de prudence : d'une part pour le choix des points de surveillance de la contamination des sédiments littoraux de la Manche, d'autre part pour l'interprétation des séries de mesure qui ne sont significatives que si les conditions de prélèvement sont rigoureusement définies par une connaissance approfondie de l'environnement étudié.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] LARSONNEUR C., Manche centrale et baie de Seine : géologie du substratum et des dépôts meubles. Thèse Doct. Sc. Caen, 1971, 394 p.
- [2] GIRESSÉ P., Modalité de la sédimentation dans l'Estuaire de la Seine. Principales zones de dépôt. Cah. Océanogr., 1965, 17, 45-52.
- [3] VIGARIE A., Les modalités du remblaiement alluvial dans l'Estuaire de la Seine. Cah. Océanogr., 1965, 17, 301-330.
- [4] FILY G., Etude sédimentologique de l'Estuaire de l'Orne et du littoral adjacent (de Langrune à Cabourg). Thèse 3e cycle, Caen, 1967, 128 p.
- [5] GERMAIN P., Etude sédimentologique et hydrologique de la Dives et du littoral adjacent (Cabourg-Houlgate). Thèse 3e cycle, Caen, 1970, 77 p.
- [6] LE GALL J., La Baie des Veys : caractères principaux de la sédimentation et faciès de dépôt. Thèse 3e cycle, Caen, 1970, 151 p.
- [7] DOLET M., GIRESSÉ P., LARSONNEUR C., Sédiments et sédimentation dans la baie du Mont Saint-Michel. Bull. Soc. Linn. Norm., 1965, 10, 6, 51-65.
- [8] GIRESSÉ P., Mécanismes de répartition des minéraux argileux des sédiments marins actuels sur le littoral sud du Cotentin. Mor. Geol., 1967, 5, 61-69.
- [9] AUFFRET J.P., GERMAIN P., GUEGUENIAT P. et LEMOSQUET Y., Etude expérimentale de la fixation du caesium 137 par certains sédiments de la Manche. Cah. Océanogr., 1971, 23, 935-955.
- [10] GUEGUENIAT P. et LE GALL J., Etude préliminaire de la fixation du ^{106}Ru sur divers types de sédiments. Thalassia Jugoslav., 1973, 9, (1/2) 177-198.
- [11] PESRET F., Fixation de radioéléments sur des carbonates en milieu marin. XXIVe Congrès Assemblée Plénière Monaco, 6-14 décembre 1974. Comité de radioactivité marine.
- [12] GUEGUENIAT P., Rôle des paramètres physico-chimiques dans la contamination expérimentale de sédiments marins par le ^{60}Co . XXIVe Congrès Assemblée Plénière Monaco, 6-14 décembre 1974. Comité de radioactivité marine.
- [13] GUEGUENIAT P. et CARBONNIE M., Contamination de sédiments marins par le ^{137}Cs en fonction de leur composition en argiles et en carbonates. XXIVe Congrès Assemblée Plénière Monaco, 6-14 décembre 1974. Comité de radioactivité marine.

- [14] SCHREIBER B., TASSI L., PELATI M., MEZZADRI G., MOTTA G.,
Grass beta radioactivity in sediment of the North Adriatic sea : a
possibility of evaluating the sedimentation rate. *Archiv. Oceanogr.*
Limnol., 1968, 16, 1.
- [15] PICKERING R.J. et al. Radioactivity in bottom sediment of the Clinch
and Tennessee Rivers. Dans : *Disposal of radioactive wastes in seas, oceans
and waters, Proceedings of a symposium (I.A.E.A.) Vienna, 16-20 may 1963.*
- [16] GRESSE P., *Essai de sédimentologie comparée des milieux fluvi-marins du
Gabon, de la Catalogne et du Sud Cotentin. Thèse, Univ. Caen, 1969, 698 p.*
- [17] DAVIS J.J., Cesium and its relationships to potassium in ecology. Dans :
Radioecology (Schultz and Klement, Eds) 1965, 539-556.
- [18] GUEGUENIAT P., *Comportement physico-chimique du ruthénium de
fission dans le milieu marin. Rapport CEA-R-4644, 1975.*
- [19] GUEGUENIAT P., ANCELLIN J., *Observations sur le mode de conta-
mination par le caesium 137 de sédiments marins du secteur de la Hague.*
Dans : *Radioecology applied to the protection of man and his environment,*
*Procees ings of the International Symposium, Rome, 7-10
september 1971.*
- [20] AMIARD J.C., *Etude expérimentale de l'accumulation de l'antimoine 125
par divers groupes d'organismes marins. Rapport CEA-R-4530, 1974.*
- [21] MITCHELL N.T., *Radioactivity in surface and coastal waters of the
British isles. Technical Report FRL 7, 1969.*
- [22] MITCHELL N.T., *Radioactivity in surface and coastal waters of the
British isles. Technical Report FRL 9, 1971.*

Manuscrit reçu le 6 février 1976

BAIE DE SEINE A BAIÉ DES VEYS				COTENTIN				
Année	Sédiment global		Fraction inférieure à 28 µm		Sédiment global		Fraction inférieure à 28 µm	
	Localité	Concentration	Localité	Concentration	Localité	Concentration	Localité	Concentration
1971	Grand Vey	T			Gaury	680		
	Causeilles	1 400			St Martin	5 500		
	Oustréham	T			Rade Cherbourg	2 800		
	Dives	T			Anse Brice	2 300		
	Villars	T			Réville	T		
	Trouville	1 580			St Vaast	1 066		
	Baie Seine	T			Morsalines	T		
Cap Hève	T							
1973	Grand Vey	362			Gaury	944	Port-Roque	13
	Causeilles	245			St Martin	228		
	Oustréham	T			Rade Cherbourg	45		
	Dives	168			Anse Brice	-		
	Villars	T			Formanville	1 506		
	Trouville	145			Réville	144		
	Baie Seine	T			St Vaast	46		
	Houffleur	123			Morsalines	5		
	Cap Hève	T						
1974	Estuaire Vire	1 166			St Martin	4 013	Bayeux	27 679
	Gefosse	T			Rade Cherbourg	7 472	Gaury	71 984
	Isligny	1 589			Yacht Club	7 364	Rade Cherbourg	52 634
	Grandcamp	3 800			Les Flamands	101 568	Les Flamands	11 644
	Douve	1 057			Formanville	T	Formanville	53 142
1975					St Vaast	T	Formanville	21 406
					Formanville	17 455		
					0			
					90 260			

CARTERET - MONT SAINT MICHEL				BRETAGNE				
Année	Sédiment global		Fraction inférieure à 28 µm		Sédiment global		Fraction inférieure à 28 µm	
	Localité	Concentration	Localité	Concentration	Localité	Concentration	Localité	Concentration
1971	Avranches	T			St Servan	T		
	Granville	2 380						
	Chausey	T						
	Port-Roque	3 540						
	Agon	T						
	Coutainville	T						
	St Germain	1 420						
	Surville	240						
1973	Carteret	1 180						
	Port-Bail	T						
	Avranches	T			St Servan	T		
	Chausey	554			St Servan	244		
	Granville	136			St Brievé	T		
	Coutainville	210						
	Agon	871						
	Port-Roque	188						
	St Germain	344						
	Surville	T						
	Port-Bail	113						
1974	Carteret	106						
	St Germain	T						
	Port-Roque	2 636						
1974	Agon	T	Granville	9 103	St Brievé	T		
		6 662			Le Guide	3 44		
1975					Concarneau	2 75		
					Le Vivier	4 060		
					Le Guide	4 528		
					Vilde	3 155		
					Le Vivier	8 693		
				Plévenon	7 669			

Tableau 1 a - ^{144}Ce et ^{144}Pr dans des sédiments prélevés de 1971 à 1975 le long du littoral breton et normand (pCi/kg sec). (T = traces)

BAIE DE SEINE A BAIÉ DES VEYS				COTENTIN - HAGUE			
Sédiment global		Fraction inférieure à 28 µm		Sédiment global		Fraction inférieure à 28 µm	
1971	Grand Vey	T		Goury	T		
	Courseulles	T		St Martin	15 660		
	Cristeham	T		Rade Cherbourg	6 980		
	Dives	4 160		Anse Brick	T		
	Villers	T		Réville	T		
1973	Nouveville	5 300		St Vaast	3 240		
	Baie Seine	3 740		Morsalines	T		
	Can. Heve	T					
	Grand Vey	T		Goury	2 884		
	Courseulles	518		St Martin	991		
1974	Cristeham	218		Rade Cherbourg	2 113		
	Dives	525		Anse Brick	245		
	Villers	T		Fermonville	4 118		
	Nouveville	308		Réville	T		
	Baie Seine (1,2)	T		St Vaast	1 028		
1975	Honfleur	385		Morsalines	239		
	Can. Heve	T					
	Estuaire Vire	1 935		St Martin	3 019	Herquemoulin	27 714
	Gefosse	375		Rade Cherbourg	8 962	Goury	40 384
	Aligry	1 967		(Yacht Club)	4 776	Rade Cherbourg (1)	36 202
1974	Grandcamp	2 223		Les Flamands	30 122	" (2)	
	Douve	1 086		Fermonville		Les Flamands	11 697
1975				St Vaast		Fermonville	84 878
				Fermonville	3 113		
				à			
				26 058			

CARTERET - MONT SAINT MICHEL				BRETAGNE			
Sédiment global		Fraction inférieure à 28 µm		Sédiment global		Fraction inférieure à 28 µm	
1971	Avranches	T		St Servan	T		
	Granville	T					
	Chausey	4 860					
	Pont Raoue	T					
	Agon	T					
	Coutainville	T					
	St Germain	T					
	Surville	T					
	Carteret	T					
	Port-Bail	T					
1973	Avranches	T		St Servan (1)	281	Cancale	T
	Chausey	926		St Servan (2)	483	Le Guildo (1)	2 184
	Granville	164		St Briec	1 802	Le Guildo (2)	1 149
	Coutainville	433				St Briec	
	Agon	1 880				Mordreux	
	Pont Raoue	331				St Briec	999
	St Germain	677					
	Surville	T					
	Port-Bail	263					
	Carteret	148					
1974	Agon	T				St Briec	1 973
		1 917	Granville	Nov.	6 777	Le Guildo	6 488
1975						Cancale	6 221
						Le Vivier	7 449
					Le Guido		
					Vilde	3 882	
				Le Vivier	2 726		
				Plévenon	5 946		
					3 040		

Tableau I b - $^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$ dans des sédiments prélevés de 1971 à 1975 le long du littoral breton et normand (pCi/kg sec).

CARTERET - MONT SAINT MICHEL				BRETAGNE				
Sédiment global		Fraction inférieure à 28 µm		Sédiment global		Fraction inférieure à 28 µm		
1971	Avranches	590		St Servan	1 190			
	Granville	830						
	Chausey	390						
	Pont Roque	4 500						
	Agon	600						
	Coutainville	5 250						
	St Germain	800						
	Surville	590						
1973	Carteret	780						
	Port-Bail	990						
	Avranches	128	Agon	1 141	St Servan (1)	688	Cancale	874
	Chausey	563	St Germain	1 693	St Servan (2)	200	Le Guildo (1)	761
	Granville	50	Pont Roque	946	St Brieuc	1 220	Le Guildo (2)	702
	Coutainville	85	Grouchy	46			St Brieuc	802
	Agon	579					Mordreux	1 279
	Pont Roque	205					St Brieuc	1 361
1974	St Germain	474						
	Surville	122						
	Port-Bail	166						
	Carteret	115						
	St Germain	1 693						
1975	Pont Roque	946						
	Agon	T δ 804	Granville	Nov. 1 641			St Brieuc Le Guildo Cancale Le Vivier	Nov. 909 2 525 3 110 4 990
1975								

BAIE DE SEINE A BAIÉ DES VEYS				COTENTIN - HAGUE				
Sédiment global		Fraction inférieure à 28 µm		Sédiment global		Fraction inférieure à 28 µm		
1971	Grand Vey			Goury	3 080			
	Coursuilles	830		St Martin	870			
	Ouistreham	840		Rade Cherbourg	T			
	Dives	1 000		Anse Brick	T			
	Villers	2 570		Réville	T			
	Trouville	1 060		St Vaast	910			
	Baie Seine	450		Morsalines	T			
	Cap Hève	280						
1973	Grand Vey		Orne (1)	Goury	243	Pont Roque		
	Coursuilles	832	Orne (2)	1 687	79	Pont Saire	936	
	Ouistreham	312	Orne (3)	1 534	79	Barfleur	730	
	Dives	560	Orne (4)	943	Rade Cherbourg	1 096	St Vaast (1)	1 825
	Villers	197	Orne (5)	861	Anse Brick	48	St Vaast (2)	1 883
	Trouville	479	Grandcamp	993	Fermanville	426	St Vaast (3)	2 213
	Baie Seine (1) (2)	131	Port-en-Bessin	473	Réville	84	St Vaast (4)	1 160
	Honfleur	661		953	St Vaast	1 517		
1974	Cap Hève	357			243			
	Estuaire Vire	1 068		St Martin	251	Herquemoulin	2 690	
	Gafosse	140		Rade Cherbourg	1 503	Goury	3 065	
	Isigny	1 249		(Yacht Club)		Rade Cherbourg (1)	3 489	
	Grandcamp	1 744		Les Flamands	465	" (2)	3 646	
1975	Douve	471		Fermanville	798	Les Flamands	3 420	
				St Vaast	830	Fermanville	4 699	
1975				Fermanville	197			
					δ 4 716			

Tableau 1 c - 137 Cs dans des sédiments prélevés de 1971 à 1975 le long du littoral breton et normand (pCi/kg sec).

CARTERET - MONT SAINT MICHEL				BRETAGNE			
Sédiment global		Fraction inférieure à 28 μ m		Sédiment global		Fraction inférieure à 28 μ m	
1971	Auranches	55					
	Granville	1					
	Chausey	117					
	Pont Rague	1					
	Agon	140					
	Coutainville	1					
1973	St Germain	91					
	Surville	34					
	Carteret	1					
	Pont-Rague	363					
1974	Agon	127	Granville	271		St Brieuc Le Guildo Cancale Le Vivier	91 393 363 313
1975					Le Guido Vilde Le Vivier Plévenan	129 78 185 276	
1971	Grand Vey			Goury	140		
	Courseulles	108		St Martin	165		
	Cuistreham	1		Rade Cherbourg	265		
	Dives	29		Anse Brick	1		
1973	Villers	42		Réville			
	Trouville	1		St Vaast			
	Baie Seine	1		Morsalines	183		
	Cap Hève	1					
1974	Estuaire Vire	381		St Martin	261	Herceumoulin	952
	Gefosse	224		Rade Cherbourg (Yacht Club)	2 650	Goury	2 743
	Higny	46		Les Flamands	1 946	Rade Cherbourg (1)	2 045
	Grandcamp	423		Farmanville	401	" (2)	2 999
1975	Douve	67		St Vaast		Les Flamands	2 488
	Langotot	394		Farmanville	226 à 673	Farmanville	1 946

BAIE DE SEINE A BAIÉ DES VEYS				COTENTIN - HAGUE			
Sédiment global		Fraction inférieure à 28 μ m		Sédiment global		Fraction inférieure à 28 μ m	
1971	Grand Vey			Goury	140		
	Courseulles	108		St Martin	165		
	Cuistreham	1		Rade Cherbourg	265		
	Dives	29		Anse Brick	1		
	Villers	42		Réville			
	Trouville	1		St Vaast			
1973	Baie Seine	1		Morsalines	183		
	Cap Hève	1					
1974	Estuaire Vire	381		St Martin	261	Herceumoulin	952
	Gefosse	224		Rade Cherbourg (Yacht Club)	2 650	Goury	2 743
	Higny	46		Les Flamands	1 946	Rade Cherbourg (1)	2 045
	Grandcamp	423		Farmanville	401	" (2)	2 999
1975	Douve	67		St Vaast		Les Flamands	2 488
	Langotot	394		Farmanville	226 à 673	Farmanville	1 946

Tableau I d - ¹²⁵Sb dans des sédiments prélevés de 1971 à 1975
le long du littoral breton et normand (pCi/kg sec).

	^{144}Ce ^{138}U	^{106}Ru ^{106}Rh	^{137}Cs	^{95}Zr	^{95}Nb val. - 0,7 moy. - 0,8	^{40}K	^{125}Sb	^{110}Ag	^{107}Ru	^{7}Be	^{141}Ce	^{60}Co	^{137}Cs	^{60}Co	^{65}Zn
1	14 057	5 998	367	146	281	22 243	318	13	P	-	-	28	10	-	-
2	10 317	4 044	372	235	383	23 561	323	-	20	-	99	7	29	-	-
3	7 455	3 113	197	198	343	27 337	226	-	18	60	67	12	-	-	-
4	7 893	3 309	241	146	262	24 387	235	-	-	-	77	14	31	-	-
5	90 260	26 058	716	2 668	5 377	15 231	673	-	198	-	135	-	62	166	-
7	59 779	19 418	464	1 490	3 025	19 611	580	-	113	376	66	31	151	168	-
8	47 686	14 304	415	1 178	2 398	22 644	509	-	95	-	95	-	32	123	-
9	68 644	17 638	444	1 749	3 630	21 751	385	-	165	392	81	-	172	199	-

Tableau VI - Répartition longitudinale de la radioactivité sur le site de Fermanville (pCi/kg sec de sédiment brut) le 27/1/75.

Pourcentage de la fraction fine dans le sédiment (total)	$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$	$^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$	^{137}Cs	^{95}Zr	^{95}Nb val. - 0,7 moy. - 0,8	^{40}K	^{125}Sb	^{110}Ag	^{107}Ru	^{7}Be	^{141}Ce	^{137}Cs	^{60}Co	^{60}Co	^{54}Mn	^{65}Zn	^{152}Eu
	1	90 857	40 960	5 939	2 051	13 355	10 323	1 612	27	-	-	-	345	183	251	3	-
2-5 %	153 439	70 876	3 008	6 340	6 000	13 875	3 920	62	598	-	-	659	-	-	-	731	-
3-2,4 %	239 401	98 785	3 627	6 847	27 782	14 053	6 160	114	773	-	-	586	-	271	-	531	-
4-5,5 %	129 477	65246	2 705	4 915	20 000	14 257	3 687	71	230	1 778	-	418	-	95	-	520	-
5,16,6 %	267 463	102 907	4 600	13 754	83 588	13 104	2 337	-	781	-	289	402	473	440	63	716	-
7,10,4 %	358 531	96 250	5 438	13 912	85 699	11 650	2 273	85	-	-	1 281	384	257	387	-	970	448
8-3,8 %	216 505	68 273	7 577	8 560	54 645	10 760	4 389	-	-	-	-	444	1 896	1 557	-	572	467
9-4,1 %	557 112	181 358	7 345	26 386	54 430	11 765	3 830	-	1 156	3 506	4 079	417	1 140	1 023	86	1 404	832

Tableau VII - Répartition longitudinale de la radioactivité sur la fraction fine (28 µm) de sédiments prélevés à Fermanville (pCi/kg sec) le 15/1/75.

Profondeur (cm) 100 200 300	144 Ce + 144 Pr	106 Ru + 106 Rh	137 Cs	95 Zr	95 Nb Valeur maximum	40 K	125 Sb	110 Ar	103 Ru	7 Ba	141 Ce	134 Cs	65 Zn
	0-2	56 712	19 514	590	1 504	3 061	18 663	376	-	108	-	53	98
2-4	40 340	13 724	493	910	1 919	19 046	346	-	91	T	52	76	T
4-6	26 500	19 920	499	713	1 377	20 950	203	27	39	-	103	158	T
6-8	32 142	22 252	467	910	1 603	18 735	245	-	57	-	52	115	T
8-10	13 837	8 199	395	669	1 345	22 411	214	27	9	52	71	97	T
10-12	12 510	5 354	420	219	437	21 710	160	-	-	-	13	82	T
12-14	9 125	5 190	365	7	7	32 045	192	-	-	-	61	T	-
14-16	4 453	5 109	507	73	66	19 456	108	-	-	T	10	-	-
16-18	4 847	2 727	430	T	1	21 570	67	-	-	T	67	-	-
18-20	7 457	4 317	549	T	115	21 037	58	-	-	T	T	-	-
20-22	4 150	3 051	315	69	P	21 993	45	41	-	T	T	-	-
22-24	1 912	1 430	272	48	202	25 911	30	-	-	T	20	-	-
24-26	1 642	1 555	252	28	27	27 446	45	-	-	T	-	-	-
26-28	4 453	2 345	269	96	182	25 897	21	-	T	T	-	-	-
28-30	7 958	2 991	257	176	399	21 094	42	-	-	T	-	-	-
30-32	270	2 254	375	-	-	25 190	-	-	-	T	-	-	-

Tableau VIII - Profil vertical de la radioactivité à Fermanville (pCi/kg de sédiment brut) le 13/2/75 dans la zone 5-7-9 (cf figure 3) (T=Traces).

	144 Ce	106 Ru	95 Zr	137 Cs	125 Sb
pH 3	44	6,1	0	0	
pH 2,5	68,4	11,2	0	1,7	0
pH 2	67	2,3	0	0	0
pH 1,5	83,3	2,6	0	0	0
pH 1	85,9	11,4	0	0	0
0,5	92	11,3	0	0	0
1N	93,8	6	0	0	0
2N	96	39,6	0	0	0
4N	100	65	0	20	0
8N	100	79,5	0	41	44
HCl + HNO3	100	100	56,8	98	59

Tableau IX - Désorption (%) par des solutions HNO3 des principaux radionucléides fixés sur la fraction fine du sédiment n° 6.

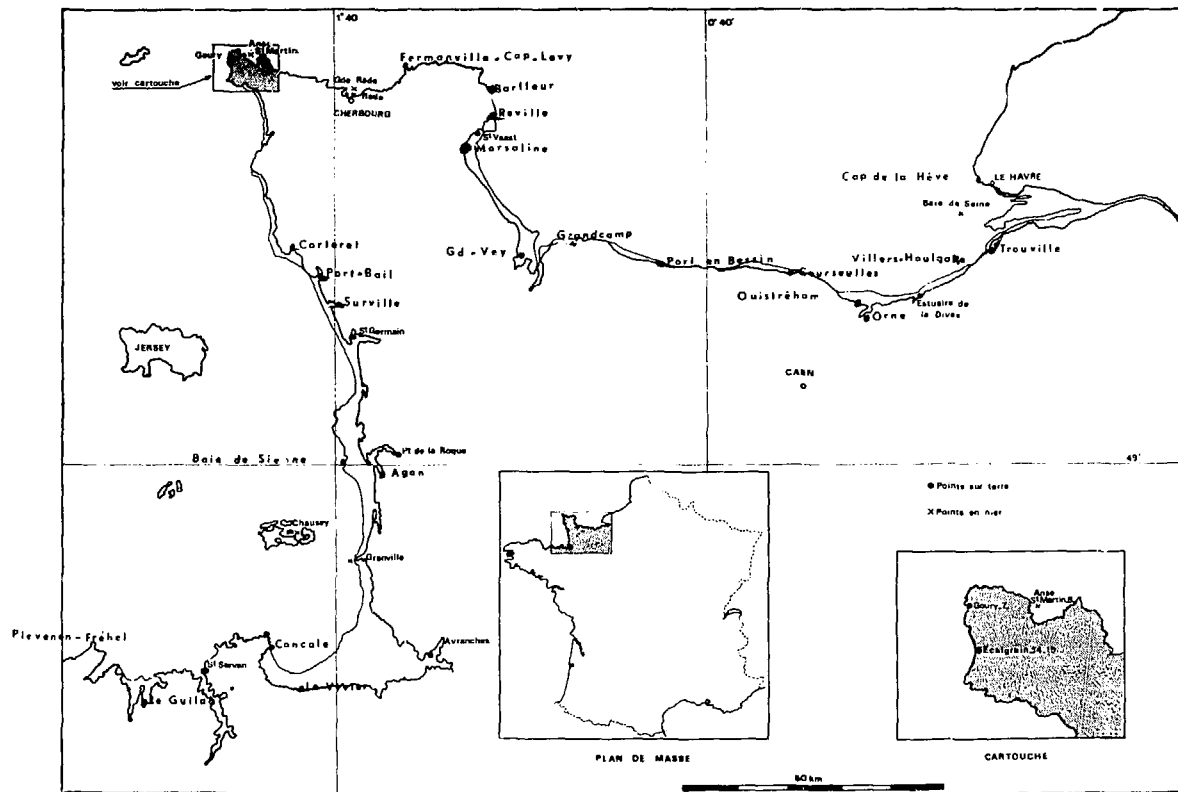
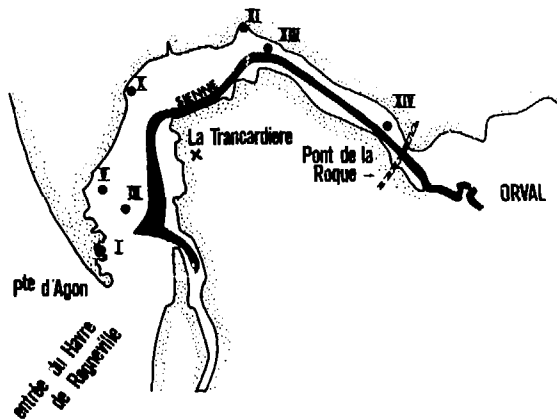


FIG.1 POSITIONS DES PRELEVEMENTS DE VASE LE LONG DU LITTORAL NORMAND



- I - SLIKKE SABLO-VASEUSE
- III - SLIKKE DU CHENAL DE LA SIENNE, TANGUAIE
- V - MARELLE DANS LE SCHORRE
- X - MARELLE DANS LE SCHORRE
- XI - CHENAL DE SCHORRE ENVASE
- XIII - SLIKKE DU CHENAL DE LA SIENNE, TANGUAIE
- XIV - SLIKKE DU CHENAL DE LA SIENNE, TANGUAIE

Fig.2 Etude de la Baie de Sienna.

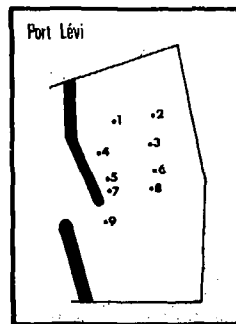
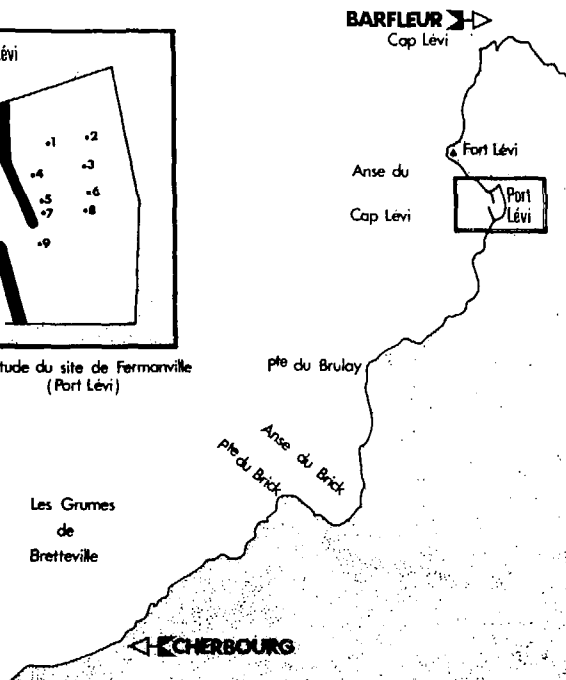


Fig.3. Etude du site de Fermanville (Port Lévi)



- Fig. 3 -

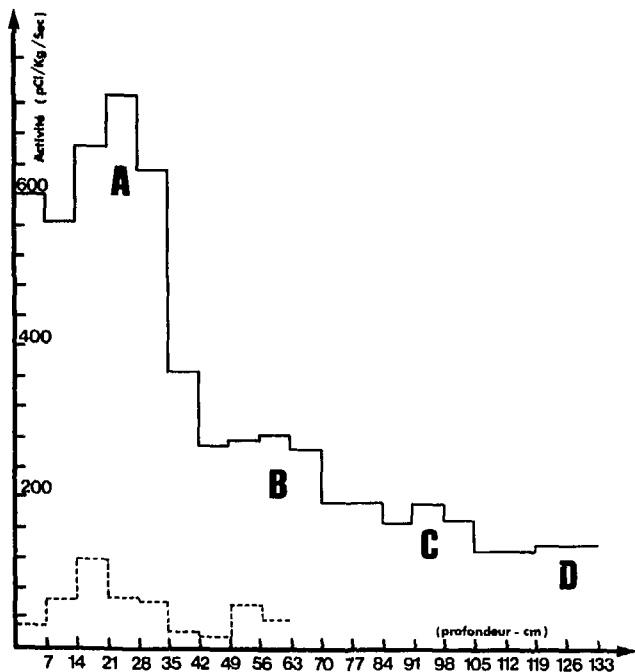


Fig. 4: Profils verticaux du ^{137}Cs (—) du ^{134}Cs (---) dans le port de Saint-Vaast le 7.05.75.

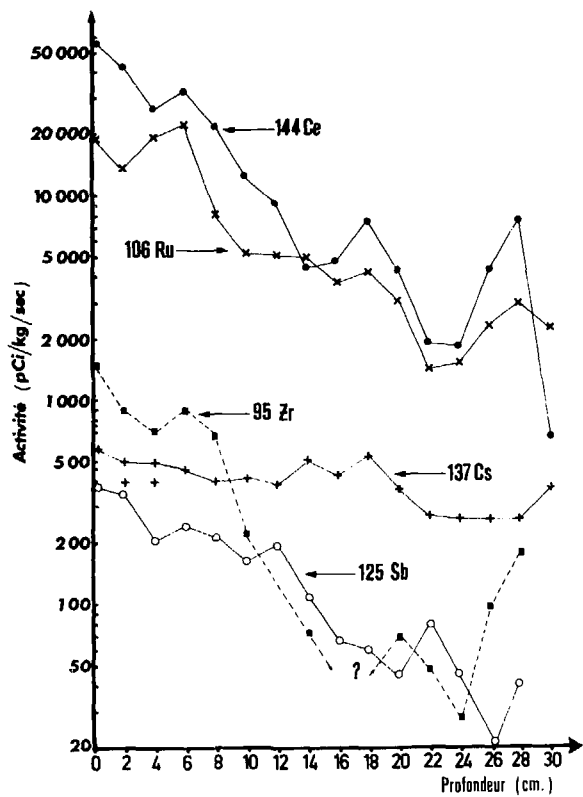


Fig. 5: Profil vertical de la radioactivité à Fermanville (pCi/kg de sédiment) le 13/2/75 dans la zone 5.7.9

Achevé d'imprimer
par
le CEA, Service de Documentation, Saclay
Mars 1976

DEPOT LEGAL
1er trimestre 1976

La diffusion, à titre d'échange, des rapports et bibliographies du Commissariat à l'Energie Atomique est assurée par le Service de Documentation, CEN-Saclay, B.P. n° 2, 91 190 - Gif-sur-Yvette (France).

Ces rapports et bibliographies sont également en vente à l'unité auprès de la Documentation Française, 31, quai Voltaire, 75007 - PARIS.

Reports and bibliographies of the Commissariat à l'Energie Atomique are available, on an exchange basis, from the Service de Documentation, CEN-Saclay, B.P. n° 2, 91 190 - Gif-sur-Yvette (France).

Individual reports and bibliographies are sold by the Documentation Française, 31, quai Voltaire, 75007 - PARIS.

Edité par

le Service de Documentation

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

Boîte Postale n° 2

91190 - Gif-sur-YVETTE (France)