

- Note CEA-N-1764 -

Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses  
Département de Protection  
Service de Recherches Toxicologiques et Ecologiques

et

Laboratoire de Biologie Marine  
Université de Nantes  
B.P. N° 1044  
44037 - NANTES CEDEX

INFLUENCE DE LA CONCENTRATION DU CESIUM STABLE  
DANS L'EAU DE MER SUR LA CONTAMINATION D'*ARENICOLA MARINA* L.  
(ANNELIDE - POLYCHETE) PAR LE CESIUM 137

par

Claude AMIARD-TRIQUET

- Novembre 1974 -

CEA-N-1764 - AMIARD-TRIQUET Claude

INFLUENCE DE LA CONCENTRATION DU CESIUM STABLE DANS L'EAU DE MER SUR  
LA CONTAMINATION d'*Arenicola marina* L. (Annelide Polychète) PAR LE  
CESIUM 137

Sommaire.- La contamination des Arénicoles par le césium 137 a été  
suivie sur neuf groupes expérimentaux et un groupe témoin. Diverses  
techniques d'analyses factorielles ont été utilisées pour exploiter  
les résultats. L'influence de la concentration en césium stable sur  
la contamination des organismes vivants par le césium 137 est discutée  
à la lumière de travaux antérieurs.

1974

29 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-N-1764 - AMIARD-TRIQUET Claude

INFLUENCE OF THE CONCENTRATION OF STABLE CAESIUM IN SEA-WATER ON THE  
CONTAMINATION OF *ARENICOLA MARINA* L. (Annelid-Polychaete) BY CAESIUM 137

Summary.- The contamination of Arenicola by  $^{137}\text{Cs}$  was studied in nine  
experimental and one control lots. The results were processed using  
several techniques of factorial analysis. The part played by the con-  
centration of stable caesium on the contamination by  $^{137}\text{Cs}$  of the  
living organisms is discussed, taking account of previous experiments.

1974

29 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

Note CEA-N-1764

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

en français

en anglais

CESIUM

CAESIUM

CESIUM 137

CAESIUM 137

ANNELIDES

ANNELIDS

EAU DE MER

SEA-WATER

CONCENTRATION RADIOECOLOGIQUE

RADIOECOLOGICAL CONCENTRATION

MATHEMATIQUES

MATHEMATICS

CINETIQUE DES RADIONUCLEIDES

RADIONUCLIDE KINETICS

ABSORPTION DES RADIOELEMENTS

UPTAKE

CONTAMINATION

CONTAMINATION

- Note CEA-N-1764 -

Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses  
Département de Protection  
Service de Recherches Toxicologiques et Ecologiques

et

Laboratoire de Biologie Marine  
Université de Nantes  
B.P. N° 1644  
44037 - NANTES CEDEX

INFLUENCE DE LA CONCENTRATION DU CESIUM STABLE  
DANS L'EAU DE MER SUR LA CONTAMINATION D'*ARENICOLA MARINA* L.  
(ANNELIDE - POLYCHETE) PAR LE CESIUM 137

par

Claude AMIARD-TRIQUET



## 1 - INTRODUCTION

Le caesium 137, radionucléide issu de la fission des noyaux lourds d'uranium, de plutonium et de thorium, peut être introduit dans le milieu marin à la suite d'explosions nucléaires dans l'atmosphère et lors du rejet d'effluents radioactifs liés à l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. Les concentrations atteintes sont faibles mais l'étude du caesium 137 est particulièrement importante en raison de la longue période (30 ans) de ce radioisotope.

De plus, dans les processus biologiques, le caesium, chimiquement proche du potassium, a un comportement voisin de celui de cet élément indispensable à la vie [1, 2].

L'Arénicole est une espèce fouisseuse caractéristique des milieux sableux. Elle ingère, selon des cycles assez réguliers, le sédiment dans lequel elle vit [3, 4]. La nourriture est essentiellement puisée au niveau des couches sous-jacentes au premier demi-décimètre et le sédiment ingéré n'est pas trié par le ver [5]. La fraction utilisable de la nourriture est constituée par la matière organique qui accompagne le bol alimentaire ; on connaît mal toutefois les processus d'assimilation.

## 2 - PROTOCOLE EXPERIMENTAL

2.1. - Aquariologie.

Les expériences de contamination sont réalisées dans des aquariums de 50 litres en résine armée de fibres de verre.

Une couche de sédiment provenant du lieu même où ont été récoltées les Arénicoles garnit le fond de l'aquarium sur une épaisseur de 15 à 20 cm. Le sédiment est surmonté de 25 litres d'eau de mer. Une filtration et une aération permanentes de l'eau sont assurées par un microfiltre NEPT.

L'expérimentation est effectuée à température constante :  $15 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

2.2. - Surcharges en caesium stable.

Le caesium stable a été introduit dans l'eau de mer sous forme de chlorure.

Une expérience préliminaire sur la toxicité de CsCl a été menée sur des groupes de dix Arénicoles. La dose létale 50 % après huit jours correspond à une surcharge de 8 mM de CsCl par litre.

En conséquence, les surcharges ont été échelonnées entre 0,001 et 6 mM/l.

2.3. - Contamination par le caesium 137.

Le caesium 137 a été introduit dans l'eau de mer sous forme de chlorure en solution neutre sans entraîneur et ce, au moment même où étaient effectuées les surcharges en caesium stable.

Tous les aquariums ont été contaminés par le caesium 137 à 10  $\mu\text{Ci/l}$  environ, ce qui correspond à un apport de l'ordre de  $0,7 \cdot 10^{-6}$  mM/l.

Lorsque la radioactivité de l'eau a été stabilisée, les Arénicoles ont été placées en stabulation dans le milieu expérimental, à raison de 15 individus par aquarium.

Remarque : D'après SMALES et SALMON [6] la concentration naturelle du caesium stable dans l'eau de mer est de  $0,5 \pm 0,05$   $\mu\text{g/l}$ , soit environ  $3,5 \cdot 10^{-6}$  mM/l.

#### 2.4. - Prélèvements.

Des prélèvements d'eau quotidiens ont été effectués pour vérifier que la radioactivité de l'eau restait constante tout au long de l'expérience.

Après huit jours, c'est-à-dire quand leur radioactivité n'augmente plus, les Arénicoles sont prélevées, rincées à l'eau de mer inactive, essuyées sur papier absorbant. Le tube digestif est vidé aussi bien que possible de son contenu sédimentaire, en évitant de blesser l'animal. Les vers entiers sont pesés et leur radioactivité totale mesurée.

Le liquide coelomique est ensuite prélevé à la seringue à travers les téguments puis les Arénicoles sont disséquées. On isole le tube digestif avec les sinus sanguins et le tissu chloragogène, les muscles et le tégument de trois régions : thoracique, abdominale et caudale.

Remarque : Dans la suite de ce texte, en parlant de "tube digestif", on sous-entendra "tube digestif et organes annexes".

On effectue donc pour chaque individu six mesures de radioactivité sur :

- l'animal entier (variable 1),
- le liquide coelomique (variable 2),
- le tube digestif (variable 3),
- le tégument et les muscles thoraciques (variable 4),
- le tégument et les muscles abdominaux (variable 5),
- le tégument et les muscles caudaux (variable 6).

### 2.5. - Mesures de radioactivité.

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un sélecteur 400 canaux (INTERTECHNIQUE SA 40 B) muni d'une tête scintillatrice à cristal-puits d'iodure de sodium activé au thallium.

Les résultats sont exprimés en nCi par gramme de tissus frais ou par  $\text{cm}^3$  d'eau ("activité spécifique").

Les facteurs de concentration sont définis comme le rapport :

$$\text{F.C.} = \frac{\text{Activité spécifique de 1 g de tissus frais}}{\text{Activité spécifique de 1 cm}^3 \text{ d'eau de mer.}}$$



3 - RESULTATS ET EXPLOITATION STATISTIQUE <sup>1)</sup>3.1. - Résultats.3.1.1. - Contamination de l'eau.

Nous constatons (Fig.1) que la radioactivité de l'eau décroît lorsque le rapport  $^{137}\text{Cs}/\text{Cs}$  total augmente. Elle prend une valeur minimum lorsque ce rapport atteint son maximum, c'est-à-dire dans l'eau de mer naturelle.

3.1.2. - Contamination des Arénicoles.

Le tableau I fournit les facteurs de concentration moyens du caesium  $^{137}$  (calculés sur 9 à 14 individus) pour chaque organe de l'Arénicole dans chaque série expérimentale. Sauf pour le liquide coelomique, les écarts-types sont importants, ce qui correspond à une forte variabilité individuelle.

Ces valeurs moyennes ont été représentées (Fig.2) en fonction de l'activité spécifique de l'eau de mer à l'équilibre.

Remarque : Le rapport  $^{137}\text{Cs}/\text{Cs}$  total est identique dans l'eau et dans le sédiment. Dans ces conditions, les variations de la radioactivité de l'eau à l'équilibre rendent compte de la valeur de ce rapport dans les différentes séries expérimentales.

---

1) L'étude statistique des résultats a été réalisée avec la collaboration du Groupe Calcul du Département de Protection, Commissariat à l'Energie Atomique.

Les courbes obtenues sont difficilement assimilables à des fonctions simples, sauf en ce qui concerne l'animal entier (Fig.2A) et le liquide coelomique (Fig.2B).

### 3.2. - Régressions.

Pour simplifier l'interprétation des résultats, nous avons représenté (Fig.2) les droites de régression de Y en X où Y correspond aux facteurs de concentration du caesium 137 dans les différents organes et X, à l'activité spécifique de l'eau de mer à l'équilibre. Chaque valeur de Y est affectée de son intervalle de confiance.

Lorsque l'activité spécifique de l'eau de mer augmente, l'activité spécifique des vers augmente. Pour l'animal entier, elle est environ de 3,41 nCi/g dans l'eau de mer naturelle et elle atteint 26,24 nCi/g dans une eau de mer ayant reçu une surcharge de 6 mM de caesium stable par litre. On observe par contre une décroissance significative du facteur de concentration lorsque l'activité spécifique de l'eau (et la surcharge en Cs stable) augmente (Fig.2A).

Le facteur de concentration du caesium 137 dans le liquide coelomique reste sensiblement constant quel que soit le milieu expérimental.

L'augmentation de l'activité spécifique de l'eau (et de la teneur de l'eau en caesium stable) exerce une nette influence dépressive sur l'accumulation du caesium 137 par le tube digestif (Fig.2C).

En ce qui concerne les téguments des différentes régions de l'organisme, on constate que la droite de régression présente une pente légèrement négative. Cependant le test de Student indique que l'augmentation de l'activité spécifique de l'eau n'a pas une influence significative sur la concentration du caesium 137 dans les téguments.

### 3.3. - Analyse factorielle en composantes principales.

#### 3.3.1. - Principe.

L'analyse factorielle en composantes principales est une technique de description des données.

Chaque individu caractérisé par les valeurs de  $p$  variables peut être représenté par un point dans l'espace vectoriel à  $p$  dimensions. Le nuage de points formé par  $n$  individus dans cet espace ne peut être visualisé graphiquement.

Le but de l'analyse factorielle en composantes principales est de trouver la meilleure représentation du nuage dans un sous-espace à  $p'$  dimensions,  $p'$  étant inférieur à  $p$ . Ce sous-espace est tel que la somme des carrés des distances des points à leur projection soit minimale. Lorsque cette condition est réalisée, la contribution à l'inertie est maximum pour la première composante principale (c'est-à-dire que le premier axe principal contient le maximum d'"information") et présente un second maximum pour la deuxième composante principale (orthogonale à la première) et ainsi de suite.

Les proximités relatives des points dans les premiers plans principaux permettent de grouper des individus ayant des comportements similaires.

Les axes principaux pourraient être considérés comme l'expression de "facteurs" responsables des groupements.

De plus, l'analyse en composantes principales renseigne sur les corrélations entre variables initiales ainsi que sur les corrélations entre les variables initiales et les composantes principales.

Les éléments mathématiques de l'analyse factorielle en composantes principales ont été exposés par AMIARD, CAILLIEZ et coll., CAZES et LE BART et FENELON [7, 8, 9, 10] .

### 3.3.2. - Données fournies par l'analyse.

Les calculs et les graphiques ont été réalisés sur ordinateur IBM 360-91.

Les données fournies par l'analyse sont :

- I - Tableau des données initiales individu par individu et caractère par caractère.
- II - Caractéristiques des variables : moyenne, écart-type, coefficient de variation et observations minimales et maximales.

- III - Histogrammes de la distribution des individus pour chaque variable.
- IV - Tableau des fréquences et des fréquences cumulées des variables.
- V - Matrice de covariance des caractères initiaux.
- VI - Matrice de corrélation des caractères initiaux.
- VII - Etude de la matrice de corrélation avec trace de la matrice, valeurs propres, contribution à l'inertie de chaque composante principale, vecteurs unitaires des axes principaux associés.
- VIII - Corrélations entre les variables initiales et les composantes principales.
- IX - Corrélations multiples entre les variables initiales et les k composantes principales considérées ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ).
- X - Cosinus des angles formés par les axes initiaux et les sous-espaces principaux.
- XI - Coordonnées des observations dans le nouveau système d'axes.
- XII - Rapport de la distance aux sous-espaces principaux des points - observations à la distance moyenne des points du nuage.
- XIII - Cosinus des angles formés par les "vecteurs - observations" et les différents sous-espaces principaux.
- XIV - Graphiques représentant le nuage des observations et la projection des axes initiaux dans les trois premiers plans principaux.
- XV - Graphiques représentant l'ensemble des corrélations entre variables initiales et composantes principales.

### 3.3.3. - Résultats de l'analyse sur les groupes expérimentaux G1 à G10.

Cette analyse a été effectuée sur 101 Arénicoles ayant subi une surcharge en caesium stable et sur le groupe témoin G1.

Les histogrammes des variables (définies en 2.4.) ne présentent pas de modes bien caractérisés correspondant aux divers groupes expérimentaux (tableau II).

La matrice des corrélations (tableau III) indique que la variable 1 est corrélée avec les variables 3, 4 et 5 et qu'elle n'est pas corrélée avec 2 et 6. La variable 2 n'est pas corrélée avec les autres variables sauf -faiblement- avec la variable 3. La variable 3 est peu ou pas corrélée avec toutes les variables sauf 1. Les variables 4, 5 et 6 sont corrélées entre elles, les corrélations 5-6 et surtout 4-6 étant cependant assez faibles.

Le cercle des corrélations (Fig. 3bis) indique que les variables 1, 4 et 5 sont corrélées positivement avec l'axe principal 1, les variables 2 et 3 sont corrélées positivement avec l'axe principal 2. Les variables 2 et 6 sont assez éloignées du cercle, donc assez mal représentées. On peut considérer que la variable 2 se rapproche de 3 pour former un groupe orthogonal au groupe des variables 4, 5 et 6.

Le plan principal (Fig.3) contient 59 % de l'information initiale. Le nuage de points s'allonge parallèlement à l'axe principal 1. Les différents groupes expérimentaux ne sont pas parfaitement distincts. Cependant les groupes les moins contaminés (G7 à G10) se situent à gauche du plan principal, les groupes G3 et G6 se rapprochent du centre de gravité C du nuage, le groupe G2 et le groupe témoin G1 se situent à droite du plan principal.

### 3.4. - Analyse factorielle discriminante.

#### 3.4.1. - Principe.

L'analyse discriminante peut être définie comme une analyse en composantes principales effectuée sur le nuage des centres de gravité des groupes.

Elle permet de classer les données dans un but prévisionnel.

A chaque individu sont associés p caractères quantitatifs (dans nos analyses : variables de radioactivité) et un caractère qualitatif (composition de l'eau de mer). Le but de l'analyse sera de préciser l'effet du facteur "composition de l'eau de mer" (variable explicative) sur la radioactivité des organismes (variables à expliquer).

Les éléments mathématiques de l'analyse discriminante ont été exposés par CAILLEZ et coll. [8] .

#### 3.4.2. - Données fournies par l'analyse.

Les calculs et les graphiques ont été réalisés sur ordinateur IBM 360-91.

Un premier programme prépare les données pour l'analyse discriminante et fournit successivement :

- I - Tableau des données initiales variable par variable et individu par individu.
- II - Caractéristiques des variables : moyenne, écart-type, observations minimale et maximale pour chaque groupe expérimental.
- III - Histogrammes de la distribution des individus et des groupes expérimentaux pour chaque variable.
- IV - Tableau récapitulatif des histogrammes.
- V - Matrice de covariance.
- VI - Matrice de corrélation.
- VII - Matrice de corrélation à l'intérieur de chaque groupe.
- VIII - Matrice de variance "inter-classe".
- IX - Tests de Student pour toutes les variables et pour toutes les combinaisons de deux groupes.
- X - Tableau des données centrées.
- XI - Tableau des centres de gravité des groupes.

Le second programme permet d'obtenir des graphiques représentant le nuage des observations et des centres de groupes dans les trois premiers plans discriminants. Les projections des axes initiaux apparaissent également dans ces plans. Les corrélations entre variables initiales et caractères discriminants sont également représentées graphiquement.

### 3.4.3. - Tests de Student.

Le programme calcule les valeurs du t de Student pour les six variables et pour tous les groupes expérimentaux pris deux à deux. Il donne également les probabilités d'obtenir des t supérieurs. On juge d'après cette probabilité si la différence entre deux moyennes est significative.

Les résultats des tests sont résumés dans le tableau IV.

Pour toutes les variables, des différences significatives intergroupes sont constatées. Le nombre de ces différences est maximum pour l'animal entier (variable 1) et le tube digestif (variable 3). Ceci corrobore les résultats obtenus lors de la détermination des droites de régression.

L'analyse en composantes principales sur les groupes 1 à 10 ne permettait pas de bien séparer tous les groupes dans le plan principal. Même pour les groupes qui paraissaient pratiquement confondus, les tests de Student mettent en évidence des différences significatives entre les moyennes des différents groupes expérimentaux pour plusieurs variables.

### 3.4.4. - Résultats de l'analyse discriminante.

Dans le plan discriminant (Fig.4), les groupes G1 et G2 (à droite du plan) s'opposent nettement à G5 et G6. Tous les autres groupes occupent une position moyenne et se confondent en un seul nuage.

La matrice de corrélation est identique à celle présentée dans le tableau III pour l'analyse en composantes principales.

Les matrices de corrélations intra-groupes indiquent une grande hétérogénéité des corrélations d'un groupe à l'autre. Cependant à l'intérieur de la majorité des groupes, on observe une forte corrélation entre les variables 4 et 5, ces deux variables étant généralement plus ou moins fortement corrélées avec 6.

Le cercle des corrélations (Fig. 4bis) indique que les variables 1, 4 et 5 sont corrélées positivement avec le caractère discriminant 1, les variables 2,

3 et 6 étant faiblement corrélées négativement avec ce caractère 1. Il faut remarquer que les variables sont situées loin du cercle et qu'elles sont donc mal représentées.

### 3.5 - Comparaison des résultats fournis par les différentes techniques d'analyse.

La disposition dans le plan principal des nuages de points correspondant aux groupes expérimentaux G1 à G10 n'est pas identique pour les deux types d'analyses factorielles.

Dans le plan obtenu lors de l'analyse discriminante (Fig.4) les groupes G1 et G2 occupent sensiblement la même position que dans le plan principal résultant de l'analyse en composantes principales (Fig.3). Par contre les groupes G5 et G6 sont nettement déportés sur la gauche.

En ce qui concerne le groupe G5, on observe de grands écarts-types pour toutes les variables sauf la variable 2. L'analyse en composantes principales nous a montré que le ver 1401 est très excentré par rapport aux autres vers du groupe. L'existence de ce point très excentrique entraîne une modification de la position du centre de gravité du groupe G5. L'analyse discriminante étant faite sur les centres de gravité, tout le groupe peut se trouver déplacé.

Pour le groupe G6, une telle explication n'est pas évidente.

On constate que les groupes 5 et 6 sont déplacés dans la direction des variables initiales 2, 3 et 6. Ceci est à rapprocher du fait que les variables 3 et 6 ont des valeurs particulièrement élevées pour les individus des groupes 5 et 6.

Les matrices de corrélation entre les six variables initiales fournies par les deux types d'analyses sont évidemment identiques. Ces corrélations calculées globalement pour des Arnicules appartenant à des groupes différents sont difficilement exploitables. En effet, la stabilité intragroupe est faible,



ce qui est normal, chaque groupe réunissant peu d'individus.

L'analyse en composantes principale permet de décrire et de contrôler les données.

Notre but étant d'établir des distinctions entre plusieurs groupes expérimentaux, l'analyse discriminante est en principe plus adaptée à ce problème particulier. Cependant, étant donné le nombre relativement important de groupes et la forte variabilité intra-groupe, il ne semble pas que le plan discriminant sépare plus efficacement les groupes expérimentaux.

Le programme de l'analyse discriminante a cependant l'intérêt de fournir les matrices de corrélation pour chaque groupe, ce qui renseigne sur la variabilité intra-groupe. Il fournit également les résultats des tests de Student qui, nous l'avons vu, sont un complément non négligeable des analyses factorielles.

## 4 - DISCUSSION ET CONCLUSION

Nous avons constaté qu'à des concentrations croissantes de caesium stable dans le milieu correspondait une augmentation de l'activité spécifique des Arénicoles. De même, en milieu terrestre, NISHITA et coll. [11] ont observé que l'addition de caesium stable entraînait une augmentation de la contamination des plantes par le caesium 137.

Donc, dans ces deux milieux, le phénomène de compétition isotopique n'influe pas sur l'activité spécifique des organismes vivants.

D'après les principes des échanges d'ions, NISHITA et coll. [12] expliquent que l'addition d'un entraîneur provoque une diminution de la fraction de radiocaesium s'adsorbant sur le sol (ou dans notre cas, sur le sédiment marin). Dans ces conditions, une quantité importante de caesium 137 demeure dans l'eau interstitielle en milieu terrestre, dans l'eau de mer surmontant le sédiment de nos aquariums. Alors qu'en absence d'entraîneur, une partie importante du caesium 137 est très fortement liée au sédiment et ne contamine pas les organismes vivants, en présence d'entraîneur, le caesium 137 en solution peut être accumulé par les espèces.

Ces résultats confirment l'hypothèse selon laquelle le vecteur de contamination essentiel des Arénicoles par le caesium 137 serait l'eau de mer et non le sédiment [13].

Dans les plans principaux fournis par les analyses factorielles, la disposition relative des groupes met en évidence un classement des individus en fonction du niveau de contamination de l'organisme (exprimé en facteurs de concentration) et de la radioactivité résiduelle de l'eau de mer à l'équilibre, après sorption du caesium 137 sur le sédiment.

Les facteurs de concentration du caesium 137 dans les différents organes de l'Arénicole sont affectés par les variations du rapport  $^{137}\text{Cs}/\text{Cs}$  total dont l'activité spécifique de l'eau de mer à l'équilibre est le reflet. Ce phénomène est significatif pour l'animal entier et pour le tube digestif.

Les faits nous suggèrent diverses hypothèses pour rendre compte du mécanisme responsable de la contamination du tube digestif mais aucune n'est assez satisfaisante pour que nous l'évoquions ici.

Remarque : Etant donné que la radioactivité du tube digestif est nettement plus forte que celle des autres organes, elle participe de façon prépondérante à la contamination totale de l'organisme entier.

Des observations du même ordre ont été faites chez le Protiste *Euglenia intermedia* : le facteur de concentration du caesium 137 est une fonction exponentielle de la teneur du milieu en caesium stable [14].

Il ne semble pas que l'addition d'entraîneur exerce une action dépressive sur les facteurs de concentration du caesium 137 dans les téguments, les muscles et le liquide coelomique de l'Arénicole.

De même, chez *Sphaeroma hookeri*, BRYAN [15] constate que l'addition d'entraîneur n'affecte pas les facteurs de concentration du caesium 137.

Ceci n'est possible que si le rapport  $^{137}\text{Cs}/\text{Cs}$  total est identique dans le milieu intérieur et dans le milieu extérieur. Cette identité a été constatée par NELSON [16] dans les eaux de la Clinch River contaminées de façon variable au cours du temps et dans l'organisme des poissons qui y vivent. Cela signifie qu'à une augmentation de la concentration du caesium (stable ou radioac-

tif) dans le milieu extérieur correspond une augmentation de la concentration du caesium (stable ou radioactif) dans le milieu intérieur.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] BRYAN G.W.  
The accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  by brackish water Invertebrates and its relation to the regulation of potassium and sodium  
J. mar. biol. Ass. U. K., 1963, 43, 2, 541-565.
- [2] BRYAN G.W. & WARD E.  
Potassium metabolism and the accumulation of  $^{137}\text{caesium}$  by decapod Crustacea  
J. mar. biol. Ass. U. K., 1962, 42, 199-241.
- [3] BLEGVAD H.  
Food and conditions of nourishment among the communities of Invertebrate animals found on or in the sea-bottom in Danish waters  
Rep. Danish Biol. Stat., 1914, 22, 41-79.
- [4] WELLS G.P.  
The mode of life of *Arenicola marina* L.  
J. mar. biol. Ass. U. K., 1945, 26, 2, 170-207.
- [5] AMOUREUX L.  
Notes biologiques et écologiques sur l'Arénicole  
C. R. Soc. Biol. Paris, 1963, 157, 10, 1711-1715.

- [6] SMALES A.A. & SALMON L.  
Determination by radioactivation of small amounts of rubidium and caesium in seawater and related materials of geochemical interest  
Analyst, 1955, 80, 37-40.
- [7] AMIARD J.C.  
Contribution à l'étude du métabolisme du strontium et du calcium chez deux espèces de Téléostéens marins, le Mulet (*Mugil auratus* Risso) et la Plie (*Pleuronectes platessa* L.)  
Thèse de spécialité, Université de Paris VI, 1972.
- [8] CAILLIEZ F., MAILLES J.P., NAKACHE J.P. & PAGES J.P.  
Analyse des données multidimensionnelles  
C3E, Centre d'études économiques d'entreprises, Paris, 1971.
- [9] CAZES P.  
Application de l'analyse des données à l'étude des problèmes géologiques  
Thèse de spécialité, Université de Paris VI, 1970.
- [10] LE BART L. & FENELON J.P.  
Statistiques et informatique appliquées  
Dunod, Paris, 1971.
- [11] NISHITA H.  
Influence of K and Cs on the release of  $^{137}\text{Cs}$  from three soils  
Soil Sci., 1960, 89, 167-176.
- [12] NISHITA H., TAYLOR P., ALEXANDER G.V. & LARSON K.H.  
Influence of stable Cs and K on the reactions of Cs 137 and K 42 in soils and clay minerals  
Soil Sci., 1962, 94, 3, 187-197.

- [13] AMIARD-TRIQUET C.  
Etude comparative de la contamination par le caesium 137 et le cobalt 60  
de quelques Invertébrés marins fouisseurs  
Rev. Trav. Inst. Sci. Tech. Pêches marit. (à paraître).
- [14] WILLIAMS L.G.  
Uptake of  $^{137}\text{Cs}$  by cells and detritus of *Euglena* and *Chlorella*  
Limnol. Oceanogr., 1960, 5, 3, 301-311.
- [15] BRYAN G.W.  
The accumulation of radiocaesium by marine and brackish water Invertebrates  
Proc. Symposium Nuclear Detonations and Marine Radioactivity, Norwegian  
Defense Research Establishment, Kjeller, 16-20 Sept. 1963 (SMALL S.H.,  
Ed.), 85-93.
- [16] NELSON D.J.  
Cesium, cesium 137 and potassium concentrations in White Crappie and  
other Clinch River fish  
Second National Symposium on Radioecology, Ann Harbor, May 15-17, 1967,  
CONF - 670503, 240-248.

*Manuscrit reçu le 4 septembre 1974*





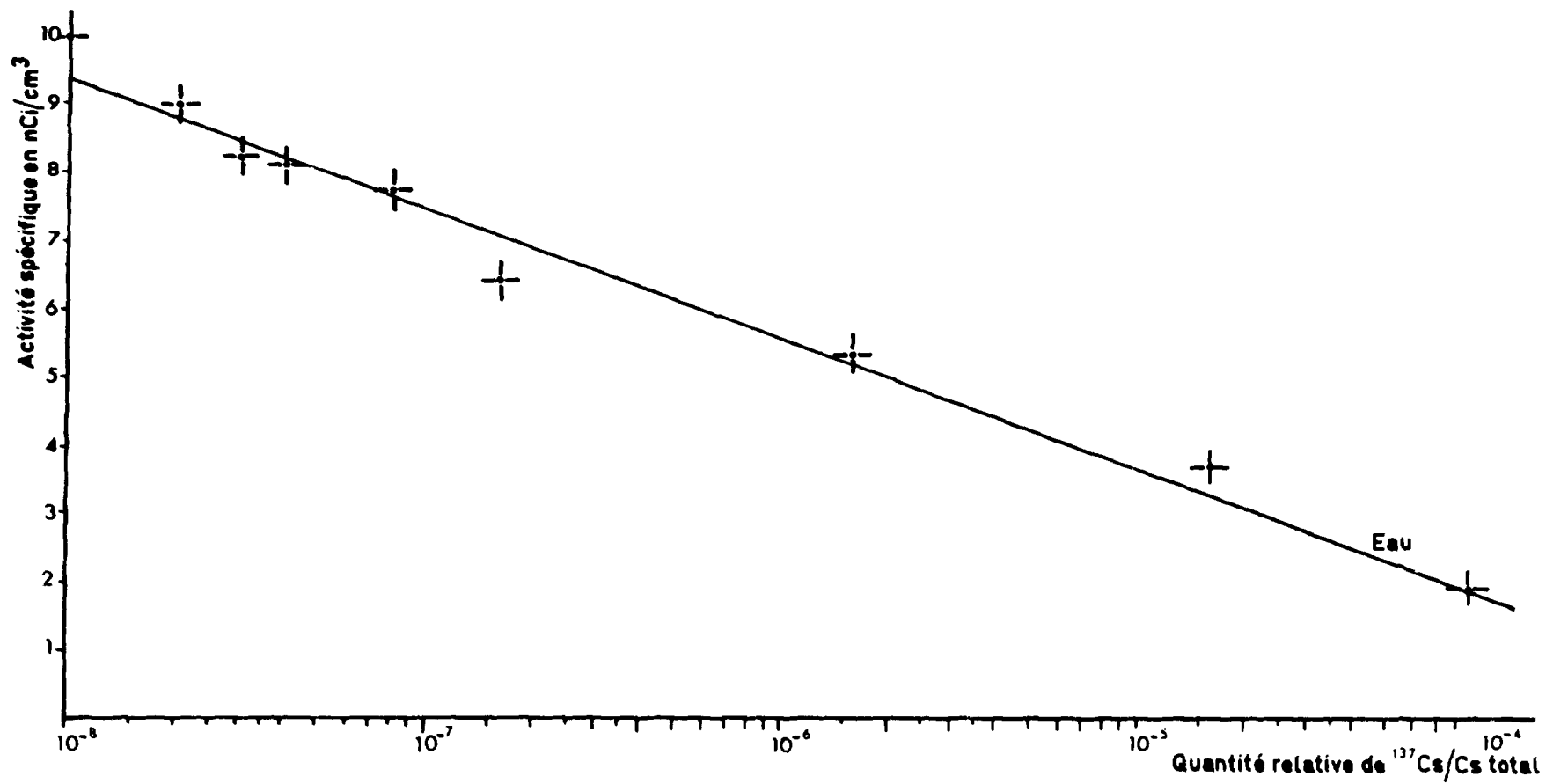


Figure 1 - Activité spécifique de l'eau à l'équilibre dans les diverses séries expérimentales.

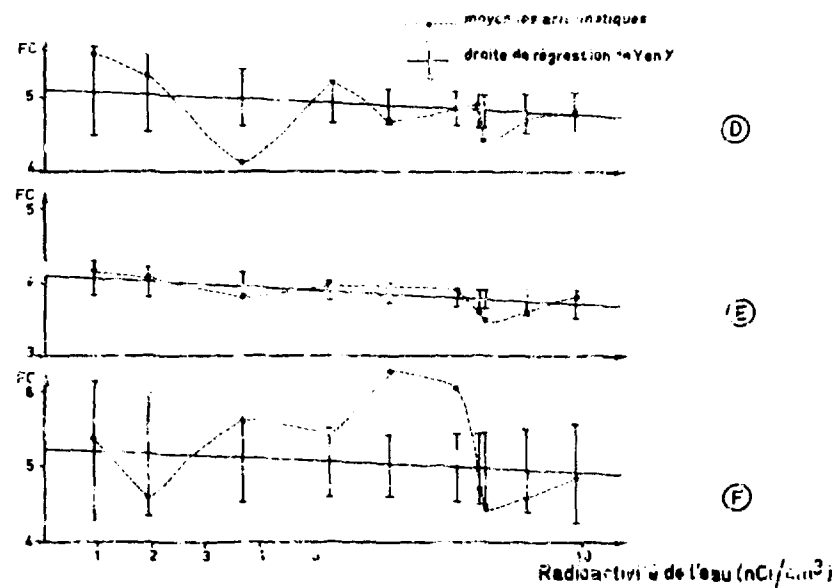
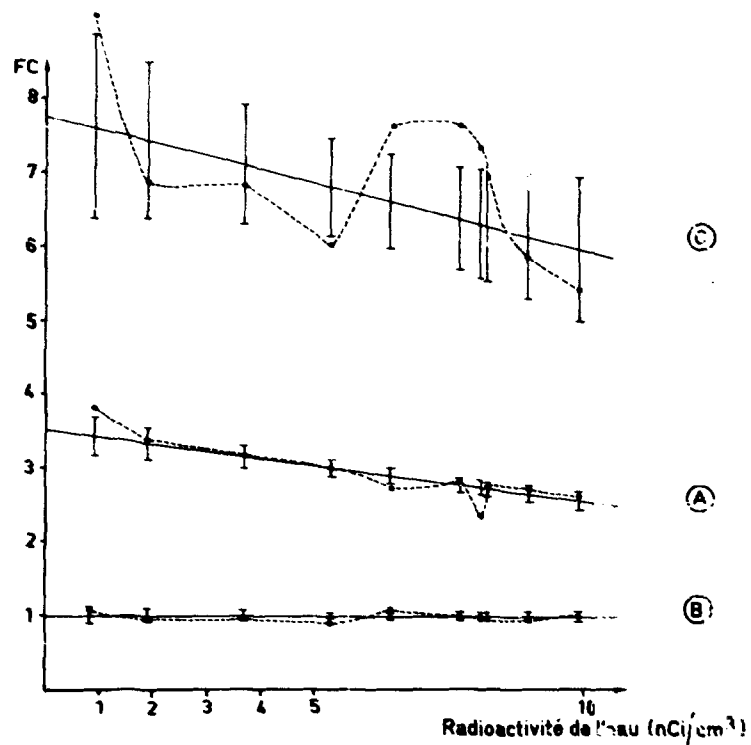


Figure 2 - Influence d'une surcharge en CsCl sur la contamination d'*Arenicola marino* par le caesium 137.

A - Animal entier  
 B - Liquide coelomique  
 C - Tube digestif

D - Tégument thoracique  
 E - Tégument abdominal  
 F - Tégument caudal.

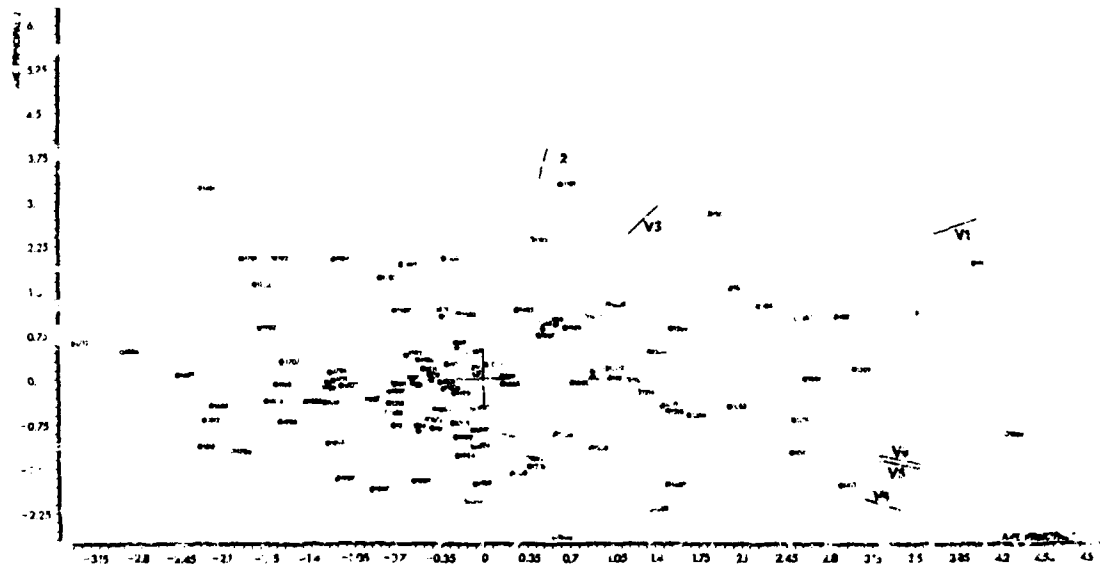


Figure 3 - Analyse en composantes principales : plan principal.

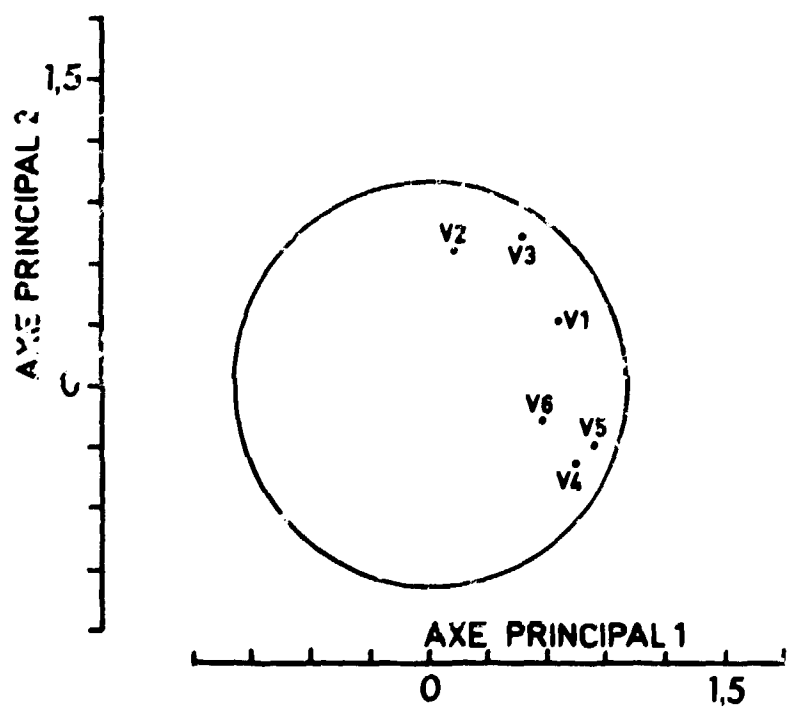


Figure 3 bis - Analyse en composantes principales : cercle des corrélations entre variables initiales et composantes principales.

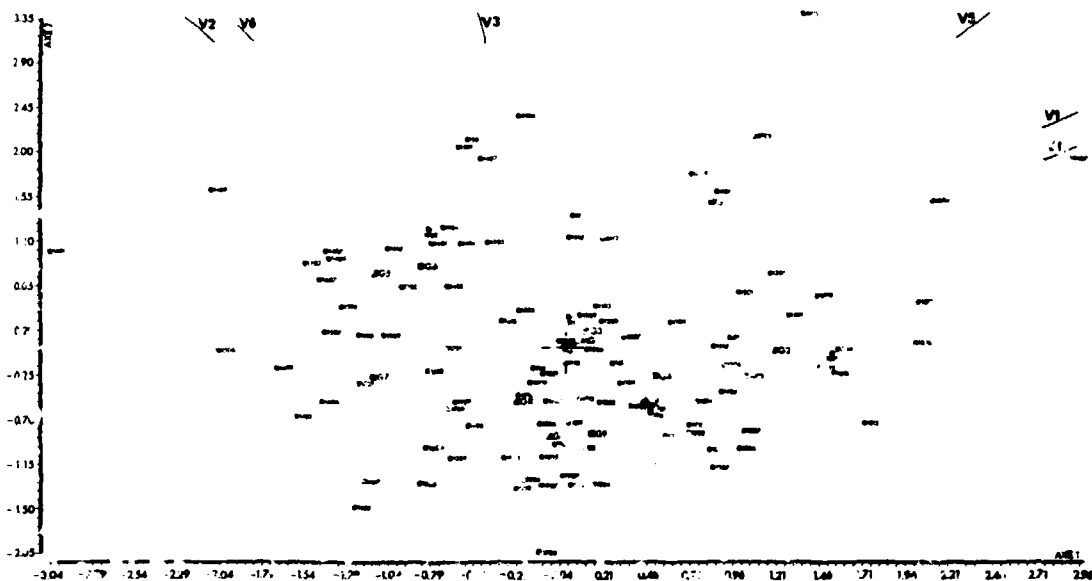


Figure 4 - Analyse discriminante : plan discriminant.

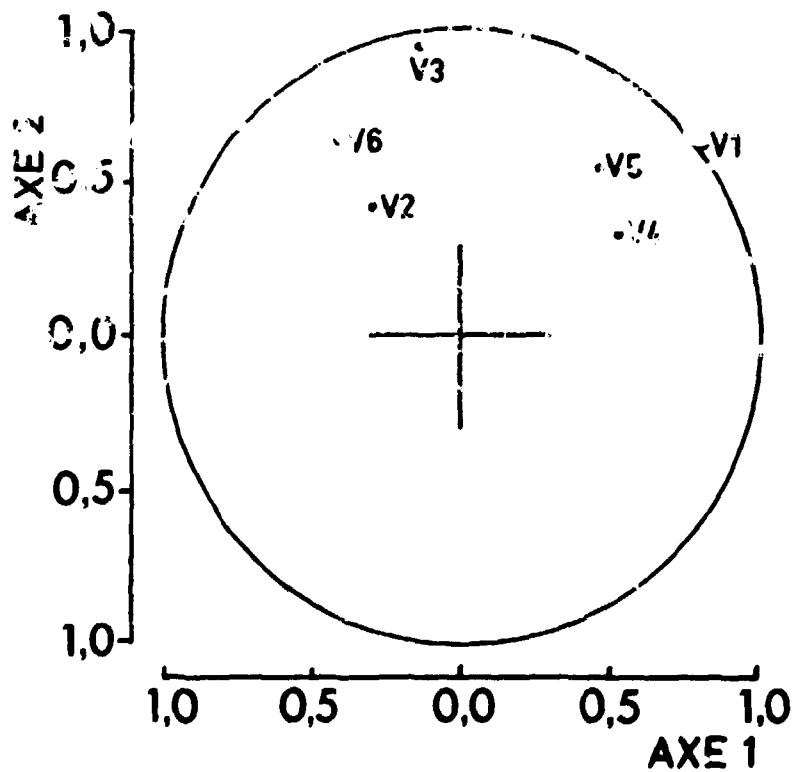


Figure 4 bis - Analyse discriminante : cercle des corrélations entre variables initiales et composantes principales.

Tableau I - Contamination de l'eau et de 8 spécimens biologiques par le caesium 137.

Surcharge en Cs stable (µM/l)	Numéro des groupes  Numéro des Arénicoles	Activité spécifique de l'eau (µBi/l.m <sup>3</sup> )	F.C. dans l'animal entier (Variable 1)	F.C. dans le liquide coelomique (Variable 2)	F.C. dans le tube digestif (Variable 3)	F.C. dans les téguments et les muscles thoraciques (Variable 4)	F.C. dans les téguments et les muscles abdominaux (Variable 5)	F.C. dans les téguments et les muscles caudaux (Variable 6)
0	G1 101-112	0,89	3,64 ± 0,51	1,02 ± 0,12	3,90 ± 1,12	5,39 ± 0,59	4,00 ± 0,74	5,20 ± 0,98
0,001	G2 1001-1014	1,92	3,35 ± 0,31	0,16 ± 0,06	5,85 ± 0,76	5,30 ± 0,90	4,08 ± 0,47	4,56 ± 0,79
0,001	G3 1101-1111	3,73	3,09 ± 0,33	1,06 ± 0,15	6,82 ± 1,19	4,23 ± 0,62	3,80 ± 0,54	5,23 ± 0,51
0,05	G4 1201-1214	5,39	1,00 ± 0,41	0,69 ± 0,09	6,02 ± 0,78	5,20 ± 0,52	3,98 ± 0,33	5,47 ± 0,95
0,	G5 1401-1410	6,45	2,73 ± 0,36	1,05 ± 0,06	7,64 ± 1,43	4,67 ± 0,88	3,92 ± 0,71	6,29 ± 1,26
1	G6 1504-1511	7,77	2,83 ± 0,46	0,93 ± 0,08	7,59 ± 1,09	4,96 ± 0,38	3,98 ± 0,47	6,28 ± 0,80
2	G7 1601-1611	8,15	2,35 ± 0,36	1,02 ± 0,06	7,30 ± 1,59	4,87 ± 0,39	3,67 ± 0,53	4,71 ± 0,45
1	G8 1701-1712	8,27	2,07 ± 0,27	0,94 ± 0,07	6,86 ± 1,10	4,34 ± 0,52	3,49 ± 0,22	4,40 ± 0,84
4	- 801-1812	9,04	2,71 ± 0,18	0,92 ± 0,05	5,84 ± 0,97	4,70 ± 0,54	3,62 ± 0,41	4,56 ± 0,70
6	G9 1901-1909	9,48	2,57 ± 0,19	0,98 ± 0,08	5,50 ± 0,66	4,86 ± 0,28	3,85 ± 0,37	4,95 ± 0,63

	VARIABLE 1										VARIABLE 3											
19											1703											
18											1732											
17											1811											
16											1735											
15											1807											
14											1802											
13											1875											
12											1872											
11											1871											
10											1870											
9											1812											
8											1811											
7											1809											
6											1808											
5											1807											
4											1806											
3											1805											
2											1804											
1											1803											
CLASSE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
FREQUENCE	9	11	21	24	17	13	8	5	0	2	5	8	19	27	16	9	11	8	4	3		
FREQUENCE RELATIVE	9	20	41	67	84	99	105	109	108	111	4	12	31	58	76	85	96	104	108	111		
19																						
18																						
17																						
16																						
15																						
14																						
13																						
12																						
11																						
10																						
9																						
8																						
7																						
6																						
5																						
4																						
3																						
2																						
1																						
CLASSE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
FREQUENCE	3	15	24	35	49	61	72	80	87	93	3	5	13	32	29	19	5	4	0	1		
FREQUENCE RELATIVE	3	18	31	38	45	50	53	55	56	57	3	8	21	53	42	23	6	5	0	1		

Tableau II - Histogramme des fréquences des variables 1 à 4.

Variabes	V1	V2	V3	V4	V5	V6
V1	1 000					
V2	0 021	1 000				
V3	0 448	0 275	1 000			
V4	0 312	- 0 053	0 047			
V5	0 359	0 051	0 107	0 629	1 000	
V6	0 074	- 0 015	0 190	0 241	0 420	1 000

Tableau III - Analyse en composantes principales : matrice de corrélation des variables initiales.

Variables Probabilités	1	2	3	4	5	6
$P \leq 0,01$	19	8	18	10	2	11
$P \leq 0,05$	28	19	26	17	6	23

Tableau IV - Tests de STUDENT (nombre de cas où la probabilité P d'obtenir des valeurs du t de Student supérieures au t calculé est inférieure à 0,01 ou 0,05).

*Edité par*

*le Service de Documentation*

*Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay*

*Boîte Postale n° 2*

*91190 - Gif-sur-YVETTE (France)*