

**EUR 4272 f**

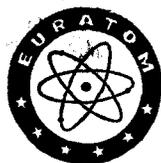
ASSOCIATION EURATOM/C.E.A.  
Communauté Européenne de l'Energie Atomique - EURATOM  
Commissariat à l'Energie Atomique - C.E.A.

**LIBRARY**

**NIVEAUX DE CONTAMINATION RADIOACTIVE  
DU MILIEU AMBIANT  
ET DE LA CHAINE ALIMENTAIRE**

**Rapport annuel 1967**

**1969**



Travail effectué au C.E.A.  
Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses, France  
Département de la Protection Sanitaire

Association N° 003-63-10 PSAF

## AVERTISSEMENT

Le présent document a été élaboré sous les auspices de la Commission des Communautés Européennes.

Il est précisé que la Commission des Communautés Européennes, ses contractants, ou toute personne agissant en leur nom :

ne garantissent pas l'exactitude ou le caractère complet des informations contenues dans ce document, ni que l'utilisation d'une information, d'un équipement, d'une méthode ou d'un procédé quelconque décrits dans le présent document ne porte pas atteinte à des droits privatifs;

n'assument aucune responsabilité pour les dommages qui pourraient résulter de l'utilisation d'informations, d'équipements, de méthodes ou procédés décrits dans le présent document.

Ce rapport est vendu dans les bureaux de vente indiqués en 4<sup>e</sup> page de couverture

au prix de FF 7,—

FB 70,—

DM 5,60

Lit. 870

Fl. 5,10

**Prière de mentionner, lors de toute commande, le numéro EUR et le titre qui figurent sur la couverture de chaque rapport.**

Imprimé par Guyot, s.a.

Bruxelles, juillet 1969

Le présent document a été reproduit à partir de la meilleure copie disponible.

445.71 +  
621.039.7 : (CST 0)

**EUR 4272 f**

ASSOCIATION EURATOM/C.E.A.  
Communauté Européenne de l'Energie Atomique - EURATOM  
Commissariat à l'Energie Atomique - C.E.A.

**NIVEAUX DE CONTAMINATION RADIOACTIVE  
DU MILIEU AMBIANT  
ET DE LA CHAINE ALIMENTAIRE**

**Rapport annuel 1967**

**1969**



Travail effectué au C.E.A.  
Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses, France  
Département de la Protection Sanitaire

Association N° 003-63-10 PSAF

## RÉSUMÉ

En 1967, l'Association EURATOM/C.E.A. a poursuivi ses travaux dans les domaines suivants :

En *Biologie humaine*, l'étude des facteurs physiologiques et de leur évolution, en fonction de l'âge, a été développée. A l'étude du métabolisme de l'iode et du strontium s'ajoute désormais celle d'autres radioéléments importants, tels que le cérium, le ruthénium, le cobalt, le zinc, etc...

Dans le domaine de la *Nutrition*, l'exploitation des enquêtes alimentaires effectuées au cours des années antérieures a été achevée. Les courbes d'évolution des consommations en fonction de l'âge ont été établies.

Les problèmes posés par les *circuits de distribution* des denrées alimentaires ont fait l'objet d'études statistiques suivies.

*L'étude des transferts de la contamination* du milieu pollué aux produits alimentaires, à partir de l'atmosphère, du sol et des végétaux a été poursuivie. La pollution des eaux a fait l'objet de recherches approfondies visant à déterminer le comportement de radioéléments encore assez peu connus intervenant dans les chaînes alimentaires aquatiques.

*L'exploitation mathématique* des résultats obtenus a permis un essai de calcul des niveaux de contamination par le Sr-90 et le Cs-137 suivant la méthode générale d'approche mise au point antérieurement.

## MOTS-CLÉS

CONTAMINATION  
ENVIRONMENT  
FOOD CHAIN  
BIOLOGY  
IODINE  
STRONTIUM 90  
CERIUM  
RUTHENIUM

COBALT  
ZINC  
NUTRITION  
POLLUTION  
FOOD  
WATER  
CESIUM 137

## TABLE DES MATIERES

PREFACE . . . . .	9
INTRODUCTION . . . . .	11
1 — ETUDES DE BIOLOGIE HUMAINE . . . . .	11
1.1 Données anatomiques - L'homme standard . . . . .	12
1.2 Etudes portant sur la structure osseuse de l'enfant en croissance . . . . .	12
1.3 Etude des problèmes posés par le tractus gastro-intestinal . . . . .	12
1.4 Métabolisme de l'iode chez les enfants . . . . .	17
1.5 Métabolisme du strontium chez les enfants . . . . .	18
1.6 Métabolisme du ruthénium . . . . .	18
2 — ETUDE DES REGIMES ALIMENTAIRES . . . . .	19
3 — ETUDE DES CIRCUITS DE DISTRIBUTION DES PRINCIPAUX PRODUITS ALIMENTAIRES A L'INTERIEUR DE LA COMMUNAUTE EUROPEENNE . . . . .	27
4 — LES FACTEURS DE TRANSFERT DE LA CONTAMINATION RADIOACTIVE DES SOURCES DE POLLUTION A L'HOMME . . . . .	29
4.1 Transferts de la contamination atmosphérique dans les produits d'origine végétale . . . . .	29
4.2 Transferts de la contamination radioactive dans les produits animaux d'origine terrestre . . . . .	34
4.3 Transferts de la contamination de la chaîne alimentaire résultant de la pollution des eaux . . . . .	35
5 — EVALUATION DES NIVEAUX DE CONTAMINATION RADIOACTIVE DU MILIEU AMBIANT ET DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE . . . . .	46
5.1 Etude de l'évolution des paramètres radiobiologiques en fonction de l'âge des individus . . . . .	46
5.2 Etude des variations de la dose d'irradiation délivrée à l'organe de référence en fonction de l'âge des individus et des régimes alimentaires . . . . .	50
CONCLUSIONS . . . . .	50

## ANNEXES

I — Etablissements et organismes participant aux travaux de l'Association . . . . .	52
II — Liste des rapports scientifiques . . . . .	53

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100

## LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1	— Temps de transit de différents repas test dans les segments du TGI	13
Figure 2	— Relation qui lie $R_L$ à la distance au pylore durant la progression du repas . . . . .	14
Figure 3	— Relations entre la concentration limite CL et la période radioactive pour divers segments du tractus gastro-intestinal. Les coordonnées sont en logarithmes décimaux. Les courbes ont été établies pour des intervalles de temps équidistants de 20 minutes . . . . .	15
Figure 4	— Relation entre la concentration limite CL et la période radioactive pour les différents segments du TGI. Comparaison de méthodes	16
Figure 5	— Consommation des céréales en fonction de l'âge (Basilicata) . . .	20
Figure 6	— Consommation de la viande en fonction de l'âge (Basilicata) . . .	21
Figure 7	— Consommation du lait en fonction de l'âge (Basilicata) . . . . .	22
Figure 8	— Valeur énergétique du régime en fonction de l'âge (Basilicata) . .	23
Figure 9	— Apport en calcium du régime en fonction de l'âge (Basilicata) . .	24
Figure 10	— Apport en potassium du régime en fonction de l'âge (Basilicata) .	25
Figure 11	— Apport en iode du régime en fonction de l'âge (Basilicata) . . .	26
Figure 12	— Mouvements interrégionaux du blé en France (campagne 1965-1966)	42
Figure 13	— Composés complexant Ru et Co - complexes en milieu aqueux et dans les sols . . . . .	44
Figure 14	— Comparaison des périodes biologiques en fonction de l'âge et du poids, selon les relations de Eberhardt et de Mac-Craw . . . . .	47
Tableau I	— Facteurs de concentration entre les tissus mous de la moule et l'eau pour Ru-106 (expérimentations en aquarium, durée 5 j., d'après le Ruder Boskovic Institute) . . . . .	36
Tableau II	— Facteurs de concentration entre les tissus mous de la moule et l'eau pour Co-60 en fonction de la concentration de l'eau en EDTA (expérimentations en aquarium, durée 5 j., d'après le Ruder Boskovic Institute) . . . . .	37
Tableau III	— Indices radioécologiques et écologiques utiles pour des interprétations relatives aux facteurs de concentration . . . . .	38

Tableau IV — Etats de valence et composés du ruthénium . . . . .	40
Tableau V — Formation de complexes azotés du nitrosylruthénium, d'après Fontaine et Berger - (schéma très simplifié) . . . . .	42
Tableau VI — Temps nécessaire pour atteindre l'équilibre, et variation de la dose avec la période biologique . . . . .	49

### Composition du COMITE DE GESTION

Président : Dr JAMMET (C.E.A.)  
Vice-Président : Dr RECHT (EURATOM)  
Secrétaire : M. BRESSON (C.E.A.)  
Membre : M. VAN HOECK (EURATOM)  
Membre : M. CARPENTIER (EURATOM)  
Membre : M. ROGNON (C.E.A.)

### Composition du GROUPE DE RECHERCHE

#### **Chef du Groupe : G. LACOURLY**

Biologie humaine : L. KARHAUSEN  
Agronomie : J. LEHR  
Physiologie animale : J. VAN DEN HOEK  
Ecologie : R. BITTEL  
Mathématiques : Mme A. GARNIER  
Calcul : J.P. BAZIN  
Etudes statistiques : E. LOMBARDO (jusqu'au 30 juin 1967)  
Documentation : Melle R. STOCK  
R. HAMMER  
Melle M.A. BOMBACE  
Secrétariat : Mme G. DEVENON

## CONSULTANTS SCIENTIFIQUES

- Prof. BIGWOOD                    Professeur émérite et Recteur honoraire de l'Université de Bruxelles  
48, rue Emile Bouillot, Bruxelles (Belgique)
- Prof. SCHUFFELEN                Professeur à Landbouwhogeschool  
Laboratorium voor Landbouwscheikunde  
De Dreijen, 3, Wageningen (Pays-Bas)
- Dr MOLITOR                      Directeur honoraire de la Santé Publique  
Useldange, Luxembourg (Gd Duché de Luxembourg)
- Dr POLVANI                        Directeur de la Divisione Biologica e Protezione Sanitaria  
C.N.E.N., Via Belisario, 15, Rome (Italie)
- Prof. GEDDA                      Directeur Istituto Gregorio Mendel  
Piazza Galeno, 5, Rome (Italie)
- Prof. PELSSENKE                 Direktor der Bundesforschungsanstalt für Getreideverarbeitung  
Am Schützenberg, 9, Detmold (Allemagne)
- Prof. KUPRIANOFF                Direktor des Bundesforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung  
Kaiserstrasse, 12, Karlsruhe (Allemagne)
- M. AVARGUES                    Adjoint au Chef du Département de la Protection Sanitaire  
C.E.A. CEN-FAR, BP N° 6, 92 - Fontenay-aux-Roses (France)
- M. MOCQUOT                     Directeur de la Station Centrale de Recherches Laitières et de  
Technologie des Produits Animaux  
Centre National de Recherches Zootechniques  
Domaine de Vilvert, Jouy-en-Josas (S.-et-O.) (France)
- Prof. VAN DEN HENDE          Direktor Laboratorium voor Analytische en Physische Scheikunde  
Rijksfaculteit der Landbouwwetenschappen - Gent (Belgique)
- M. FELDT                         Direktor der Bundesforschungsanstalt für Fischerei  
2 000 Hamburg-Alsterdorf, Hindenburgstrasse, 43 (Allemagne)
- M. REMENIERAS                 Conseiller scientifique du Centre de Recherches et d'Essais de  
Chatou (EDF)  
6, Quai Watier - BP N° 24 - Chatou (S.-et-O.) (France)
- Prof. SCOCCIANTI                Assistente presso la Clinica Ortopedica dell'Università Firenze  
(Italie)

## P R E F A C E

Le présent contrat d'Association, conclu en 1961 entre la Communauté Européenne de l'Energie Atomique et le Commissariat Français à l'Energie Atomique, a pour objet les études et recherches permettant l'établissement des niveaux de contamination radioactive du milieu ambiant et de la chaîne alimentaire.

Vu l'ampleur des travaux envisagés, l'Association a été en principe prévue pour une durée de dix années.

Les études poursuivies jusqu'ici ont abouti à un certain nombre de résultats qui sont dès maintenant disponibles. Parmi les plus importants, on peut mentionner la mise au point de la technique générale de calcul des niveaux de contamination radioactive, l'élaboration des données anatomiques de l'homme et leur évolution en fonction de l'âge, la mise au point d'un modèle mathématique permettant le calcul des niveaux de protection du tractus gastro-intestinal.

Au cours de l'année 1967, un travail important a été achevé dans le domaine de la nutrition, concernant l'évolution des consommations alimentaires en fonction de l'âge. Ce travail a été réalisé en appliquant un traitement mathématique approprié aux données apportées par les enquêtes alimentaires, faites antérieurement en onze points de la Communauté Européenne.

Dans le domaine de la radioécologie il convient de noter que les problèmes posés par la contamination sèche provenant des effluents atmosphériques, ainsi que ceux posés par la pollution des eaux par les rejets d'effluents liquides ont fait l'objet de programmes expérimentaux dont certains sont en cours de réalisation en vue de parvenir à l'évaluation des facteurs de concentration nécessaires à l'établissement des niveaux de protection.

L'ensemble des données ainsi rassemblées a permis enfin de tenter une estimation des niveaux de contamination pour le Sr-90 et le Cs-137, en se plaçant dans différentes hypothèses de contamination.

Au cours des années à venir, ces essais vont s'intensifier et se multiplier, tendant ainsi vers l'objectif final de l'Association.

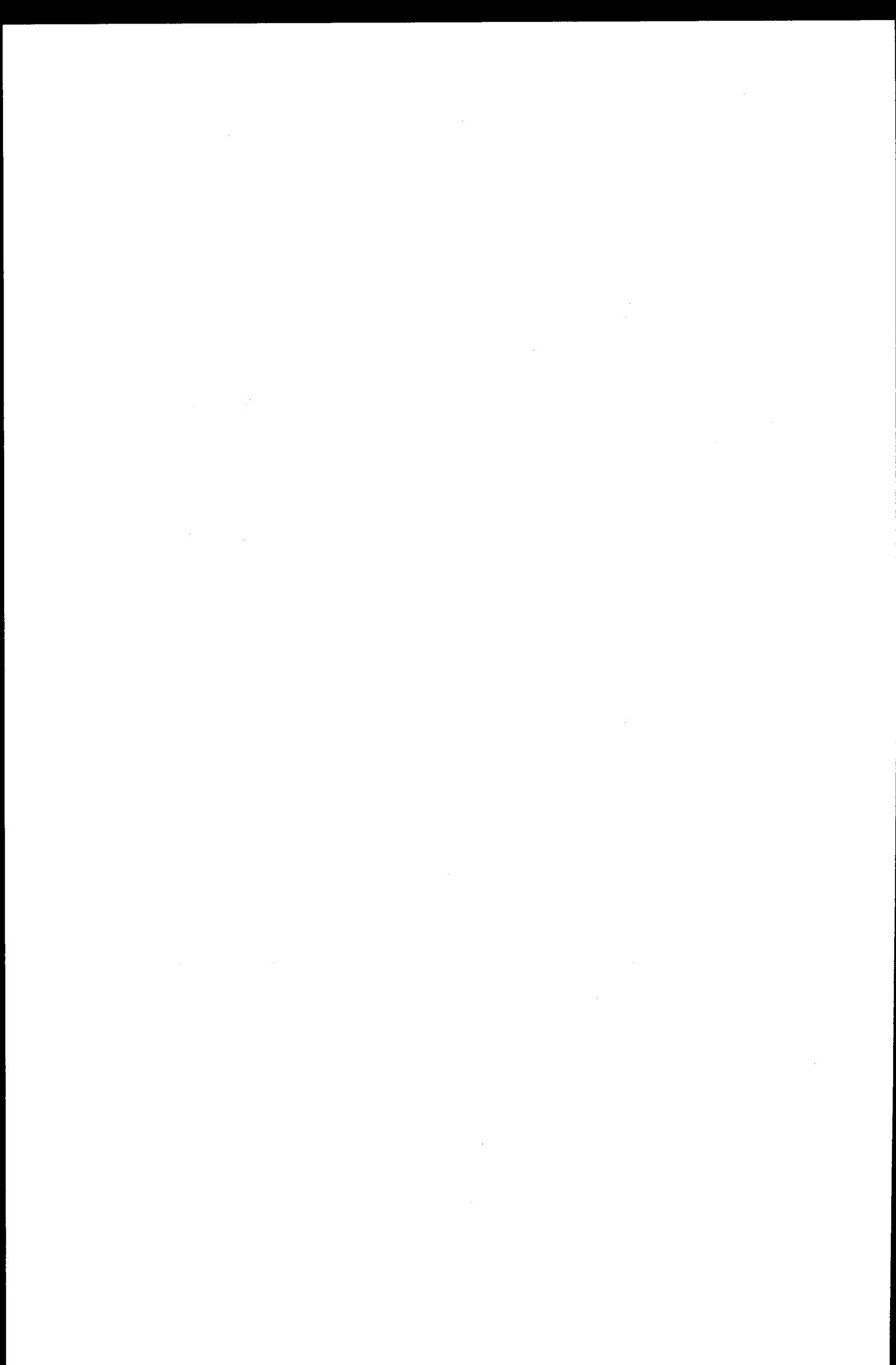
Le présent rapport d'activité, approuvé par le Comité de Gestion du contrat, a été préparé par M. G. LACOURLY, Chef du Groupe de Recherche.

Dr P. RECHT

*Vice-Président du Comité de Gestion*

Dr H. JAMMET

*Président du Comité de Gestion*



## INTRODUCTION

Le présent document rend compte de l'activité du groupe de Recherche de l'Association EURATOM/C.E.A. au cours de l'année 1967.

L'objet de ce contrat consiste à définir les données de toutes sortes et les méthodes à mettre en œuvre pour déterminer, en un point quelconque du territoire de la Communauté Européenne, les limites acceptables de la pollution radioactive du milieu ambiant et de la chaîne alimentaire.

L'ensemble des recherches actuellement poursuivies vise à déterminer, en vue de leur utilisation dans la méthode générale de calcul :

1. les modèles mathématiques traduisant les différents mécanismes de transfert de la contamination aux différents stades,
2. les valeurs des différents coefficients et paramètres à utiliser pour les principaux radionucléides, en fonction du mode de contamination et des différents facteurs intervenant dans le transfert.

Ce rapport comprend cinq parties, correspondant aux principaux domaines d'activité du groupe.

La première partie traite des problèmes de biologie humaine, où l'effort s'oriente actuellement vers l'étude des facteurs physiologiques et de leur évolution avec l'âge.

La deuxième partie est consacrée aux régimes alimentaires. L'achèvement de l'étude de l'évolution des consommations alimentaires en fonction de l'âge marque la fin de l'exploitation des enquêtes réalisées au cours des années antérieures.

La troisième partie concerne les problèmes posés par les circuits de distribution des denrées alimentaires.

La quatrième partie donne l'état d'avancement des travaux réalisés dans les différents domaines des transferts de la contamination du milieu pollué aux produits alimentaires. Les études antérieures surtout consacrées au strontium et au césium, sont maintenant complétées par l'étude du comportement d'autres radioéléments, présents dans les effluents liquides des installations nucléaires, en particulier le ruthénium et le cobalt.

La cinquième partie, enfin, concerne l'évaluation des niveaux de contamination. Un essai d'application de la méthode générale de calcul a été tenté pour le Sr-90 et le Cs-137.

### 1 — ETUDES DE BIOLOGIE HUMAINE

Ces études visent essentiellement la recherche des facteurs anatomiques et physiologiques de l'homme, nécessaires au calcul de l'équivalent de dose d'irradiation délivré à l'organisme à la suite de l'ingestion de radioéléments. La connaissance de l'évolution de ces facteurs en fonction de l'âge est d'autre part nécessaire pour déterminer l'âge critique à prendre en considération pour un certain nombre de radioéléments.

Au cours de l'année 1967, les études ont été centrées sur les points suivants :

#### 1.1 — Données anatomiques — L'homme standard

Le travail, mis au point en 1966, a reçu quelques amendements en vue de sa publication prochaine par la Commission Internationale de Protection Radiologique.

Bien que le modèle théorique ainsi défini coïncide dans l'ensemble avec le modèle européen, les études sont poursuivies en vue de déterminer, à partir de bases réelles tirées d'échantillons européens, certains paramètres spécifiques, s'écartant d'une façon notable des valeurs de l'homme théorique.

#### 1.2 — Etudes portant sur la structure osseuse de l'enfant en croissance

Le calcul des doses délivrées à la moelle osseuse par la contamination interne fait intervenir la dimension des espaces et des travées de l'os trabéculaire, les dimensions de la cavité médullaire et l'épaisseur de l'os cortical. Ces paramètres sont susceptibles d'évaluation à partir de mesures faites sur des échantillons.

En 1967, les rapports de surface moelle osseuse : travées osseuses, les dimensions des travées et celles des espaces médullaires ont été mesurées sur des vertèbres de sujets âgés de 0 à 30 mois. Il est prévu de poursuivre cette étude, suivant la même méthode, sur les fémurs et les côtes de sujets âgés de 0 à 30 mois et sur les trois types d'os pour la période de 3 ans à l'âge adulte. Le programme prévoit en outre l'étude de l'épaisseur de la partie corticale de l'os et son évolution avec l'âge.

#### 1.3 — Etude des problèmes posés par le tractus gastro-intestinal

Le modèle mathématique permettant le calcul de la dose d'irradiation délivrée à un niveau quelconque du tractus gastro-intestinal de l'adulte et qui avait été présenté en 1966 au Northwest Symposium on Gastrointestinal Radiation Injury, au Battelle Memorial Institute (Washington, U.S.A.), a fait l'objet d'un rapport de synthèse plus complet dont la publication est en cours. Ce modèle, basé sur les mêmes principes que celui de la Commission Internationale de Protection Radiologique, permet le calcul des niveaux de contamination radioactive en n'importe quel point du tractus gastro-intestinal, ce qui lui confère plus de souplesse.

Un aperçu de ces travaux est donné par les trois figures suivantes :

La figure 1 montre les temps d'arrivée de la tête de l'ingérat et les temps de passage de la queue de l'ingérat chez des sujets adultes, A, B, C, D correspondant à quatre repas tests de composition différente.

La figure 2 représente la concentration  $R_L$  d'un corps non absorbable tout au long du tube intestinal et au cours de la progression du repas. Ce facteur est lié par une relation exponentielle à la distance au pyllore.

L'heure d'arrivée du front de l'ingérat permet de situer le point de l'appareil digestif atteint par le bol alimentaire. La concentration  $CL$  de l'ingérat, correspondant à une dose de 0,3 rem par semaine, varie selon la période radioactive du radionuclide. Ainsi, pour  $\log t_r = 0$ , la zone critique est constituée par l'estomac. La courbe « estomac » de la figure 3 fournit les valeurs des CMA correspondantes en fonction des périodes radioactives. A chaque valeur de  $t_r$ , correspond une zone et une courbe différente. L'enveloppe de toutes ces courbes permet de connaître simultanément la  $CL$  et le point critique.

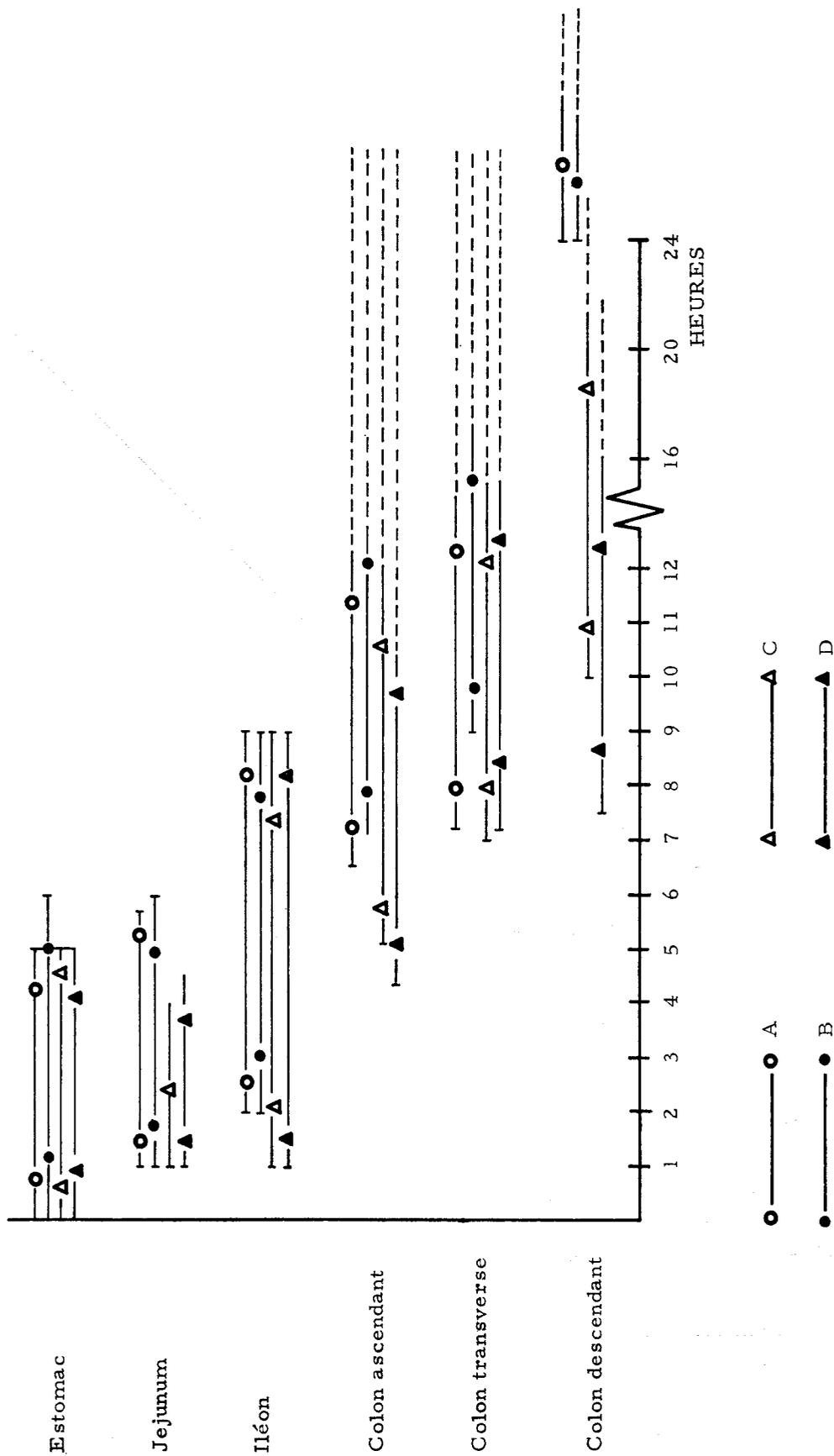


Fig. 1 — Temps de transit de différents repas test dans les segments du TGI.

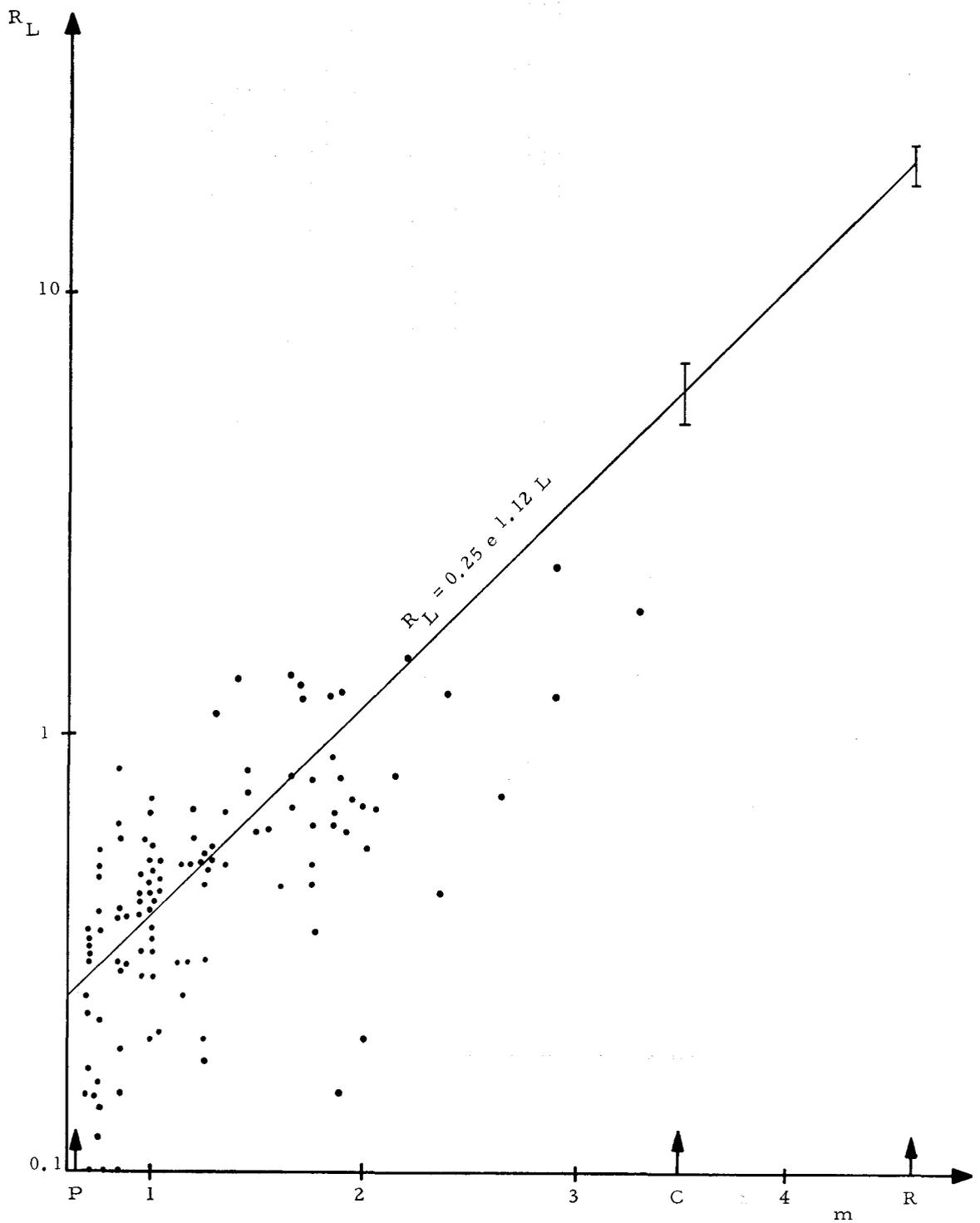


Fig. 2 — Relation qui lie  $R_L$  à la distance au pylore durant la progression du repas.

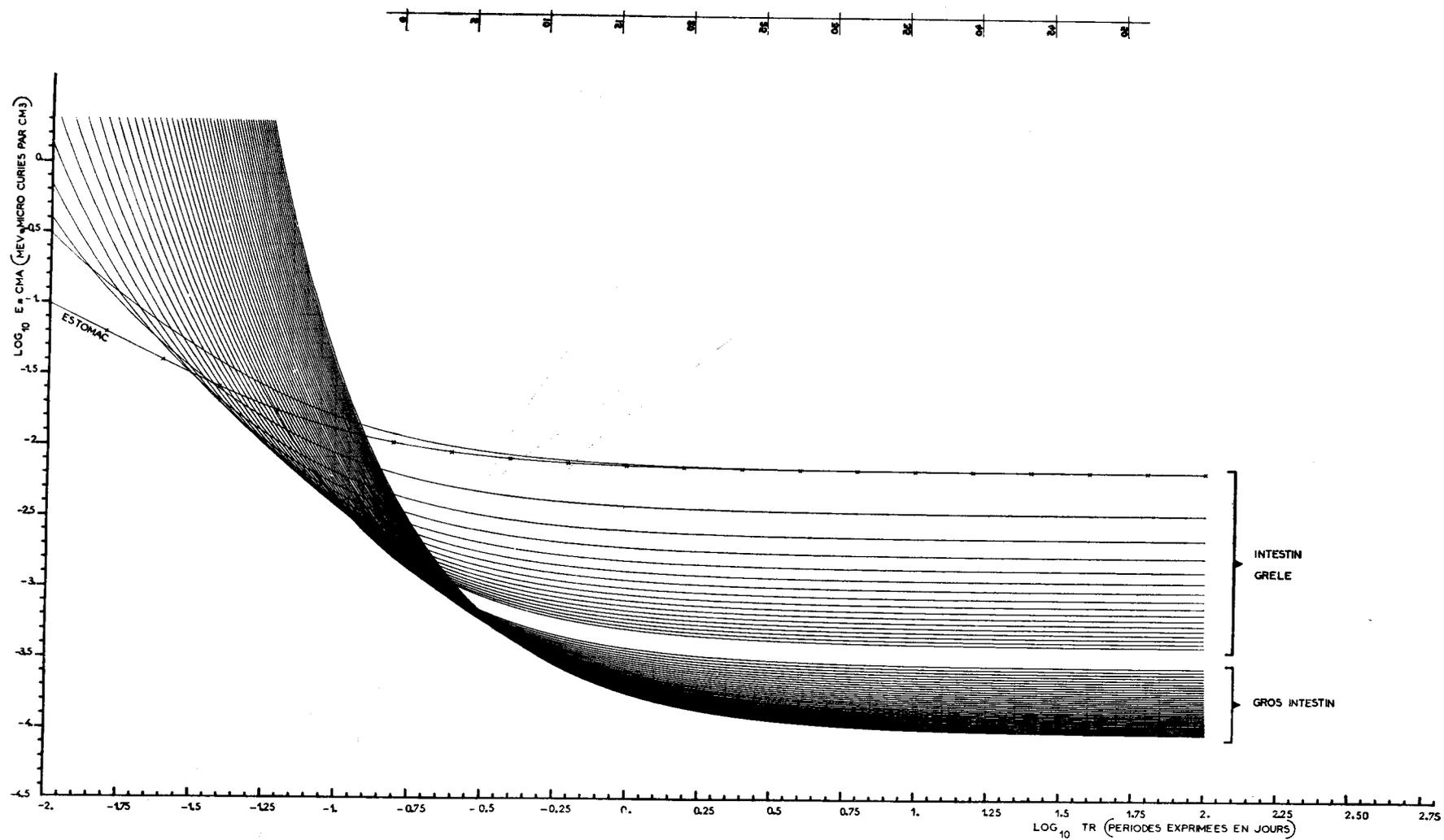


Fig. 3 — Relation entre la concentration CL et la période radioactive pour divers segments du tractus gastro-intestinal. Les coordonnées sont en logarithmes décimaux. Les courbes ont été établies pour des intervalles de temps équidistants de 20 minutes.

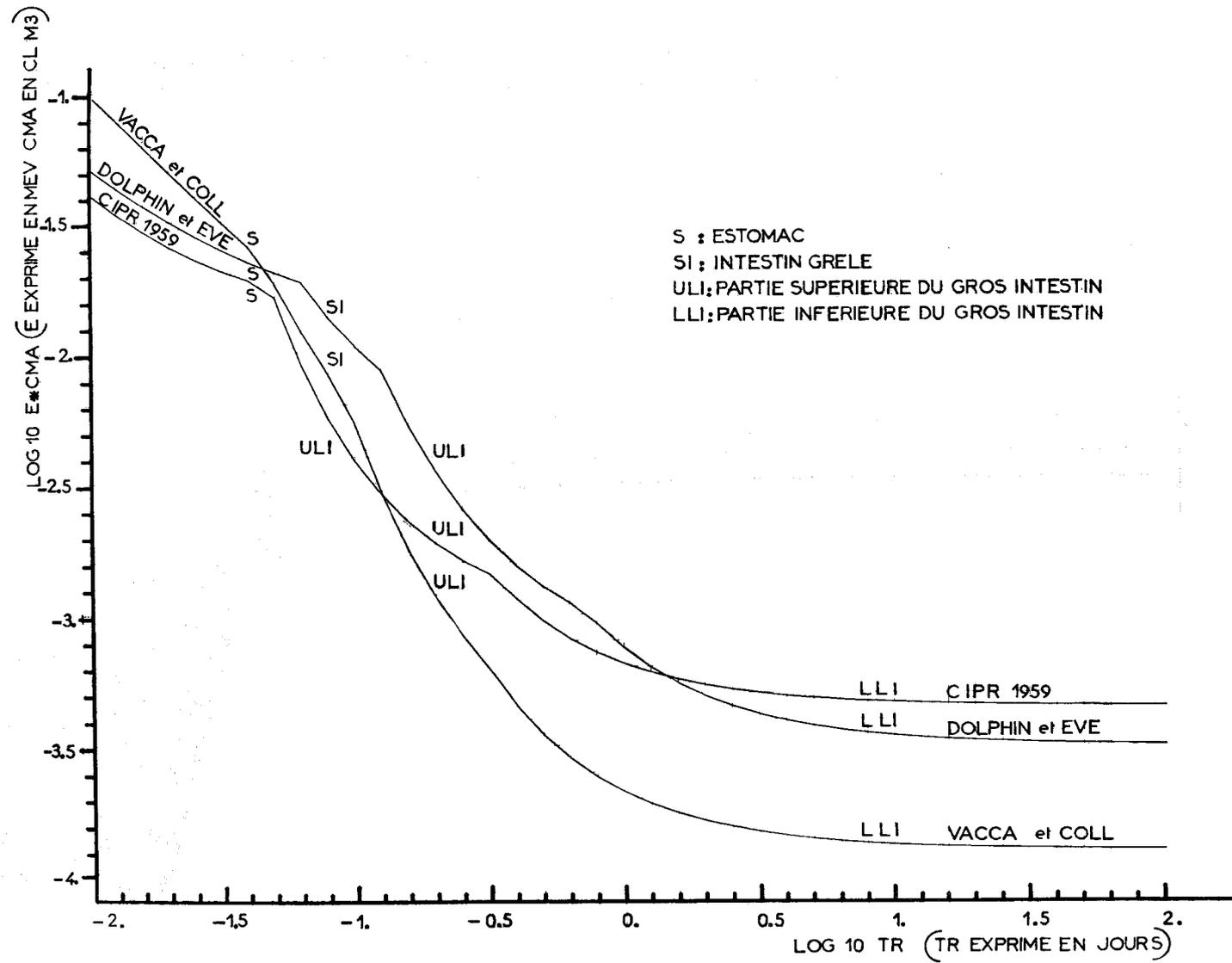


Fig. 4 — Relation entre la concentration limite CL et la période radioactive pour les différents segments du TGI. Comparaison de méthodes.

La figure 3 représente donc la relation qui relie les trois paramètres suivants :

- la concentration de l'ingérat,
- la période radioactive,
- le niveau du TGI divisé en trois segments (estomac, intestin grêle et colon).

Au sein de ces derniers segments, les courbes représentent des niveaux successifs.

La figure 4 permet de comparer les concentrations limites obtenues par les trois méthodes, celle de l'ICRP (1959), celle de Dolphin et Eve et la nôtre. Il apparaît que les valeurs calculées d'après ce modèle sont légèrement moins sévères pour l'estomac et plus sévères pour le colon que les autres méthodes. Cependant, les courbes obtenues par ce modèle sont fort similaires à celles que fournissent les méthodes précédentes.

L'application de ce modèle à l'enfant nécessite encore une connaissance plus précise de la vitesse du transit digestif et des facteurs de dilution au cours de ce transit pour différentes classes d'âge. Un programme est à l'étude dans ce but.

#### 1.4 — Métabolisme de l'iode chez les enfants

Une étude est actuellement en cours avec la collaboration du Laboratoire de Médecine Expérimentale de l'Université Libre de Bruxelles. Cette étude a pour objectifs :

1. de déterminer les grandeurs des pools d'iode et la vitesse de leur renouvellement aux différents âges afin d'en déduire un schéma général;
2. d'établir, à partir de ces données, le modèle mathématique afin de faire apparaître l'incidence de la variation des différents paramètres sur les doses d'irradiation délivrées à la glande;
3. de vérifier expérimentalement les valeurs trouvées par le calcul.

Dans une première partie, vingt sujets euthyroïdiens ont été étudiés qui se distribuent comme suit :

2	à	6 mois	: 3
6 mois	à	1 an	: 3
1	à	2 ans	: 3
2	à	9 ans	: 8
10	à	15 ans	: 3.

On a mesuré :

1. la captation thyroïdienne précoce,
2. la radioactivité plasmatique et l'iode protéique plasmatique une heure trente après administration du traceur,
3. la radioactivité urinaire et l'iode stable urinaire sur 8 échantillons au cours des premières quarante-huit heures.

Certains problèmes méthodologiques ont dû être résolus. La première question était de savoir s'il était possible d'administrer le traceur par voie intramusculaire et s'il ne fallait pas craindre une fixation locale (tissulaire ou musculaire) de l'iode-131. La contamination de la cavité buccopharyngée et de l'œsophage rendait les mesures précoces de captation difficiles lors de l'administration de l'iode-131 per os.

Cette première difficulté résolue, il s'en posait une seconde. Les mesures précoces de captation thyroïdienne chez l'enfant en bas âge sont entachées d'une erreur due à l'activité élevée du sang et à ce que l'angle solide du compteur comprend les tissus cervicaux extrathyroïdiens. Il

existe, dans la littérature, deux méthodes qui permettent l'estimation de la captation thyroïdienne vraie, l'une empirique et l'autre mathématique. Ces deux méthodes ont été essayées et modifiées chez des sujets adultes, par le Dr A.M. Ermans, et ensuite appliquées dans notre travail. Les résultats obtenus par les deux méthodes étaient généralement concordants. Elles ont été utilisées pour préciser le tracé initial de la courbe de captation chez l'enfant.

La seconde partie de l'étude porte sur l'analyse d'un certain nombre de paramètres durant une période prolongée après l'administration du traceur. Dix sujets ont été étudiés, deux par classe d'âge. Un double traceur (iode-131, iode-125) a été administré par voie intramusculaire.

Des mesures de captation ont été effectuées aux temps suivants 1, 2, 4, 6, 8, 10, 24, 32, 48, 54 heures, puis tous les deux et enfin trois jours jusqu'au vingtième jour.

Des mesures d'iode urinaire, d'iode protéique (PBI) et de radioiode plasmatique ont aussi été effectuées. Les résultats de ces deux études sont en cours d'analyse. Ce programme devra être complété par l'analyse mathématique de l'ensemble des données et la révision éventuelle du modèle de calcul.

Enfin, il est prévu de prolonger cette étude par celle de la variation géographique des paramètres fonctionnels qui permettent de calculer la dose d'irradiation délivrée à la thyroïde en cas de contamination de la chaîne alimentaire par l'iode radioactif. Ces variations géographiques dépendent principalement de l'apport du régime alimentaire en iode stable qui, dans plusieurs régions européennes, est deux à quatre fois supérieur à celui des Etats-Unis. On estime qu'il existe, de ce fait, dans les pays de la Communauté Européenne, une variabilité physiologique très importante de la captation thyroïdienne.

La réalisation de ce programme pourrait débiter en 1968.

#### 1.5 — Métabolisme du strontium chez les enfants

La méthode d'approche choisie est la méthode épidémiologique. Elle consiste à obtenir dans une population donnée un échantillon de tissu osseux pour différentes classes d'âge pour y déterminer la teneur en strontium radioactif en même temps que l'on procède à une estimation de l'ingestion du strontium par les sujets appartenant aux mêmes classes d'âge.

Le programme portant sur quatre ans d'observations a été mis au point au cours de l'année 1966 et a commencé en 1967. Cette première année pilote a permis de rassembler plus d'une centaine d'échantillons provenant de sujets âgés de 0 à 15 ans, dans quatre régions d'Italie (Rome, Udine, Salerne et Matera).

La mesure des teneurs en Sr-90, en Sr stable et en Ca stable est en cours. Les échantillons provenant des sujets les plus jeunes ont dû être groupés par trois pour permettre la mesure de l'activité du Sr-90. En outre, la collecte des échantillons s'est avérée plus difficile dans le sud de l'Italie, où les zones de prospection ont dû être élargies.

Il est prévu enfin d'étendre ce programme à deux stations du Nord de l'Europe.

#### 1.6 — Métabolisme du ruthénium

Dans une première étape, on se propose d'étudier la distribution du ruthénium stable dans les différents organes du corps humain.

Quelques mesures, faites sur des échantillons activés, ont été réalisées, à titre d'essai, avec la collaboration du service de Biologie et du Laboratoire de Chimie Nucléaire du Centre d'Ispra.

Sur la base des résultats obtenus, un programme plus étendu est actuellement à l'étude.

## 2 — ETUDE DES REGIMES ALIMENTAIRES

L'exploitation définitive des enquêtes alimentaires réalisées en 1963-1964 dans onze régions de la Communauté Européenne a été achevée.

2.1 — Un premier rapport publié en 1966 a permis d'estimer les consommations moyennes individuelles pour chacune de ces régions.

2.2 — Un deuxième rapport, en cours de publication, donne l'estimation des quantités consommées dans ces régions par l'individu moyen des différentes classes d'âge.

A cet effet, les aliments ont été groupés en treize catégories et les consommateurs en neuf classes d'âge.

Ces résultats sont complétés par l'évaluation des apports en principes nutritifs, calories, minéraux, oligo-éléments et vitamines sur la base des taux d'apport estimés par M. CRESTA dans le premier rapport.

2.3 — A partir des données obtenues par la méthode précédente, on a cherché à exprimer les quantités consommées en fonction de l'âge considéré comme variable continue. Le meilleur ajustement des valeurs correspondant aux différentes classes d'âges est fourni par un modèle polynomial :

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4.$$

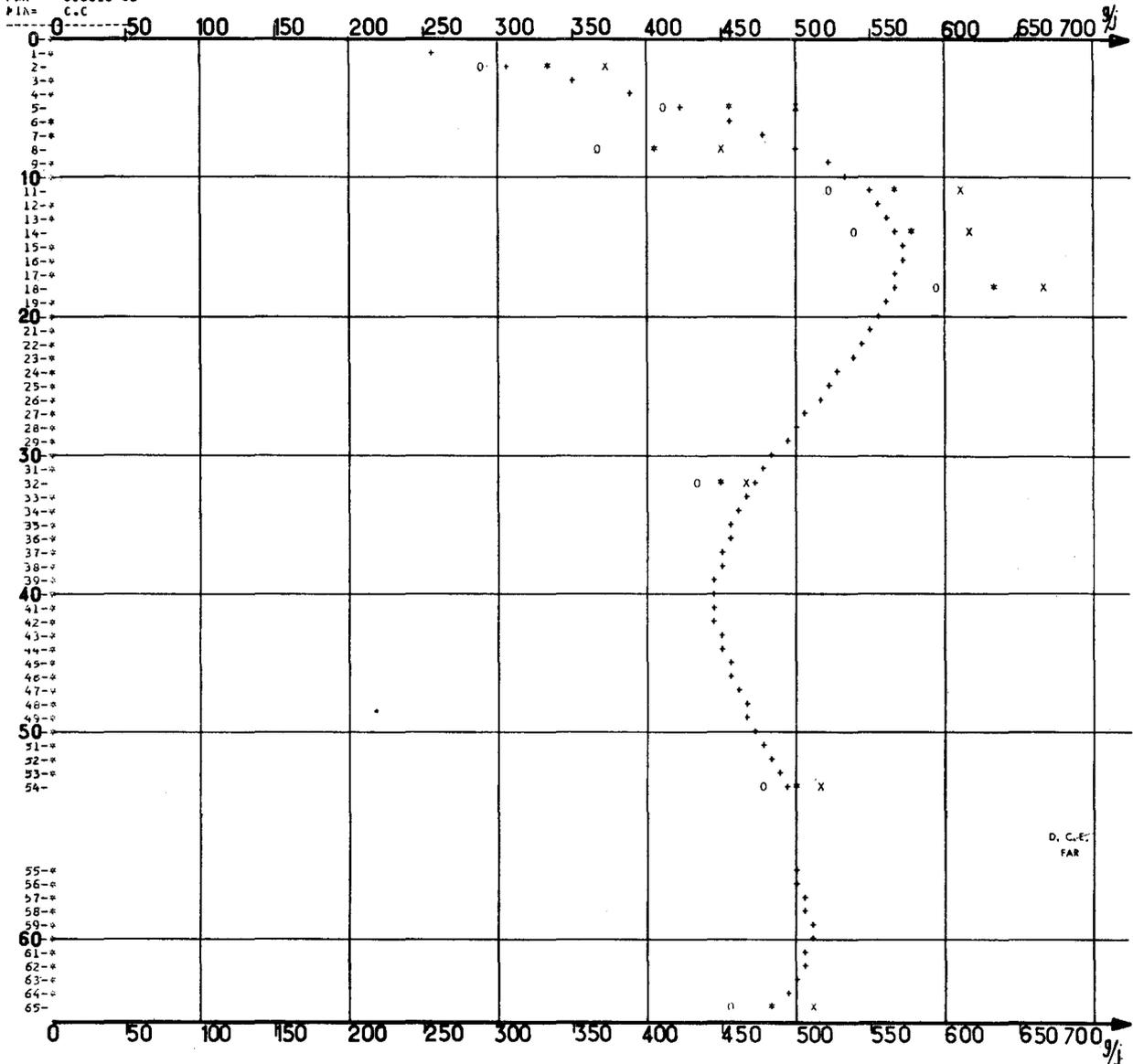
Pour chaque région et chaque groupe de produits, on a calculé les coefficients  $a_i$  et tracé la courbe représentative de la consommation en fonction de l'âge. On a déduit les coefficients des polynômes représentant les apports en principes nutritifs, calories, minéraux, oligo-éléments et vitamines, à l'aide des taux d'apports spécifiques appropriés à chaque région.

A titre d'exemple, les figures 5 à 11, relatives à la Basilicata, montrent l'évolution en fonction de l'âge de la consommation des céréales, de la viande, du lait, et des apports du régime en calories, calcium, potassium et iode.

D. C. E.  
FAR

fig 5

BASILICATA  
GROUPE D'ALIMENT.....CEREALES  
COEFFICIENTS...A1= 0.1998196D 03 A2= 0.5883068D 02 A3= -0.3091848D 01 A4= 0.5986299D-01 A5= -0.3873934D-03  
MAX= 0.061E 02  
MIN= C.C



Assoc. EUR/CEA, DPS  
68-03 Fig: A1, I, 11

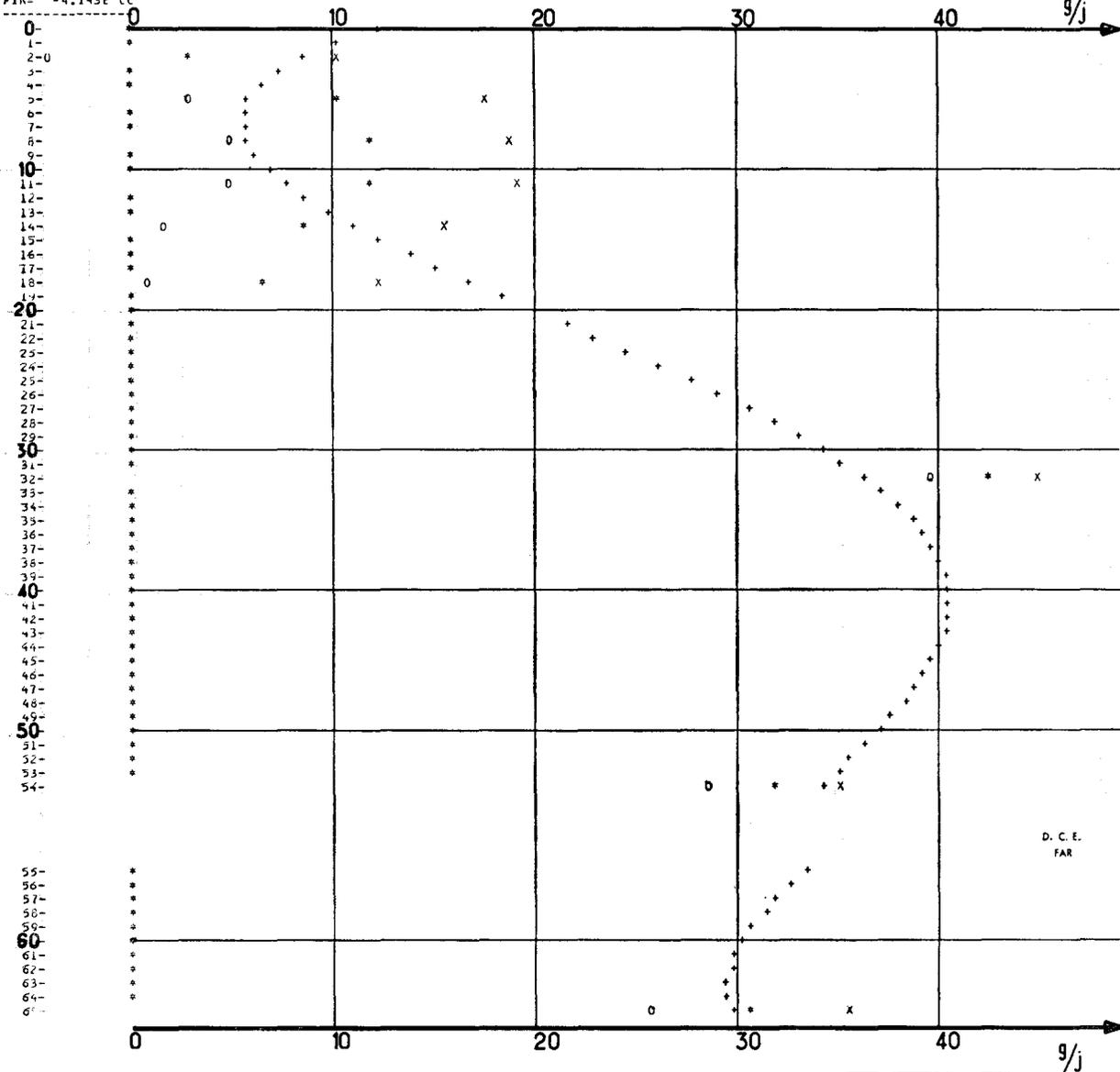
D. C. E.  
FAR

BASILICATA

GRUPE D'ALIMENT.....VIANDES.

COEFFICIENTS...A1= 0.12236520 C2 AZ= -0.22359710 01 A3= 0.21429810 00 A4= -0.48210280-02 A5= 0.32574030-04  
MAX= 4.500E 01  
MIN= -4.143E 00

fig 6



D. C. E.  
FAR

Assoc. EUR/CEA, DPS  
68-03 | Fig: A1, VII, 11

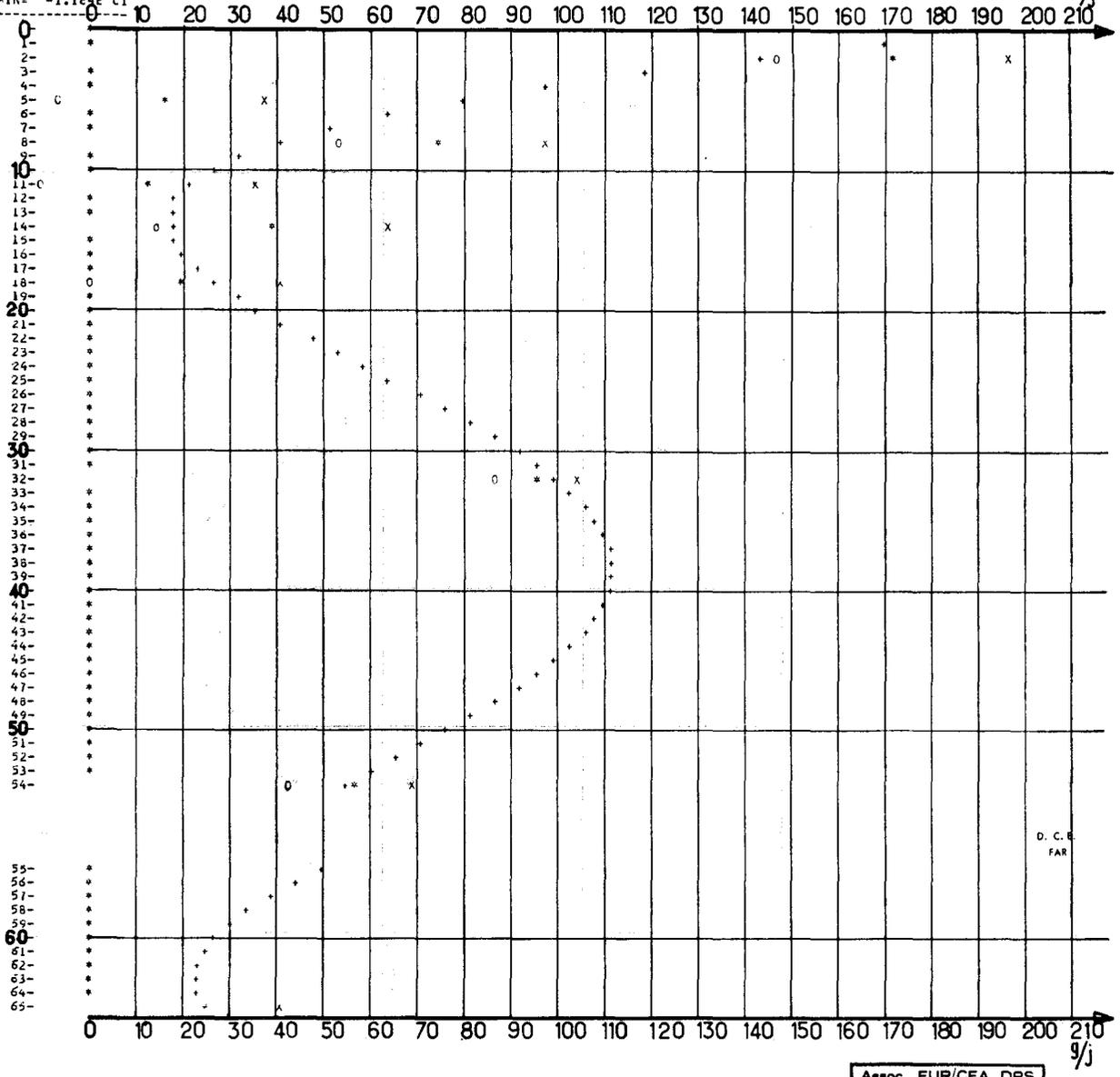
D. C. E.  
FAR

BASILICATA

GRUPE D'ALIMENT.....LAIT.....

COEFFICIENTS...A1= 0.20629570 03 A2= -0.33959430 02 A3= 0.19607280 01 A4= -0.39568150-01 A5= 0.25816960-03  
MAX= 2.063E G2  
MIN= -1.164E C1

Fig 7  $g_j$



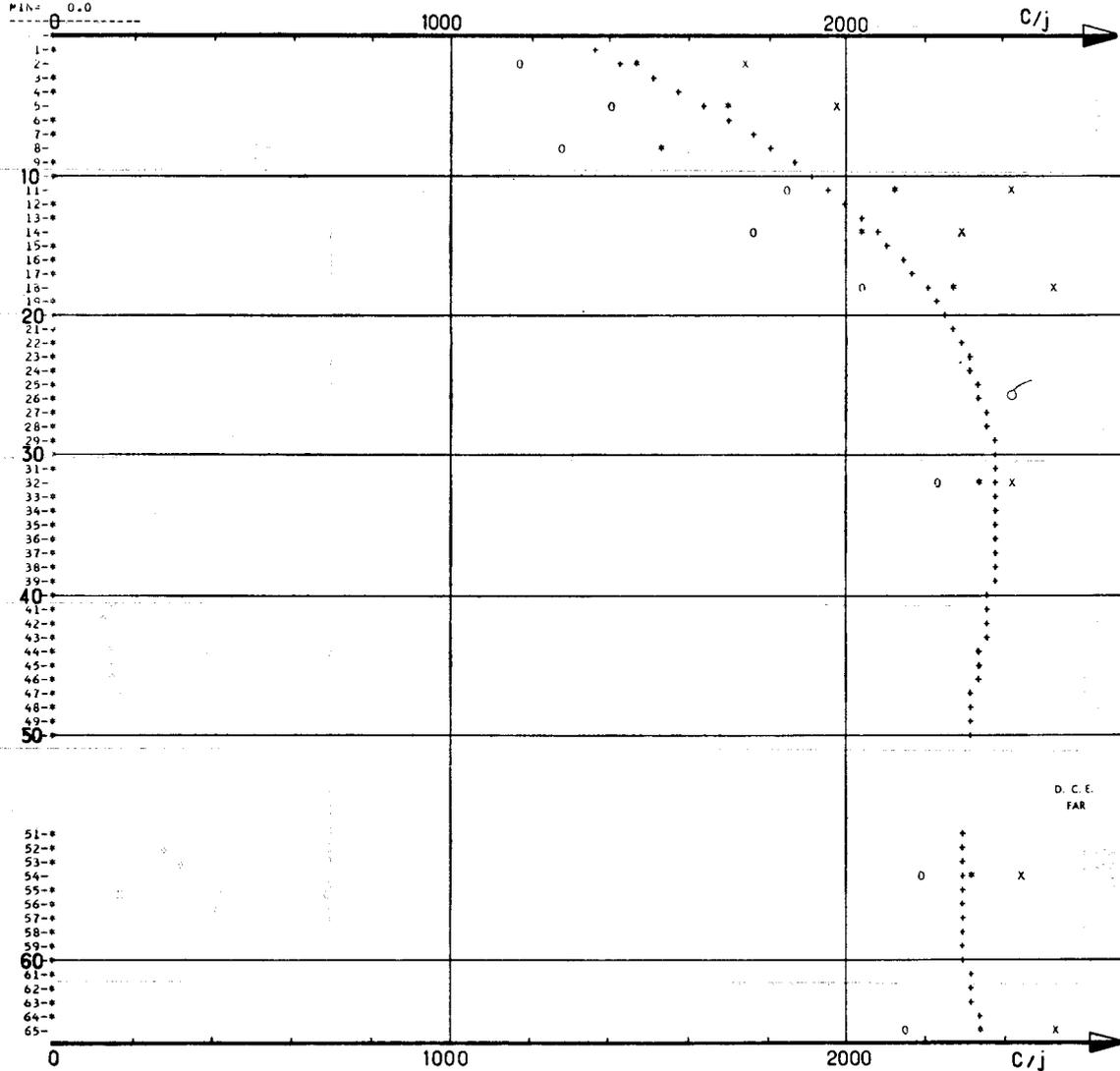
D. C. E.  
FAR

1....CALORIES /JOUR.

BASILICATA  
COEFFICIENTS...A1= 0.12625030 04 A2= 0.80207960 02 A3= -0.18258810 01 A4= 0.11580750-01 A5= 0.21524030-04

fig 8

MAX= 2.527E 03  
MIN= 0.0



Assoc. EUR/CEA, DPS  
68-03 Fig. A1, XIV, 11

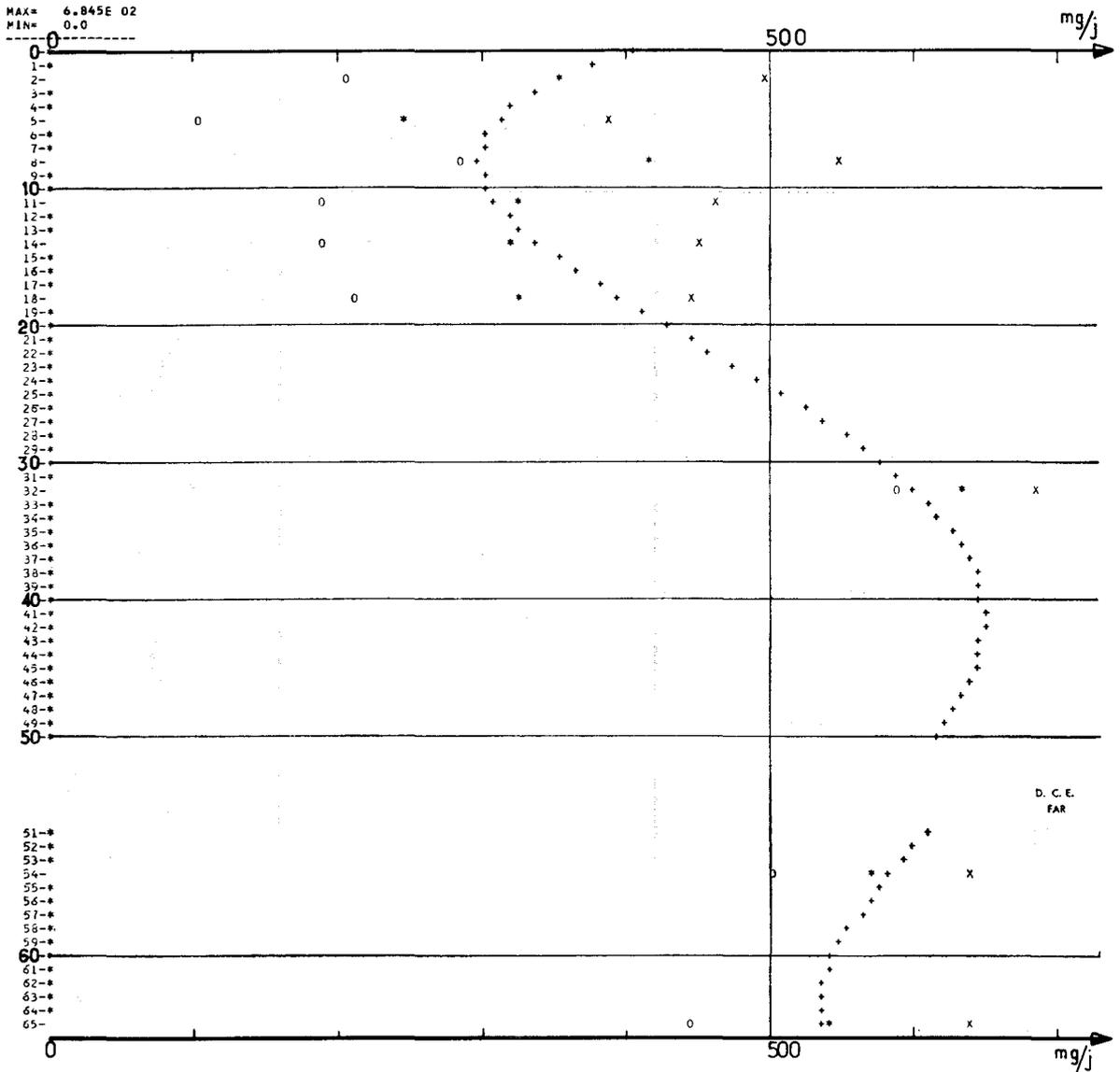
D. C. E.  
FAR

10...CALCIUM(MGR /JOUR

BASILICATA  
CCEFFICIENTS...A1= 0.4060111D 03 A2= -0.3007461D 02 A3= 0.2494892D 01 A4= -0.5424245D-01 A5= 0.3608947D-03

fig 9

MAX= 6.845E 02  
MIN= 0.0



Assoc. EUR/CEA, DPS  
68-03 Fig: A1, XVIII, 11

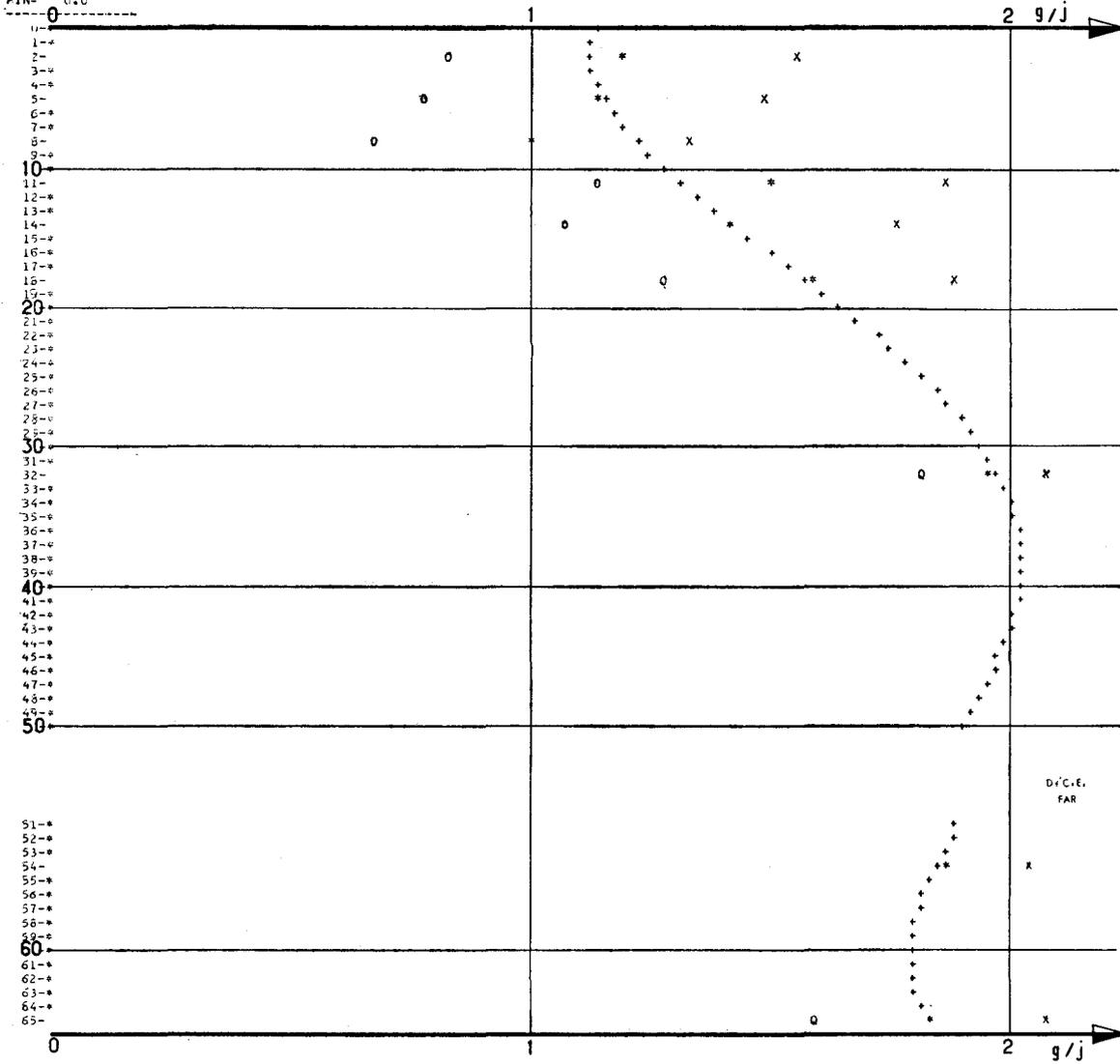
D C E  
FAR

11...POTASSIUM(GR./JOUR

BASILICATA  
COEFFICIENTS...A1= 0.11391820 C3 A2= -0.10465770 D1 A3= 0.33497980 00 A4= -0.90305310-02 A5= 0.67403940-04  
X100

Fig 10

MAX= 2.082E 00  
MIN= 0.0



Assoc. EUR/CEA, DPS  
68-03 Fig: A1, XIX, 11

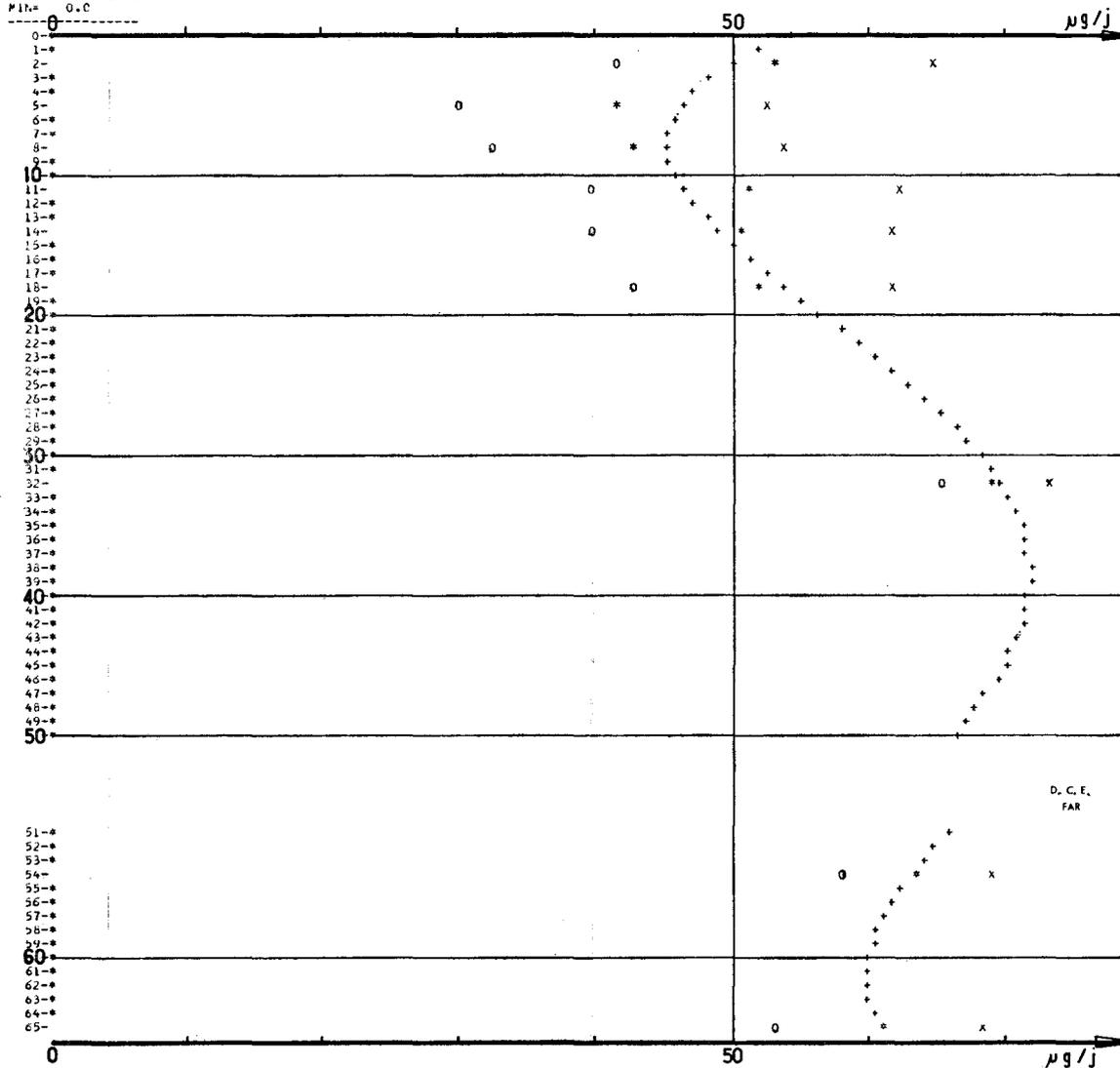
D. C. E.  
FAR

4....IODE MICRO GR. /JOUR

BASILICATA  
COEFFICIENTS...A1= 0.54271550 04 A2= -0.25982190 03 A3= 0.22317780 02 A4= -0.51022860 00 A5= 0.35516100-02  
(X100)

Fig 11

MAX= 7.334E 01  
MIN= 0.C



Assoc. EUR/CEA, DPS  
68-03 A1, XX, 11



### 3 — ETUDE DES CIRCUITS DE DISTRIBUTION DES PRINCIPAUX PRODUITS ALIMENTAIRES A L'INTERIEUR DE LA COMMUNAUTE EUROPEENNE

Si, dans le courant de l'année 1966, on s'était surtout efforcé de définir une conception d'ensemble de l'étude des circuits de distribution des principaux produits alimentaires à l'intérieur des six pays de la Communauté Européenne, l'année 1967 a été consacrée essentiellement à l'étude de la production, de la consommation et de la distribution d'un premier groupe d'aliments de base.

Ainsi, l'évolution de la production des céréales dans le temps et dans l'espace a été étudiée dans les six pays de la Communauté, et les principales régions de production mises en évidence, afin de permettre leur examen d'un point de vue écologique et agrotechnique et de déterminer celles susceptibles de présenter un danger de contamination potentiel pour la population.

La production ainsi chiffrée et située géographiquement, il convenait d'étudier la composition de la consommation et les mouvements interrégionaux qu'elle engendre. Pour chaque région, la consommation a été décomposée en deux parties, d'une part la partie consommée à la ferme (autoconsommation), surtout très importante pour les céréales secondaires, et, d'autre part, la partie commercialisée. A l'intérieur de ce dernier groupe, la consommation a, en plus, été ventilée, d'une part, selon l'utilisation : alimentation humaine, alimentation du bétail, industries alimentaires, etc..., d'autre part, selon la provenance : production locale ou importations d'autres régions.

Enfin, les mouvements interrégionaux des différentes céréales ont été analysés, afin de connaître l'origine des importations des différentes régions et de voir dans quelle mesure il existe des courants commerciaux stables entre régions, aussi bien du point de vue des producteurs que des consommateurs (voir tableaux joints).

Toutefois, jusqu'à présent, cette étude des circuits commerciaux proprement dits, n'a pu être entreprise que pour la France, les autres pays ne disposant pas de matériel statistique suffisant sur la consommation régionale et la distribution.

En ce qui concerne les autres aliments de base, certaines données chiffrées ont pu être recueillies et leur exploitation est en cours.

## 4 — LES FACTEURS DE TRANSFERT DE LA CONTAMINATION RADIOACTIVE DES SOURCES DE POLLUTION A L'HOMME

Les études actuellement poursuivies se répartissent en trois grands groupes :

1. les transferts de la contamination atmosphérique dans les produits d'origine végétale,
2. les transferts de la contamination radioactive dans les produits animaux d'origine terrestre,
3. les transferts de la contamination des chaînes alimentaires résultant de la pollution des eaux.

Les objectifs poursuivis sont dans tous les cas :

- l'établissement des taux de transfert de la contamination des produits alimentaires en fonction des facteurs du milieu,
- l'établissement des conditions critiques ou des régions critiques dans la Communauté Européenne, enfin, dans la mesure du possible, des recommandations pour l'utilisation des données pour le calcul des niveaux de protection.

### 4.1 — Transferts de la contamination atmosphérique dans les produits d'origine végétale

#### Etudes bibliographiques.

##### 4.1.1 *Etude des mécanismes de transfert de la contamination atmosphérique dans les végétaux*

L'étude des différents phénomènes qui déterminent la contamination radioactive des végétaux, conduit pour le moment à distinguer :

##### a) *dans le cas des retombées :*

- une contamination atmosphérique essentiellement humide dans les régions de climat tempéré,
- une contamination atmosphérique sèche, accompagnée d'une certaine contamination humide qui se traduit, soit par un rapport, soit par l'élimination d'une certaine fraction de l'activité précédemment déposée. Ce mode de contamination intervient dans les régions présentant une saison sèche marquée (climat méditerranéen, aride ou semi-aride),

##### b) *dans le cas des effluents atmosphériques normaux ou accidentels des installations nucléaires :*

- un dépôt sec à partir de l'état gazeux (iode-131),
- un dépôt sous forme d'aérosols.

Dans les deux cas, il convient de considérer en outre :

- une contamination par le sol,
- une contamination « à la base des plantes » qui n'intervient que dans le cas des pâturages permanents.

En 1967, les études ont été centrées sur la contamination provenant des effluents des installations nucléaires.

Actuellement, la plus grande partie (60 %) des réacteurs en service dans la Communauté Européenne est du type graphite-gaz, avec comme combustible l'uranium naturel. En partant

de l'inventaire du cœur de ces réacteurs à l'état d'équilibre et en tenant compte de la volatilité des radionucléides concernés, on peut estimer que les activités des radionucléides les plus importants, présents dans les effluents gazeux, sont dans les rapports suivants :

Sr-90	1
Sr-89	10
Cs-137	100
I-131	1000.

Du point de vue des effluents atmosphériques, l'ordre des radionucléides par rapport aux risques de contamination est le suivant : I-131, Cs-137, Sr-89 et Sr-90. Les problèmes posés par ces effluents sont dès lors :

- d'une part, un problème de dispersion relevant du domaine de la météorologie, pour lequel des solutions ont été proposées,
- d'autre part, un problème de transfert milieu atmosphérique/plante, pour lequel on ne trouve guère de données dans la bibliographie.

Ce dernier se rapproche du domaine des retombées sèches et du dépôt des aérosols, domaine peu exploré jusqu'à présent.

Pour le moment, on dispose d'une série de données et d'hypothèses de base qui peut se résumer comme suit :

#### 1. Dépôt sec.

Le comportement des retombées sèches est en principe conforme à celui des aérosols naturels : pour les aérosols continentaux provenant des retombées, les dimensions des particules sont pour la plus grande partie comprises entre 0,1 et 10 à 20  $\mu$ .

Dans le champ de gravitation, toutes ces particules tendent à tomber à terre, mais avec des vitesses très différentes (variant de moins d'un mètre à environ 4 000 m par jour). Il s'avère, cependant, que seulement les « particules géantes » (de diamètre supérieur à 2  $\mu$ ) se déposent par une sédimentation régulière; les particules plus petites (inférieures à 2  $\mu$ ) sont très sensibles aux mouvements de l'air et leur dépôt dépend des facteurs tels que les courants d'air descendants, la turbulence et le déplacement par le vent qui interviennent dans le transfert.

#### 2. Elimination humide.

Une certaine élimination des aérosols présents dans l'atmosphère s'effectue déjà au cours de la formation des nuages (« rain-out ») où spécialement des particules inférieures à 0,1  $\mu$  (particules AITKEN) et une partie de « grandes » particules agissent comme noyaux de condensation : il y a, d'autre part, une élimination par balayage (« wash-out ») de l'atmosphère par les précipitations (pluie et neige) des particules inférieures à quelques  $\mu$ . Il résulte des deux processus, que sous un climat tempéré, les aérosols de la couche inférieure de l'atmosphère sont principalement constitués de particules de dimensions comprises entre 0,1 et 2  $\mu$ .

#### 3. Corrélation entre l'activité de l'air et celle de la pluie.

Par suite des différents mécanismes qui interviennent dans le dépôt de la radioactivité artificielle, il y a, à long terme et globalement pour une région donnée, une relation plus ou moins linéaire entre l'activité de l'air et l'activité de la pluie, l'activité d'un mètre cube d'air correspondant approximativement à celle de 1 à 3 ml de pluie.

A brève échéance, l'activité des pluies est inversement proportionnelle à la quantité de pluie tombée, mais l'activité de l'air ne diminue que légèrement pendant des pluies prolongées.

Sur une longue période, on admet qu'en moyenne, pour des latitudes comparables et des conditions climatiques identiques, le dépôt radioactif, à la suite des retombées stratosphériques, est proportionnel à la pluviosité.

#### 4. Dépôt à partir des effluents gazeux.

On admet généralement que les effluents gazeux des réacteurs se présentent sous forme d'aérosols, ayant le même histogramme de répartition que les retombées sèches (stratosphériques), hypothèse qui, toutefois, devrait être vérifiée dans la pratique.

En ce qui concerne le mécanisme de transfert du milieu vers la plante, on peut se baser sur les études faites par MIDDLETON et coll. à Wantage et aux études faites à Fort-Collins (Colorado). On peut aussi considérer la formule de PEARSON et KEANE qui tient compte de trois mécanismes :

- a) un dépôt sec, fonction de l'activité de l'air,
- b) un dépôt humide, fonction de l'activité et du volume des précipitations,
- c) une élimination par la pluie, également fonction des précipitations.

Ce modèle peut servir de guide, mais ne dispense pas d'entreprendre des recherches pour déterminer les paramètres qui déterminent les facteurs de transfert atmosphère-plante, notamment la vitesse de dépôt des aérosols radioactifs, dans des conditions atmosphériques variables, et le facteur d'entraînement par la pluie (« wash-out ») des aérosols en suspension.

##### 4.1.2 Etude de la variabilité de la teneur en calcium des fourrages

Le transfert du radiostrontium de l'herbe dans le lait est fonction de la teneur en calcium de l'herbe ingérée par les animaux. La connaissance de la teneur en calcium des fourrages et de sa variabilité est donc essentielle pour l'étude du transfert du strontium radioactif dans le lait.

Une étude préliminaire a été faite à partir de données provenant du Syndicat d'Amélioration des Sols de Gargenville et du Laboratoire d'Analyse des sols et des végétaux à Mariendaal - Hollande).

L'histogramme de répartition des données étudiées fait apparaître une fréquence maximale de 0,6 % rapportée au poids de matière sèche, tandis que 95 % des valeurs se situent entre 0,5 et 0,9 %.

Cette étude montre en outre que le sol exerce une certaine influence sur la teneur en Ca de l'herbe, soit par sa capacité d'échange, soit par sa teneur en calcium (échangeable ou sous forme de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), mais cette influence n'est pas très nette et est facilement compensée par les effets d'autres facteurs.

Généralement, les teneurs en Ca de l'herbe sur sols sableux (légèrement acides) sont inférieures à celles trouvées sur sols limoneux et argileux. D'autre part, il existe une corrélation positive des teneurs en Ca avec le pH des sols.

En règle générale, le chaulage des pâturages n'influence guère la teneur en Ca de l'herbe. Une fertilisation azotée abaisse les teneurs en Ca, à moins que l'azote soit appliqué sous forme de nitrate de chaux ou de Kalkammonsalpeter (nitrate d'ammoniaque avec un supplément de  $\text{CaCO}_3$ ).

Un projet de recherches est à l'étude, en vue de préciser la relation entre la teneur en Ca de l'herbe et la nature du sol, à partir d'un échantillonnage en séries du sol et de l'herbe dans quelques grandes régions de pâturages en France.

## Recherches expérimentales complémentaires

Les points suivants ont été mis à l'étude :

### 4.1.3 Etude des transferts sol-plante - analyses verticales

Le principe de ces études consiste à grouper au même point les mesures de la radioactivité du milieu (retombées et dépôt cumulatif) et les analyses des principaux produits alimentaires.

Les radioéléments étudiés sont le Sr-90 et le Cs-137.

Une première étude pilote réalisée en Italie, en 1966, a permis de mettre en place en 1967 quatorze stations réparties comme suit :

#### ITALIE - 5 stations

1. *Udine* - située au pied des montagnes au Nord-Est de la Plaine du Pô; trois différents types de sol,
2. *Sant' Angelo* - dans la Plaine du Pô, près de Lodi; sol léger,
3. *Santa Maria di Galeria* - près du Centre d'Etudes Nucléaires de la Casaccia; sol argileux,
4. *Caltagirone* - en Sicile; sol argileux, limoneux,
5. *et en outre, Ispra* - près du Centre d'Etudes Nucléaires du même nom; sol léger.

Les prélèvements et les mesures sont réalisés par l'Université de Pavie pour les quatre premières stations, et par le Service de Protection du Centre d'Ispra.

#### ALLEMAGNE FEDERALE - 6 stations.

1. *Hütschenhausen* (Palatinat); sol sableux,
2. *Hameln* (Lüneburger Heide); sol sableux humifère,
3. *Rinkenbergerhof*; sol sableux
4. *Obersulzen* (Palatinat); sol limoneux humifère (Schwarzerde),
5. *Nonnenhof*; sol sableux argileux,
6. *Wildschwaige* (Bavière); sol tourbeux.

Les prélèvements et les mesures sont réalisés par le Verband Deutscher Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalten.

#### FRANCE - 2 stations.

1. *Benesse Marene* (Landes); sol sableux,
2. *Barbentane* (région d'Avignon); sol calcaire.

Les prélèvements sont réalisés par le Syndicat d'Amélioration des Sols et les mesures par l'Université d'Aix-Marseille.

#### BELGIQUE - 1 station.

*Mol* (au Centre d'Etudes Nucléaires du même nom); sol sableux humifère.

Les prélèvements et les mesures sont réalisés par le Service de Radiobiologie du CEN de Mol.

Ces stations ont été choisies de façon à rencontrer des conditions variables de sol, en particulier les sols sableux et tourbeux qui sont dès maintenant considérés comme potentiellement critiques.

Les produits échantillonnés sont le blé, le maïs, les pommes de terre, les choux, les tomates, les pommes, la laitue, enfin l'herbe, les fourrages et le lait.

Les prélèvements d'échantillons ont été réalisés au cours de l'année 1967 et les analyses sont en cours.

L'exploitation des résultats est prévue en 1968.

#### 4.1.4 Etude de la contamination foliaire

Cette étude couvre à la fois le problème de la contamination atmosphérique par voie humide et celui de la contamination par l'eau d'irrigation. Elle est conduite avec la collaboration du Service de Biologie à Ispra, en prolongement des études commencées en 1965.

Le programme de 1967 comportait l'étude de l'influence des ions étrangers, présents dans les eaux de pluie ou d'arrosage, sur la rétention de la contamination (par voie directe) par les parties aériennes des végétaux. L'étude a été limitée aux effets de la teneur des eaux en calcium et en potassium stables sur la rétention du Sr-85 et du Cs-134 par certaines plantes. Les espèces choisies ont été la tomate et le haricot. Les solutions utilisées ont été les suivantes :

- pour Sr-85 - 0,5  $\mu\text{Ci/l}$  d'eau déminéralisée avec 0 - 2 - 10 - 50 et 100 ppm Ca ( $\text{CaCl}_2$ );
- pour Cs-134 - 0,5  $\mu\text{Ci/l}$  d'eau déminéralisée avec 0 - 0,5 - 2 - 5 - 10 ppm K (KCl).

Les végétaux ont été traités par aspersion et par trempage dans les solutions. Les résultats des premières expériences ont été les suivants :

- la rétention de Sr-85 est fortement diminuée (dans un rapport de 5 à 1) chez la tomate quand la concentration en Ca passe de 0 à 10 ppm. Au-delà de cette concentration, la réduction relative est beaucoup plus faible,
- la rétention de Cs-134 paraît peu affectée par les variations de la concentration en potassium. Elle est peut-être diminuée d'une façon plus nette pour des concentrations plus grandes en potassium.

Trempage et aspersion donnent des résultats analogues.

Ces premiers résultats indiquent combien la rétention du Sr par les feuilles peut être différente, suivant que le vecteur est de l'eau pure, de l'eau de pluie peu minéralisée ( $\text{Ca} \leq 1$  ppm), de l'eau de pluie assez minéralisée, ou de l'eau d'irrigation (teneurs en Ca échelonnées de 10 à plus de 100 ppm, en général).

En 1968, ces études seront poursuivies en recherchant spécialement les effets des anions dans l'eau : le chlorure, le sulfate et le bicarbonate. En plus, on étudiera les effets des isotopes stables sur l'absorption des deux radionuclides.

#### 4.1.5 Absorption de radiocésium par les végétaux à partir du sol (projet EUROSOLS) (collaboration de l'Association EUR-ITAL et du Service de Biologie d'Ispra)

Dans une expérience préliminaire en vases, l'absorption du radiocésium par deux types de rotation a été étudiée en fonction du type de sol. En moyenne, pour ces deux rotations, l'élimination par g de matière sèche, exprimée en  $10^{-3}$  % de l'activité totale ajoutée par pot, variait de 0,83 (pour une Terra Fusca à 18 (pod-sol) et 18,2 (sol tourbeux). Cette expérience confirme que le Cs est beaucoup plus mobile dans le sol sableux et le sol tourbeux que dans les autres types de sol. En outre, l'expérience a montré d'assez grandes différences d'absorption entre les différentes cultures.

#### 4.1.6 Contamination à la base des plantes

Le projet lancé en 1966 avec la collaboration du Service de Radioécologie du CEN de MOL est en cours.

Les placeaux expérimentaux ont été mis en place aux quatre points suivants :

1. à Mol (Ferme expérimentale du CEN, Mol), sol sableux humifère,
2. à Givet, ferme sur une pente donnant sur la Vallée de la Meuse,
3. Vallée de la Meuse, pâturage sur sol alluvial,
4. Plateau des Ardennes, près de Vielsalm, situation élevée, partie marécageuse, près de la forêt.

#### 4.1.7 *Etude des retombées sèches du dépôt des aérosols et du transfert atmosphère/plante*

Un programme est en cours d'étude en vue d'atteindre les premiers objectifs suivants :

- a) construction d'un appareillage, pouvant produire des aérosols de dimensions comprises entre 0,1 et quelques microns,
- b) préparation d'aérosols expérimentaux,
- c) étude des transferts aérosols-sol et aérosols-plantes dans des conditions atmosphériques variables.

#### 4.2 — **Transferts de la contamination radioactive dans les produits animaux d'origine terrestre**

Trois études expérimentales, réalisées avec la collaboration du Service de Radiobiologie de MOL sont actuellement en cours d'achèvement.

##### 4.2.1 *Etude de l'influence du mode d'élevage sur la contamination radioactive du lait*

Les modes d'élevage étudiés sont : le pâturage continu, le pâturage rotatif et la stabulation.

Les radioéléments utilisés sont le Cs-134 et le Sr-85.

L'interprétation des mesures est en cours.

##### 4.2.2 *Etude de l'influence de la contamination hivernale des pâturages sur celle du lait*

Trois parcelles de prairie ont été contaminées par épandage d'une solution de Cs-134 et Sr-85 à trois époques différentes :

- mi-novembre
- fin décembre
- mi-février.

Un groupe de quatre vaches est mis au pâturage sur chacune des parcelles, dès l'ouverture de la saison.

L'herbe et le lait provenant de chacune des parcelles seront analysés et les niveaux de contamination comparés.

L'interprétation des résultats est en cours.

##### 4.2.3 *Etude de la contamination de la viande de bovin*

Cette étude a pour objectif les trois points suivants :

- déterminer la teneur en radiocésium de la viande de bovin après une contamination unique en conditions naturelles,
- établir la relation entre la contamination du lait et celle de la viande,
- déterminer l'influence de l'âge des animaux sur le niveau de contamination de la viande.

La même étude est prévue pour déterminer les niveaux de contamination de la viande et le rapport entre celui-ci et le niveau de contamination du lait en condition d'équilibre physiologique (contamination chronique).

L'interprétation des résultats est en cours.

4.2.4 *Les études à entreprendre dans le cadre d'un programme nouveau* seront fonction des résultats en cours d'analyse. Mais il apparaît d'ores et déjà que les causes de variabilité des facteurs de transfert de la contamination dans les produits animaux sont d'ordre écologique ou agrotechnique, plutôt que d'ordre zootechnique.

#### 4.3 — Etude des transferts de la contamination des chaînes alimentaires résultant de la pollution des eaux

L'étude des transferts de la contamination des chaînes alimentaires résultant de la pollution des eaux a été entreprise au cours de l'année 1966.

A priori, les produits alimentaires dont la contamination radioactive dépend de celle de l'eau sont :

- les productions des zones irriguées : végétaux irrigués, viandes et laits provenant d'animaux consommant des produits irrigués,
- les poissons des eaux continentales,
- les poissons, mollusques, crustacés océaniques et marins, éventuellement des algues.

Au cours de l'année 1967, les recherches ont été centrées sur les points suivants :

#### Recherches bibliographiques

##### 4.3.1 *Analyse de la notion de facteur de concentration*

Cette étude, abordée en 1966, a été développée au cours de l'année 1967.

La détermination des facteurs de concentration  $F$  entre les organismes aquatiques et l'eau fournit des mesures pour l'intensité des transferts de la contamination radioactive dans les chaînes écologiques aquatiques. Dans le cas des organismes directement consommés par l'homme, la connaissance de  $F$  permet, quand on est suffisamment renseigné sur les régimes alimentaires des populations, une évaluation théorique des niveaux de contamination correspondant à une dose de référence. Elle permet, d'autre part, de dresser une liste d'organismes ubiquistes qui, concentrant certains radioéléments, peuvent servir d'indicateurs biologiques de la contamination des systèmes hydrobiologiques en vue d'évaluer leur capacité d'acceptation pour les effluents radioactifs liquides.

La grande variabilité des facteurs de concentration relatifs à un élément et à une espèce ou un groupe d'espèces est en grande partie due à une grande variabilité des conditions de mesures.

En vue de prévoir les conséquences d'une opération de rejet, la façon la plus commode de procéder est de raisonner par analogie : on déterminera les constantes radioécologiques du système hydrobiologique à étudier, puis, parmi les multiples données de la bibliographie, on se référera à celles relatives aux systèmes les plus semblables du point de vue radioécologique. Cette méthode qui, en principe, nécessite la mesure de nombreux indices, est souvent peu compatible avec les impératifs et délais des études préliminaires à toute nouvelle implantation nucléaire. On ne pourra en alléger la réalisation que lorsqu'on pourra apprécier l'incidence des divers indices radioécologiques sur les facteurs de concentration. Parmi ces indices, ceux de nature physico-

chimique ont été surtout étudiés. Il semble bien que leur variabilité explique celle des facteurs de concentration. Aussi, dans les comparaisons impliquées par la méthode précédente, il y a lieu de les prendre en particulière considération.

Les exemples suivants donnent une idée de la variabilité des facteurs de concentration en fonction de la nature physico-chimique du radioélément :

- les expérimentations poursuivies au Ruder Boskovic Institute de Yougoslavie concernant les facteurs de concentration de différentes formes physico-chimiques du ruthénium pour la moule (tableau I),
- les expérimentations effectuées par le même organisme scientifique sur les facteurs de concentration du cobalt pour la moule en présence de concentrations croissantes d'EDTA, réactif souvent employé lors des décontaminations et, de ce fait, présent dans beaucoup d'effluents liquides (tableau II),
- la relation  $\log F = 2,2 - 0,8 \log /Ca/$  où F est le facteur de concentration du Sr pour la chair des poissons, /Ca/ la concentration en calcium stable des eaux (en ppm), vérifiée pour des poissons d'eau douce (Rapport Annuel 1966) paraît valable avec une approximation suffisante pour la chair de poissons de mer et de poissons de zones d'embouchures. Pour les poissons entiers, donc en particulier pour les poissons de friture consommés en entier, on aurait, avec les notations précédentes,

$$\log F = 3,3 - 0,8 \log /Ca/.$$

Pour des végétaux immergés des eaux continentales et le césium, une relation du même type existerait :

$$\log F = \log m - 0,45 \log /K/,$$

où K est la concentration des eaux en potassium et m, une constante (d'après des données empruntées à BENINSON et coll.).

TABLEAU I

Facteurs de concentration entre les tissus mous de la moule et l'eau pour Ru-106 (expérimentations en aquarium, durée : 5 jours, d'après le Ruder Boskovic Institute)

	Ru-106 associé au chlore	Ru-106 à l'état de complexes nitratonitrosylruthénium
Formes anioniques	11,4	4,26
Formes neutres	99	3,41
Formes cationiques	29,7	5,82

TABLEAU II

Facteurs de concentration entre les tissus mous de la moule et l'eau pour Co-60 en fonction de la concentration de l'eau en EDTA (expérimentations en aquarium, durée : 5 jours, d'après le Ruder Boskovic Institute)

Teneurs en EDTA (en mg/l)	Facteurs de concentration
0	54,5 ± 9,2
0,01	51,6 ± 6,3
0,1	43,4 ± 8,0
1	17,8 ± 1,9
10	4,3 ± 1,6

Le tableau III propose une liste indicative des différents indices radioécologiques et écologiques dont dépendent ou bien les valeurs des facteurs de concentration, ou bien les interprétations qui rendraient possibles des comparaisons entre des cas concrets.

4.3.2 *Discussions bibliographiques relatives aux comportements physico-chimiques et aux radioécologies dans les systèmes hydrobiologiques de radioéléments artificiels autres que le strontium, le césium et l'iode.*

Ces discussions bibliographiques sont conçues comme des monographies traitant chacune des principaux radioéléments artificiels autres que les isotopes de Sr, Cs et I, intervenant dans les chaînes alimentaires aquatiques. En 1967, ces études ont porté sur le *ruthénium* et sur le *cobalt*.

Le choix prioritaire du ruthénium tient au fait que cet élément, par ses isotopes Ru-103 et Ru-106, est quantitativement le premier radioisotope produit de fission présent dans les effluents liquides. En raison de sa physico-chimie très compliquée, en particulier de ses très nombreux états de valence, du nombre important de ses sels simples et surtout de ses complexes, de la présence dans les effluents mêmes de ruthénium sous plusieurs formes complexes, le ruthénium peut échapper à certains processus de décontamination des effluents liquides et les risques qu'il parvienne aux émonctoires (lacs, fleuves, mers) sont plus grands que pour le strontium et le césium.

En radioécologie, le ruthénium est, d'autre part, un élément dont il est indispensable de préciser l'état physico-chimique dans le milieu, car il a été montré que les facteurs de concentration pour Ru dépendent dans une large mesure de la forme dominante en milieu aqueux.

L'intérêt de l'étude du cobalt résulte surtout des faits suivants :

- certains radiosotopes sont des produits d'activation qui, dès maintenant, posent des problèmes pratiques, car ils figurent dans certains effluents liquides. En particulier, Co-60 est un des radioéléments présents dans les systèmes de réfrigération des réacteurs de navires et sous-marins à propulsion nucléaire (AIEA - coll. Sécurité N° 5),

### TABLEAU III

#### Indices radioécologiques et écologiques utiles pour des interprétations relatives aux facteurs de concentration

**I — Circonstances de la mesure.** Expérimentation en aquarium ou résultats d'une mesure in situ; lieu et date; mode d'introduction du radioélément (contamination simple, répétée ou continue) et des espèces aquatiques.

#### **II — Données concernant la radioactivité**

II.1 — *Données relatives au radioélément dont on a déterminé le facteur de concentration :* isotope, période physique, origine du radioélément (retombées, effluents, provenance, préparation spéciale), variations de la radioactivité due au radioélément dans le milieu au cours du temps avant et pendant les mesures.

II.2 — *Autres données concernant la radioactivité du milieu*

**III — Données concernant l'organisme (ou l'organe) :** espèces, variété, âge, poids, croissance, alimentation de l'organisme, données physiologiques diverses, notamment concernant la période biologique du radioélément.

#### **IV — Données d'ordre physico-chimique**

IV.1 — *Données d'ordre physico-chimique relatives au radioélément* - forme physico-chimique (ionique simple, complexe, soluble, colloïdale, particulière) sous laquelle le radioélément a été introduit dans le milieu et, au besoin, évolution de cette forme dans le milieu en fonction du temps avant et pendant les mesures.

IV.2 — *Données d'ordre physico-chimique concernant le milieu* - en particulier : pH, potentiel d'oxydoréduction, chlorinité et salinité, présence de composés susceptibles de complexer, de précipiter ou au contraire de solubiliser le radioélément, éléments stables susceptibles de diluer chimiquement ou isotopiquement le radioélément étudié, matières solides en suspension ou déposées. Données relatives aux pollutions autres que radioactives.

**V — Données mécaniques et physiques relatives au milieu.** S'il s'agit de mesures in situ : données relatives aux phénomènes mécaniques de dispersion, vents, marées, courant, débit (cours d'eau), mélange des eaux (embouchures, lacs, océans). Données apportées par les expérimentations à l'aide de flotteurs, de colorants ou de traceurs. Données relatives à la température et à l'éclairement.

**VI — Données relatives à l'utilisation des eaux dans le site étudié et dans son voisinage :** pêche, utilisation des eaux comme eau de boisson pour l'homme et les animaux de ferme, irrigation, extraction du sel, utilisation des algues pour l'industrie, utilisation des algues et des sédiments comme amendements pour l'agriculture, utilisation de l'eau pour les loisirs.

- il est probable que le développement des filières de réacteurs de puissance nécessite le recours à des matériaux de qualité spéciale et que le risque de production de radioisotopes du cobalt s'en trouve accru,
- le cobalt a une chimie assez compliquée. En particulier, il forme de nombreux complexes avec divers composés, notamment avec des composés utilisés couramment pour la décontamination des surfaces. De ce fait, il est certainement présent dans les effluents sous des états chimiques variés ce qui complique les processus de décontamination des effluents en ce qui le concerne et implique un comportement radioécologique peu prévisible a priori,
- certains radioisotopes du Co ont une période physique assez longue (Co-60 : 5,3 ans - Co-57 : 270 jours - Co-58 : 72 jours - Co-56 : 78 jours). D'autre part, le cobalt présente une grande affinité pour certaines molécules biochimiques nobles (porphyrines, acides aminés soufrés).

Les études des deux éléments ont été conduites de manières presque parallèles.

Les études comportent deux parties : une partie physico-chimique, une partie radioécologique.

#### 4.3.2.1 Etudes physico-chimiques

*Le comportement physico-chimique du ruthénium* paraît surtout caractérisé par

- ses très nombreux états de valence (tableau IV),
- son affinité très grande pour certains composés minéraux et organiques se traduisant par l'existence de complexes souvent stables,
- par son affinité particulière pour le groupement NO se traduisant par l'existence d'un cation complexe nitrosylruthénium, RuNO, extrêmement stable et par l'existence de complexes dérivés parfois très stables (dans les effluents radioactifs, il semble que les complexes nitro-nitrosylruthénium et nitratonitrosylruthénium dominent),
- par sa grande affinité pour certains ligands, en particulier les ligands S → et O → voisins de groupes carboxyliques, se concrétisant par l'existence de complexes stables des cations Ru<sup>3+</sup>, Ru<sup>4+</sup> et surtout RuNO<sup>3+</sup> avec des acides thiocarboxyliques et hydroxycarboxyliques.

*Le comportement physico-chimique du cobalt* est a priori nettement plus simple : le cobalt ne possède, en milieu aqueux, que deux valences fondamentales :

- la valence 2 à laquelle correspondent des sels cobalteux stables et des complexes relativement peu stables sauf en milieu réducteur,
- la valence 3 à laquelle correspondent des sels cobalteux peu stables et des complexes relativement très stables.

En présence de composés chélatants et en milieu oxydant, le cobalt s'oxyde très vite pour former des complexes cobaltiques stables.

Le cobalt n'a pas d'affinité particulière pour le groupement nitrosyl, contrairement au ruthénium. Par contre, il présente une affinité très grande pour le groupement cyanure C ≡ N et certaines bases minérales ou organiques (dont l'ammoniac).

Comme le ruthénium, le cobalt se lie à l'état de complexes avec des acides thiocarboxyliques, hydroxycarboxyliques et aussi de nombreux acides aminés.

Une large place a été réservée aux méthodes et techniques analytiques utilisables en vue de la détermination de traces de ruthénium et de cobalt, en radiochimie, en vue de celle des radioisotopes, et en vue du diagnostic de l'état physico-chimique du ruthénium.

TABLEAU IV

## Etats de valence et composés du ruthénium

Valences	Sels	Complexes
Valence zéro	Ruthénium - carbonyles	.
Valence un		Dérivés carbonyles complexes (RuCo) <sup>+</sup>
Valence deux		Complexes fréquents, notamment (RuCO) <sup>2+</sup> , (Ru(CN) <sub>6</sub> ) <sup>4-</sup> , Ru(CN) <sub>5</sub> NO <sup>3-</sup>
Valence trois	Sels relativement stables	<ul style="list-style-type: none"> <li>— nombreux complexes de Ru<sup>3+</sup> par exemple (RuCl<sub>6</sub>)<sup>3-</sup></li> <li>— formation de l'ion nitrosylruthénium : (RuNO)<sup>3+</sup></li> <li>— nombreux complexes de l'ion nitrosylruthénium : en particulier :               <ul style="list-style-type: none"> <li>— nitronitrosylruthénium stable</li> <li>— nitratonitrosylruthénium et chloronitrosylruthénium moins stables</li> </ul> </li> </ul>
Valence quatre	Oxyde RuO <sub>2</sub> stable Sels assez stables	Nombreux complexes
Valence cinq	Sels rares et instables	
Valence six		Complexes qui sont les sels de l'anion ruthénate (RuO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> . Les ruthénates sont assez peu stables. Nombreux complexes dérivés des ruthénates
Valence sept		Complexes qui sont les sels de l'anion perruthénate (RuO <sub>4</sub> ) <sup>-</sup> . Les perruthénates sont relativement instables
Valence huit	Oxyde RuO <sub>4</sub> très volatil et soluble dans solvants organiques	

En outre, les principes des techniques de préparation de composés définis du ruthénium et du cobalt ont été brièvement résumés. Il s'avère, en effet, souvent souhaitable de recourir lors des expérimentations en radioécologie à des composés aussi bien précisés que possible de l'un ou de l'autre des deux éléments, ruthénium et cobalt. C'est dans cet esprit que l'étude de la chimie « préparative » de composés (notamment de complexes), du ruthénium et du cobalt a été abordée.

A ce titre,  $\text{RuO}_4$ , le tétra-oxyde de ruthénium, volatil et soluble dans les solvants organiques, et les composés du nitrosylruthénium sont les intermédiaires essentiels de la chimie et de la radiochimie du ruthénium, le premier, parce qu'il peut être aisément obtenu pur, les seconds, parce qu'on peut les extraire des combustibles irradiés. Le tableau V donne un schéma simplifié des réactions les plus importantes fournies par ces composés.

#### 4.3.2.2 Etudes radioécologiques

Dans les deuxièmes parties des monographies relatives au ruthénium et au cobalt, les aspects suivants ont été abordés :

- étude du comportement des deux éléments dans les eaux (eaux continentales et océaniques),
- étude de leurs comportements vis-à-vis des espèces aquatiques,
- étude de leurs comportements dans les sols,
- étude des phénomènes de sorption et d'échanges hétérogènes dans les eaux et les sols.

Les exemples cités au 4.3.1 montrent que le transfert des radioéléments du Ru et du Co dans les chaînes aquatiques dépend dans une large mesure de l'état physico-chimique de ces deux éléments. C'est pourquoi l'accent a été mis sur l'étude des composés présents dans les effluents ou dans le milieu (eaux continentales et océaniques, sols) qui pourraient modifier l'état physico-chimique de ces éléments, en particulier par formation de complexes nouveaux soit à partir de formes salines solubles ou insolubles (particulaires), soit à partir de complexes primaires (formés par exemple lors des traitements des combustibles ou autres matériaux nucléaires). Or, les eaux naturelles et les sols contiennent, à des concentrations variées, de très nombreux composés qui peuvent complexer Ru et Co. Il s'agit, soit de composés présents normalement en raison des « métabolismes » propres aux divers milieux, ou bien de composés présents accidentellement ou régulièrement du fait de rejets d'effluents chimiques, de traitements antiparasitaires, d'apports de conditionneurs du sol,...

En raison des comportements chimiques des éléments Ru et Co, l'attention mérite d'être attirée en particulier sur les composés suivants (figure 12) :

- acides aminopolyacétiques (EDTA, DCTA, etc...),
- acides carboxyliques,
- acides mercapto-carboxyliques,
- acides hydroxycarboxyliques,
- acides aminés et un certain nombre de composés organiques naturels.

La chélation du Co et surtout celle du Ru se traduirait par une mobilité chimique accrue, c'est-à-dire par une extension géographique des zones (sols et eaux) contaminées.

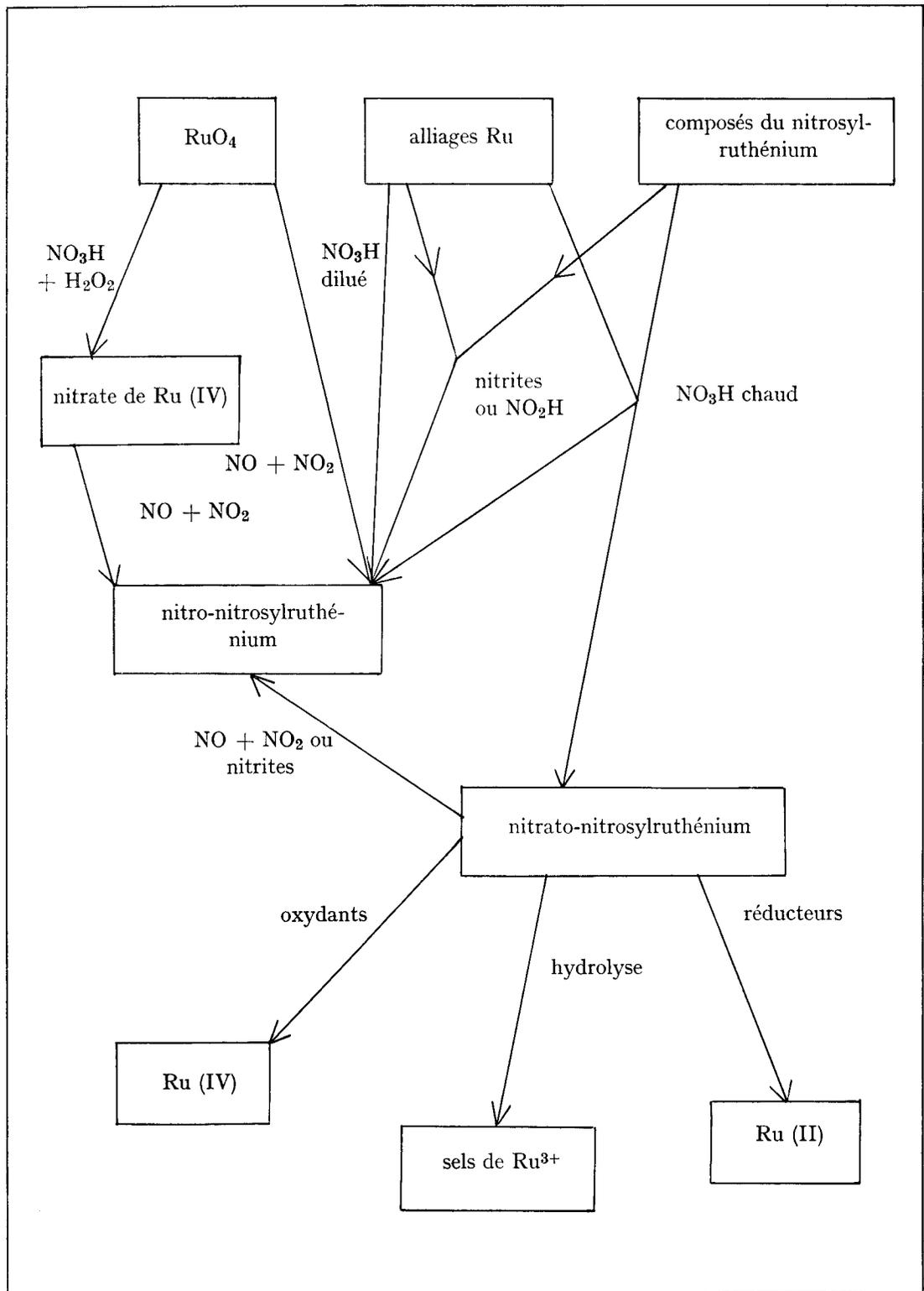
### Recherches expérimentales

#### 4.3.3 Recherches expérimentales sur le comportement du nitrosylruthénium en milieu aqueux

En 1967, ces recherches ont été poursuivies en collaboration avec la Section de Radioécologie du Département de la Protection Sanitaire (Commissariat à l'Energie Atomique, France).

TABLEAU V

Formation de complexes azotés du nitrosylruthénium,  
d'après Fontaine et Berger - schéma très simplifié



L'ensemble des résultats obtenus montre l'existence possible dans une eau naturelle simulée, tamponnée à  $\text{pH} = 8$ , d'hydroxydes de ruthénium colloïdaux et de complexes organiques solubles du ruthénium : le ruthénium colloïdal évolue rapidement vers une forme particulaire, lorsqu'il est en présence de particules solides en suspension. Le ruthénium complexé étant très peu retenu par les sorbants naturels, reste relativement stable en solution. La réaction de solubilisation des hydroxydes par formation de complexe est une réaction lente à température ambiante. Les complexants utilisés et étudiés en 1967 ont été des acides hydroxycarboxyliques, mercapto ou thio-carboxyliques, aminocarboxiques et des acides uroniques. Dans le milieu synthétique envisagé (ClNa : 0,5 M, acide borique : 0,005 M, tétraborate de sodium : 0,005 M, acide nitrique : 0,005 M; les acides mercaptocarboxyliques sont, parmi les chélateurs étudiés, les meilleurs agents complexants. Puis viennent : les acides aminés, les acides hydroxycarboxyliques et les acides uroniques. Il est fort possible que la nature du milieu modifie qualitativement les résultats obtenus, les composés volontairement introduits dans le milieu synthétique pour le tamponner ou du moins restreindre les variations de pH bloquant certaines fonctions chélatantes de complexants éventuels (par exemple : blocage des OH par l'acide borique). Dans les eaux naturelles, le ruthénium entre en compétition avec des microéléments susceptibles de former des complexes avec les composés étudiés. Pour ces raisons, les premiers résultats obtenus ne peuvent pas avoir une valeur autre qu'indicative. Par contre, leur intérêt à la fois théorique et pratique incite à poursuivre les études dans la même direction.

#### 4.3.4 Recherches relatives à la contamination pouvant résulter d'une irrigation par submersion

L'objet des études poursuivies en 1967 en collaboration avec le Service de Biologie d'Euratom à Ispra a été :

- de réaliser des minirizières irriguées en bacs et sous serres,
- d'étudier la contamination de ces minirizières (irriguées) par les isotopes du césium et de chercher plus précisément à évaluer l'origine du Cs absorbé par la plante : eau d'irrigation contaminée ou sol contaminé.

Le mode opératoire a été le suivant : les sols des minirizières ont été contaminés uniformément par Cs-134, alors que l'eau d'irrigation a été contaminée par Cs-137. Des échantillons d'eau, de sol et de végétaux ont été prélevés régulièrement, ce qui a permis d'établir un bilan du césium (comptages par spectrométrie gamma).

Les premiers résultats peuvent se résumer ainsi :

- l'horizon superficiel du sol en contact avec l'eau capte une fraction importante du Cs,
- dans les conditions expérimentales adoptées, la culture exporte environ trente fois plus de césium à partir de l'eau d'irrigation qu'à partir du sol,
- le césium, transitoirement adsorbé par l'horizon superficiel, peut être utilisé par les racines au même rythme que le césium de l'eau,
- le caryopse « exporte » plus de cent fois plus de Cs issu de l'eau que celui préalablement fixé par le sol.

L'ensemble de ces résultats souligne l'importance du niveau d'activité en Cs de l'eau d'irrigation dans la contamination des cultures irriguées par submersion.

#### 4.3.5 Etudes sur la contamination en Sr de poissons d'eau douce

Ces études ont été poursuivies à Ispra en collaboration avec le Service de Biologie d'Euratom. Leur objet concret pour 1967 était d'apprécier les parts respectives des contaminations directe d'une part (peau et ouïes), et indirecte (aliments) d'autre part.



Le strontium étant incorporé dans les structures osseuses avec le calcium, il a paru opportun d'étudier l'absorption de Sr en relation avec les phénomènes de croissance sur des organismes en voie de croissance. L'espèce choisie a été *Carassius auratus* (L) (poisson rouge). Les essais ont été réalisés en aquarium. Les animaux ont été divisés en deux groupes, le premier recevant une nourriture non contaminée, mais vivant dans une eau contaminée en Sr-85, le deuxième recevant une nourriture contaminée par Sr-85, mais vivant dans une eau non contaminée. On détermine la rétention du strontium dans les deux groupes en absence et en présence de calcium dans la nourriture.

Les premiers résultats ont été les suivants :

- le calcium introduit dans la nourriture déprime l'absorption du strontium, si le strontium est apporté par la nourriture,
- dans les conditions expérimentales adoptées, la rétention directe du strontium représente environ les 2/3 de l'accumulation totale, c'est-à-dire deux fois l'absorption par voie digestive.

Ces premières expérimentations ont été poursuivies par diverses recherches destinées surtout à orienter les études ultérieures : deux essais ont été réalisés sur des poissons adultes sans croissance notable et dont la nourriture seule a été contaminée :

- lorsque la somme (Sr + Ca) dans l'aliment augmente alors que Sr/Ca est maintenu constant, la quantité de Sr absorbée par j par l'animal décroît suivant une relation exponentielle sans palier,
- les variations de la rétention de Sr en fonction de la concentration croissante en Ca, à Sr constant dans l'aliment montre par contre qu'il existe un palier, le rapport entre la rétention maximum (pas de Ca introduit dans l'aliment) et la rétention minimum étant de l'ordre de 3.

#### 4.3.6 Etudes sur la contamination radioactive de mollusques d'eau douce

Le but des recherches était d'étudier la contamination par des radioéléments artificiels autres que Sr, Cs et I d'organismes d'eau douce voisins morphologiquement des bivalves marins consommés par l'homme. Le choix s'est porté sur *Unio Mancus elongatulus*. Les recherches expérimentales ont été poursuivies à Ispra, en collaboration avec le Service de Biologie d'Euratom. Le radioélément envisagé en 1967 a été le cobalt-58 introduit dans le milieu à l'état de sel simple.

Les expérimentations de contamination ont été poursuivies en aquarium pendant 5 jours (contamination unique). Les animaux ont été comptés entiers et vivants, une partie a été ensuite disséquée, et les différentes parties de l'organisme ont été soumises au comptage. Les autres animaux ont été remis dans les aquariums remplis d'eau non contaminée en vue d'étudier la cinétique de la décontamination progressive.

Les résultats ont été les suivants :

- les sédiments placés dans les aquariums fixent rapidement le cobalt de l'eau,
- la sorption du cobalt par les *unio* est rapide. Les variations individuelles sont grandes et, par suite, les facteurs de concentration assez variés. Dans les conditions expérimentales adoptées, le facteur de concentration le plus élevé a été de 87. Si l'organisme est introduit une fois qu'un équilibre s'est établi dans l'aquarium, le facteur de concentration croît régulièrement en fonction du temps et, en 5 jours, on n'a pas atteint de palier,
- Co se localise à égalité dans les coquilles et dans les tissus mous et, pour les tissus mous, l'ordre paraît être le suivant :
  - membrane inférieure du péricarde > branchie > manteau > tentacules buccales > muscles > liquide intérieur,

— la décontamination est lente, partielle et affecte surtout la coquille, le liquide interne, les tentacules buccales et le manteau. Elle est accélérée par la présence d'EDTA dans l'eau (100 ppm).

## 5 — EVALUATION DES NIVEAUX DE CONTAMINATION RADIOACTIVE DU MILIEU AMBIANT ET DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE

Deux séries d'études ont été développées en 1967.

### 5.1 — Etude de l'évolution des paramètres radiobiologiques en fonction de l'âge des individus

5.1.1 Une revue bibliographique des informations disponibles sur le Cs-137 a fait l'objet d'un rapport en cours de publication. Les données examinées (65 références) proviennent d'une part des résultats de mesures émanant des services de surveillance de la radioactivité, d'autre part, des résultats d'observations faites sur l'homme.

La première partie traite de la charge corporelle totale et de ses variations, en fonction, principalement du niveau de contamination des produits ingérés, du type de régime alimentaire et de la période biologique. Pour la comparaison et l'interprétation des données, il est donc nécessaire de disposer des renseignements adéquats concernant les sujets (nombre, âge, sexe, taille, poids, teneur en potassium), la contamination du milieu et des denrées alimentaires (lait, mais aussi viande, poisson, céréales, fruits, légumes) et la composition du régime.

L'influence de l'âge et du sexe a été nettement mise en évidence, soit sur la charge corporelle totale, soit sur la charge spécifique (pCi/kg). Une corrélation entre le niveau d'équilibre du césium (exprimé en multiples de l'ingestion quotidienne) et le poids du corps est rapportée. La distribution du poids des individus dans un groupe de population s'ajoute aux autres causes de variabilité.

On a rassemblé dans la deuxième partie les résultats concernant la distribution du Cs-137, dans les tissus humains : sang, muscles, os (côtes, fémur, hanche, vertèbres), autres organes (foie, cerveau, reins,...). On a comparé soit les charges totales, soit les charges spécifiques, soit les rapports Cs/K. Les divergences qui sont apparues notamment en ce qui concerne l'influence de l'âge, font conclure à la nécessité d'autres investigations.

L'estimation de la période biologique, qui fait l'objet de la troisième partie, repose sur trois sortes de mesures : charge corporelle provenant d'une ingestion continue de Cs-137 contaminant la chaîne alimentaire; charge et excrétion après incorporation unique (le plus souvent accidentelle); analyse d'échantillons provenant d'autopsies, complétée par une évaluation des quantités ingérées pendant la période précédant le décès.

La rétention s'exprime par une fonction multi-exponentielle, quelquefois à trois termes, le plus souvent à deux. Beaucoup d'auteurs indiquent une seule valeur de la période d'élimination, mais l'importance de la fraction concernée n'est pas toujours indiquée, ce qui peut occasionner des erreurs de l'ordre de 10 à 20 %. Parmi les nombreux paramètres qui peuvent modifier la valeur de la période biologique, l'âge et le sexe sont parmi les plus importants. Les publications traitant des variations de la période biologique en fonction de l'âge n'apparaissent que depuis 1964, mais des observations faites antérieurement ont servi de point de départ aux études. Des

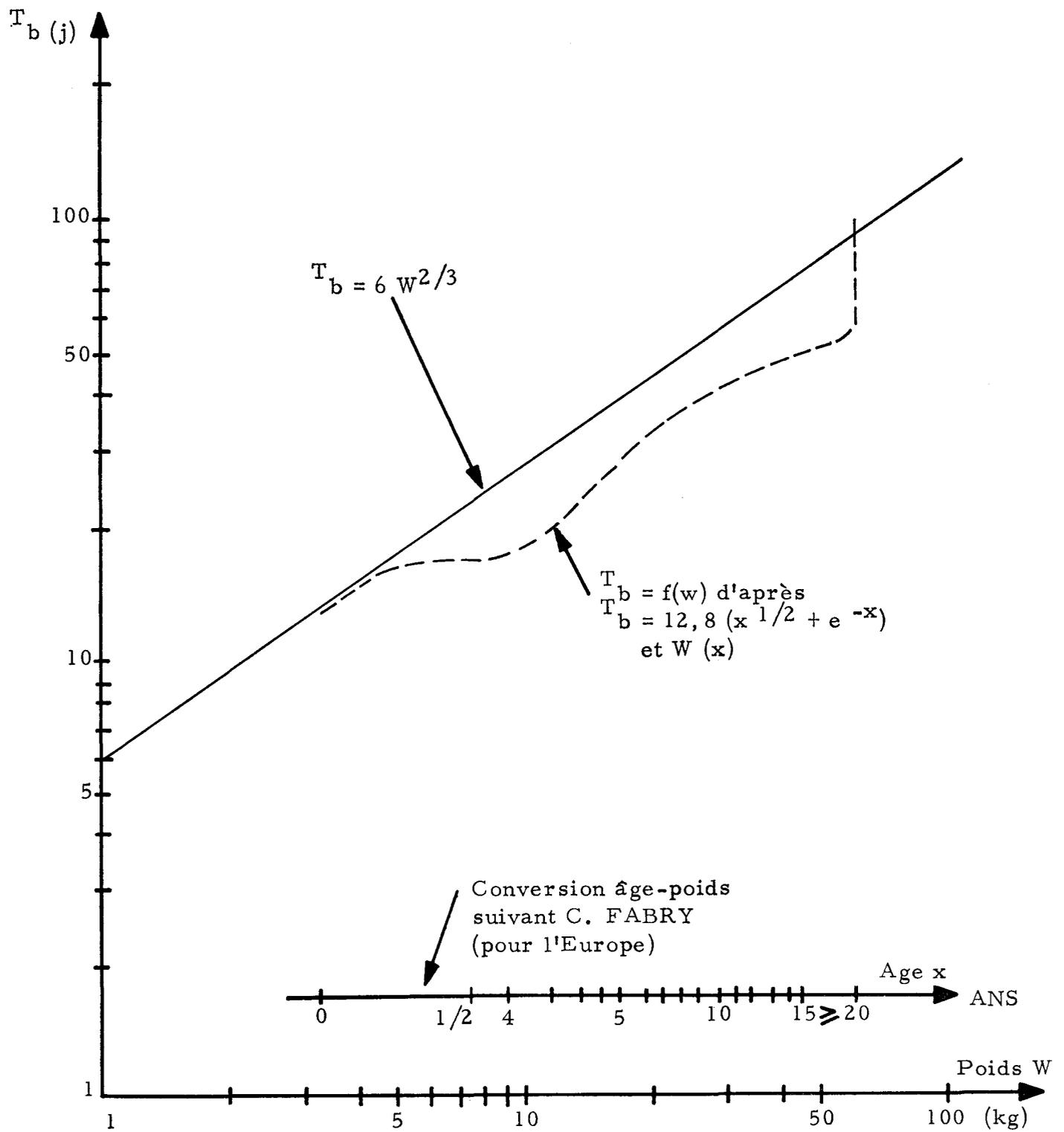


Fig. 14 — Comparaison des périodes biologiques en fonction de l'âge et du poids, selon les relations de Eberhardt et de Mac-Craw.

expressions mathématiques ont été proposées et se révèlent très utiles. Il est intéressant, par exemple, de comparer les résultats de :

$$\text{EBERHARDT} : T_b = 6w^{2/3}$$

$$\text{et de MAC-CRAW} : T_b = 12,8 (x^{1/2} + e^{-x}),$$

où  $w$  est le poids du corps, en kg

$x$  est l'âge, en années

$T_b$  est la période biologique, en jours.

On peut lire les valeurs  $w(x)$  sur les graphiques représentant les données anatomiques moyennes pour l'homme européen de C. FABRY (rapport EUR 147 f, 1963). La concordance des résultats est satisfaisante (figure 13).

Parmi les paramètres dont il faudrait tenir compte pour obtenir la meilleure estimation possible de la période biologique d'un individu, le poids apparaît comme le plus représentatif, car il est la résultante des autres facteurs tels que l'âge, le sexe, la race, l'alimentation; il conditionne en même temps les besoins alimentaires; enfin, il présente une certaine variabilité individuelle, tout comme la période biologique. Par contre, les facteurs indépendants du poids sont généralement de moindre importance dans les conditions habituelles à chaque groupe d'individus (telles sont, par exemple, l'influence de la température, des saisons,...).

Une quatrième partie rassemble les résultats concernant l'excrétion du Cs-137 par le corps humain, notamment le rapport de l'excrétion urinaire à l'excrétion totale, et les pourcentages de la charge corporelle excrétés à long terme. On a trouvé une corrélation entre l'épuration rénale quotidienne (pour le césium et le potassium) et le poids des reins (ou du corps), ce qui permet de calculer la charge corporelle, connaissant le rapport entre les concentrations dans le corps entier et dans le plasma. Les résultats ainsi obtenus présentent une bonne concordance avec ceux de mesures directes.

L'introduction des divers paramètres dans les relations exprimant, en fonction du temps, les quantités retenues et les doses délivrées à un organe de référence, permet d'apprécier la variation avec l'âge des doses dues au césium 137, dans différentes situations.

5.1.2 Après les études faites sur le Sr-90 et le Cs-137, il convient de rappeler l'intérêt d'entreprendre des études analogues pour d'autres radionuclides, moins étudiés jusqu'à présent, tels que le ruthénium, le cérium, le zirconium. En effet, le calcul de la dose délivrée aux enfants à la suite de l'ingestion continue de ces radioéléments, implique, en raison des rapides variations de poids, de régime alimentaire, ou de volume d'air inhalé, de considérer des intervalles de temps assez courts (un an, par exemple); si les périodes biologiques sont les mêmes que celles indiquées par la C.I.P.R. pour l'adulte, l'équilibre peut n'être pas atteint au cours de cet intervalle (cas de Cs, Ce, Zr) (tableau N° VI). D'autre part, l'erreur commise sur l'évaluation de la dose résultant de l'erreur possible commise sur la période biologique (et par conséquent sur la période effective) peut être importante (même tableau, deux dernières colonnes).

Enfin, l'estimation de la fraction de radionuclide atteignant l'organe de référence est indispensable au calcul de la dose.

C'est pourquoi, l'évaluation des doses dues, soit à l'ingestion, soit à l'inhalation, en fonction de l'âge, nécessiterait de mieux connaître les valeurs de la période biologique  $T_b$  et de la fraction  $f_2$  passant du sang à l'organe de référence; non seulement pour le césium (dans tout l'organisme), mais aussi pour le ruthénium, puis le cérium, le zirconium et le baryum, principalement pour les os, le foie et les reins.

TABLEAU VI

Temps nécessaire pour atteindre l'équilibre et variation de la dose avec la période biologique

RADIONUCLIDE	Période radioactive $T_r$ (jours)	Organe de référence	Période biologique (*) $T_b$ (jours)	Période effective (*) $T$ (jours)	Temps pour atteindre l'équilibre (jours)	L'état d'équilibre étant atteint	
						la dose serait multipliée par :	si $T_b$ était multiplié par :
Strontium-90	$10^4$	os	$1,8 \cdot 10^4$	$6,4 \cdot 10^3$	$4,48 \cdot 10^4$ (120 ans)	—	—
Césium-137	$1,1 \cdot 10^4$	muscles, os	140	138	980	k	k
		corps entier	70	70	490	k	k
		foie	90	89	630	k	k
Ruthénium-106	365	reins	2,5	2,48	17,5	k	# k
		corps entier	7,3	7,2	50,4	# k	# k
		os	16	15	105	{ 3 1/3	{ 3,3 #1/3
Ruthénium-103	41	reins	2,5	2,4	16,8	{ 3 1/3	{ 3,4 0,32
Cérium-144	290	foie	293	146	1 022	{ 3/2 1/3	{ 3 1/5
		corps entier	563	191	1 337	{ 3 1/3	{ 37,5 1/6
		os	1 500	243	1 700	1/3	1/14
Zirconium-95	63,3	foie	320	53	371	1/3	1/13
		corps entier	450	55,5	388		
		os	1 000	59,5	416		

\* Pour l'adulte, selon la C.I.P.R.

## 5.2 — Etude des variations de la dose d'irradiation délivrée à l'organe de référence en fonction de l'âge des individus et des régimes alimentaires

Le but est de définir les relations entre la contamination du milieu et la dose d'irradiation délivrée aux individus de divers groupes de population, en tenant compte des différents paramètres variables avec l'âge et le régime alimentaire des individus, afin de mettre en évidence le groupe de population critique.

Le principe de la méthode a été exposé dans le rapport annuel 1966.

Pour évaluer les quantités de radionucléides ingérées, il est nécessaire de savoir exprimer les teneurs en radionucléides des différents aliments en fonction de la contamination du milieu. Ayant défini le mode et l'intensité de la contamination dans la situation envisagée, il faut donc connaître les paramètres de transfert applicables : or, ceux-ci n'ont été étudiés que dans un nombre limité de cas; de plus, ils présentent une assez grande variabilité, ce qui rend difficile le choix des valeurs à utiliser. Aussi, l'évaluation de la contamination des régimes n'a été entreprise qu'à titre d'essai, afin de pouvoir analyser sur des exemples concrets et réels l'influence de la composition du régime, d'une part, et celle de la variabilité des paramètres, d'autre part. On s'est provisoirement limité aux cas du Sr-90 et du Cs-137. L'apport alimentaire de radionucléides en fonction de la contamination du milieu étant supposé connu, l'évaluation des charges corporelles et des doses a été traitée dans le même esprit. On a utilisé des paramètres anatomiques et radiobiologiques variables avec l'âge. Les valeurs intermédiaires obtenues au cours des calculs permettent toutes comparaisons utiles avec des résultats de mesures effectuées dans des situations analogues de contamination du milieu.

Les principaux points étudiés, compte tenu de l'âge et de la diversité géographique des régimes, sont :

- l'apport alimentaire de Sr-90 et Cs-137,
- les contributions relatives des aliments à la contamination,
- l'influence de la variabilité des paramètres de transfert de la contamination,
- la charge osseuse en Sr-90 et les rapports observés os/régime alimentaire,
- la charge du corps entier en Cs-137,
- les doses délivrées aux organes de référence.

Cet essai a permis, d'une part de tester la méthode d'approche, d'autre part d'orienter les recherches ultérieures en fonction de l'incidence de la variabilité des paramètres sur la dose délivrée.

## CONCLUSIONS

Au cours de l'année 1967, des progrès sensibles ont été enregistrés dans tous les domaines.

En Biologie Humaine, les études portant sur les données anatomiques sont très avancées. Elles recevront quelques compléments portant sur :

1. les variations géographiques de l'homme standard européen,
2. l'achèvement des études portant sur la structure fine de l'os en croissance.

Par contre, les données physiologiques comportent encore de larges incertitudes, notamment en ce qui concerne les variations en fonction de l'âge.

Les problèmes posés par le tractus gastro-intestinal sont à compléter par les précisions à apporter sur les vitesses de transit chez les enfants et les facteurs de dilution.

L'étude du métabolisme de l'iode a marqué des progrès importants. L'étude de sa variabilité géographique a été comprise dans un programme de deux années.

L'étude du métabolisme du strontium, à peine commencée, est à poursuivre dans le cadre d'un programme de quatre ans qui a débuté en 1967.

Un programme entièrement nouveau enfin, est à entreprendre pour étudier le métabolisme et ses variations, en fonction de l'âge, d'autres radioéléments jugés importants, tels le cérium, le ruthénium, le cobalt, le zirconium, etc...

Dans le domaine de la nutrition, l'exploitation des enquêtes alimentaires est achevée. Les données qu'elles ont apportées sur les régimes alimentaires, leur variation géographique et leur évolution avec l'âge constituent des informations de base de tout premier ordre. Il reste à les compléter par la recherche de données plus précises sur l'alimentation des nourrissons. Enfin, les régimes alimentaires n'étant pas statiques, une étude de l'évolution des régimes alimentaires au cours du temps est à envisager, en liaison avec l'étude des circuits de distribution.

Dans le domaine des transferts de la pollution du milieu à l'homme, il reste encore beaucoup à faire pour parfaire nos connaissances.

L'achèvement des études en cours sur les différents types de contamination des végétaux terrestres apportera un certain nombre de données immédiatement exploitables. C'est le cas notamment des études verticales et des études expérimentales en cours.

Toutefois, avant de proposer des valeurs pour les différents paramètres considérés, plusieurs points sont encore à étudier. Un effort particulier est prévu, notamment pour l'étude des problèmes posés par les effluents gazeux des réacteurs et la contamination atmosphérique sèche, qui ont été à peine abordés.

L'étude de la contamination des produits animaux terrestres a montré que la variabilité des facteurs de transfert à partir du milieu se situe essentiellement au niveau de l'herbe, beaucoup plus qu'au niveau de l'animal, de sorte que les problèmes liés à la production laitière ou à la production de viande rentrent dans le cadre des transferts de la contamination du milieu dans les fourrages et les autres aliments du bétail. Ce problème sera traité dans le cadre des études agronomiques.

L'étude des transferts de la contamination provenant de la pollution des eaux a marqué une évolution importante au cours de cette année, marquée par le souci d'envisager le cas de radioéléments, dont le comportement est encore mal connu, mais qui interviennent essentiellement dans les chaînes alimentaires aquatiques. Les études se situent à la fois sur le plan physico-chimique et sur le plan radioécologique, permettant la prise en considération des différentes conditions du milieu qui influent sur les facteurs de concentration. Ces études impliquent la réalisation d'un programme relativement important de recherches expérimentales complémentaires.

Enfin, l'année 1967 a été marquée par un essai de calcul des niveaux de contamination par le Sr-90 et le Cs-137, à partir des données provisoires suivant la méthode générale d'approche mise au point antérieurement. Le développement de ces travaux est toutefois très étroitement lié à l'avancement des études des facteurs biologiques, d'une part, et des facteurs de transfert, d'autre part.

## ANNEXE I

### Etablissements et Organismes participant aux travaux de l'Association

- CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE  
Laboratoire de Radiobiologie  
Mol-Donk (Belgique)
- ASSOCIATION EURATOM-ITAL  
Instituut voor Toepassing van Atoomenergie in de Landbouw  
Oostereng Keyenbergsweg, 6, Wageningen (Pays-Bas)
- UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA  
Istituto d'Igiene e Microbiologica  
Viale Forlamini, 1, Pavia (Italie)
- UNIVERSITE LIBRE DE BRUXELLES  
Laboratoire de Médecine Expérimentale  
Avenue Franklin D. Roosevelt, Bruxelles (Belgique)
- VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND  
FORSCHUNGSANSTALTEN  
Fachgruppe für Isotopenforschung in der Landwirtschaft  
40 Obere Langgasse, Speyer am Rhein (Allemagne)
- SERVICE DE BIOLOGIE, EURATOM - ISPRA (Italie)
- Société d'ETUDES MATHEMATIQUES APPLIQUEES  
35, Boulevard Brune - Paris 14<sup>e</sup> (France)
- FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DE MARSEILLE  
Laboratoire de Physique Médicale  
Boulevard d'Alès - Marseille 5<sup>e</sup> (France)
- SYNDICAT POUR L'AMELIORATION DES SOLS ET DES CULTURES  
Laboratoire Agronomique - 78 Gargenville (France)

## ANNEXE II

### Liste des rapports scientifiques

Etude bibliographique des paramètres radiobiologiques du césium-137 nécessaires à l'évaluation des doses d'irradiation interne en fonction de l'âge (A. GARNIER) - EUR 3852 f - CEA 3432.

Détermination des régimes alimentaires des populations de onze régions de la Communauté Européenne en vue de l'étude des niveaux de contamination - Première série de résultats concernant la consommation alimentaire des individus groupés en neuf classes d'âges (S. LEDERMANN, G. LACOURLY, A. GARNIER, M. CRESTA, E. LOMBARDO) - EUR 3851 f - CEA 3434.

Discussion bibliographique sur le comportement physico-chimique et la radioécologie du *ruthénium* dans les systèmes hydrobiologiques (R. BITTEL) EUR 3863 f - CEA BIB - 123.

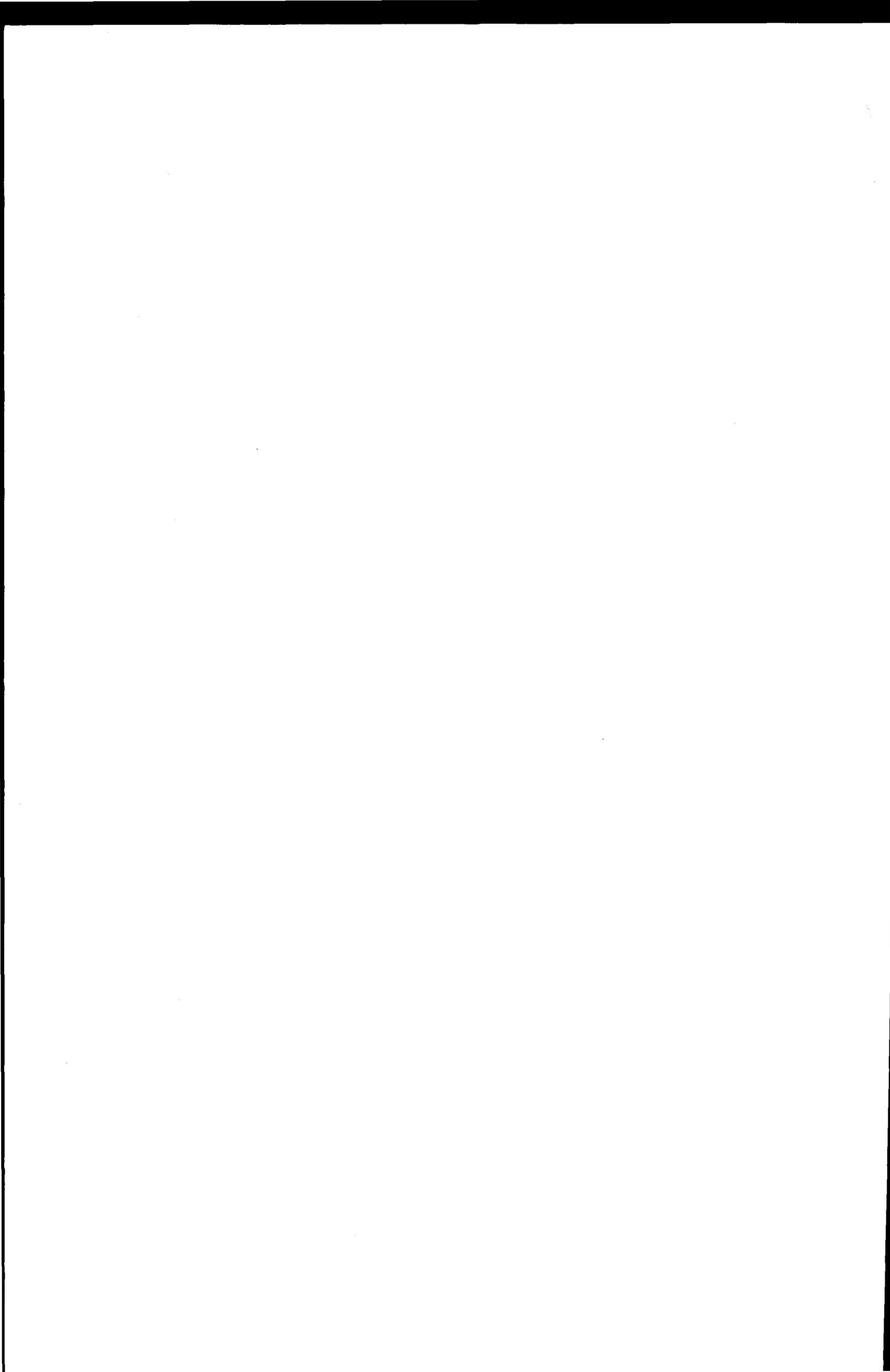
Discussion bibliographique sur le comportement physico-chimique et la radioécologie du *cobalt* dans les systèmes hydrobiologiques (R. BITTEL) EUR 3877 f - CEA BIB - 130.

Modèle mathématique destiné à la dosimétrie du tractus gastro-intestinal (G. VACCA, J.P. BAZIN, L. KARHAUSEN) EUR 4109 f - CEA 3707.

Discussion sur le concept de facteur de concentration entre les organismes marins et l'eau en vue de l'interprétation des mesures (R. BITTEL) - Communication au 3<sup>e</sup> congrès International d'Océanographie Médicale, Nice, 19-21 septembre 1967 (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale), *Revue Internationale d'Océanographie Médicale*, 1968, **11**, 107-128.

Discussion de l'importance de quelques facteurs pouvant influencer sur la sécrétion du Cs et du Sr dans le lait de vache pendant la saison de pâturage (J. VAN DEN HOEK et R. KIRCHMANN) - Communication au congrès sur la Radioprotection du milieu devant le développement des utilisations pacifiques de l'énergie atomique, Toulouse, 14-16 septembre 1967, Faculté des Sciences de Toulouse, Bulletin de la Société Française de Radioprotection, Paris 1968, pp. 349-356.

Quelques aspects de la contamination radioactive des pâturages. Variabilité des paramètres (J. LEHR) - Communication au congrès sur la Radioprotection du milieu devant le développement des utilisations pacifiques de l'énergie atomique, Toulouse, 14-16 septembre 1967, Faculté des Sciences de Toulouse, Bulletin de la Société Française de Radioprotection, Paris 1968, pp. 307-313.



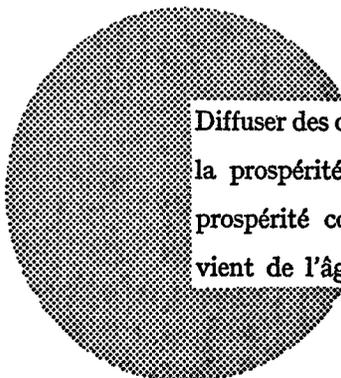
## AVIS AU LECTEUR

Tous les rapports Euratom sont signalés, au fur et à mesure de leur publication, dans le périodique mensuel **EURATOM INFORMATION**, édité par le Centre d'information et de documentation (CID). Pour souscrire un abonnement (1 an : FF 75, FB 750) ou recevoir un numéro spécimen, prière d'écrire à :

**Handelsblatt GmbH**  
**"Euratom Information"**  
**Postfach 1102**  
**D-4 Düsseldorf (Allemagne)**

ou à

**Centrale de vente des publications**  
**des Communautés européennes**  
**37, rue Glesener**  
**Luxembourg**



Diffuser des connaissances c'est distribuer de la prospérité — j'entends la prospérité collective et non la richesse individuelle — et cette prospérité contribue largement à la disparition du mal qui nous vient de l'âge des ténèbres.

Alfred Nobel

## BUREAUX DE VENTE

Tous les rapports Euratom sont vendus dans les bureaux suivants, aux prix indiqués au verso de la première page de couverture (lors de la commande, bien indiquer le numéro EUR et le titre du rapport, qui figurent sur la première page de couverture).

### CENTRALE DE VENTE DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

37, rue Glesener, Luxembourg (Compte chèque postal N° 191-90)

#### BELGIQUE — BELGIË

MONITEUR BELGE  
40-42, rue de Louvain - Bruxelles  
BELGISCH STAATSBAD  
Leuvenseweg 40-42 - Brussel

#### LUXEMBOURG

CENTRALE DE VENTE  
DES PUBLICATIONS DES  
COMMUNAUTES EUROPEENNES  
37, rue Glesener - Luxembourg

#### DEUTSCHLAND

BUNDESANZEIGER  
Postfach - Köln 1

#### NEDERLAND

STAATSDRUKKERIJ  
Christoffel Plantijnstraat - Den Haag

#### FRANCE

SERVICE DE VENTE EN FRANCE  
DES PUBLICATIONS DES  
COMMUNAUTES EUROPEENNES  
26, rue Desaix - Paris 15°

#### ITALIA

LIBRERIA DELLO STATO  
Piazza G. Verdi, 10 - Roma

#### UNITED KINGDOM

H. M. STATIONERY OFFICE  
P. O. Box 569 - London S.E.1

EURATOM — C.I.D.  
51-53, rue Belliard  
Bruxelles (Belgique)