

EUR 4212 f

LIBRARY

COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE — EURATOM

**L'ÉVOLUTION
DE LA RADIOACTIVITÉ AMBIANTE
AU COURS DES ANNÉES 1962 à 1966
ET SES CONSÉQUENCES
POUR LA CONTAMINATION RADIOACTIVE
DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE**

par

Cl. STIÉVENART

E. VAN DER STRICHT
(Euratom)

1968



**Direction Générale des Affaires Sociales
Direction de la Protection Sanitaire**

**Contrat EURATOM / Madame Stiévenart
N° 034-67-3 PSTB**

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^e page de couverture

au prix de FF 8,50

FB 85

DM 6,80

Lit. 1 060

Fl. 6,20

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

Imprimé par Ceuterick — Louvain,
Bruxelles, décembre 1968.

... 448.71 +
621.037.7 : (CSTO)

EUR 4212 f

COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE — EURATOM

**L'ÉVOLUTION
DE LA RADIOACTIVITÉ AMBIANTE
AU COURS DES ANNÉES 1962 à 1966
ET SES CONSÉQUENCES
POUR LA CONTAMINATION RADIOACTIVE
DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE**

par

Cl. STIÉVENART

E. VAN DER STRICHT
(Euratom)

1968



**Direction Générale des Affaires Sociales
Direction de la Protection Sanitaire**

**Contrat EURATOM / Madame Stiévenart
N° 034-67-3 PSTB**

RÉSUMÉ

A l'aide de données envoyées à la Commission, on a établi un rapport donnant une vue d'ensemble de la situation radiologique dans les pays de la Communauté pour la période s'étalant de 1962 à 1966. On y trouve une synthèse des résultats de mesure sur la contamination de l'air, la contamination des retombées et la contamination du régime alimentaire. Le rapport montre l'évolution de ces grandeurs et en évalue les conséquences pour l'homme. L'influence de la composition du régime alimentaire dans différents régimes sur l'apport en strontium-90 est prise en considération ainsi que l'estimation de la dose moyenne délivrée à l'ensemble de la population.

Le rapport présente également les résultats des études faites au sujet du transfert de la contamination radioactive dans la biosphère. Ces études concernent, d'une part, la relation existant entre la contamination de l'air, la hauteur des précipitations et la retombée radioactive déposée au sol et, d'autre part l'évaluation de la contamination du lait en strontium-90 et en césium-137 à partir de la connaissance du dépôt au sol et des retombées récentes.

MOTS-CLÉS

AIR
FALLOUT
FOOD
CONTAMINATION
DIET
STRONTIUM-90
MAN
CÆSIUM-137
RAIN
MILK
EUROPE
POPULATIONS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	7
1 — GÉNÉRALITÉS	9
1.1 Processus de déposition des retombées radioactives	9
1.2 Rendement des essais nucléaires	9
2 — INVENTAIRE DES EXPLOSIONS NUCLÉAIRES	10
3 — RADIOACTIVITÉ AMBIANTE DANS LES PAYS DE LA C.E.E.A.	11
3.1 Radioactivité dans l'air	11
3.1.1 Radioactivité bêta globale	11
3.1.2 Strontium-90.	11
3.1.3 Césium-137	11
3.1.4 Activité alpha	11
3.2 Radioactivité des retombées.	17
3.2.1 Radioactivité bêta globale	17
3.2.1.1 Évolution de 1962 à 1966	17
3.2.1.2 Relation entre les précipitations et l'activité bêta globale dans les retombées et dans l'air	17
3.2.2 Strontium-90.	18
3.2.2.1 Évolution de 1962 à 1966	18
3.2.2.2 Relation entre les précipitations et le strontium-90 dans les retombées et dans l'air.	20
3.2.2.3 Retombées de strontium-90 dans le monde et dans la Communauté	21
3.2.2.4 Dépôt cumulé	22
3.2.3 Césium-137	24
3.3 Répartition géographique de l'activité retombée dans la Communauté	24
3.3.1 Activité bêta globale	24
3.3.2 Strontium-90.	25
3.4 Conclusions.	25
4 — CONTAMINATION RADIOACTIVE DU RÉGIME ALIMENTAIRE	25
4.1 Contamination du lait	26
4.1.1 Strontium-90.	26
4.1.1.1 Évolution de 1962 à 1966	26
4.1.1.2 Fluctuations observées selon la position géographique	29
4.1.1.3 Relation entre la contamination radioactive du lait, l'intensité des retombées et le dépôt au sol	30

4.1.2 Césium-137	34
4.1.2.1 Évolution de 1962 à 1966	34
4.1.2.2 Relation entre la contamination radioactive du lait, l'intensité des retombées et le dépôt au sol	36
4.2 Contamination du régime en strontium-90	37
4.2.1 Généralités	37
4.2.2 Composition des régimes	38
4.2.3 Apport de calcium	39
4.2.4 Contributions relatives des aliments à l'apport en calcium	41
4.2.5 Apport des picocuries de ⁹⁰ Sr	44
4.2.6 Contributions relatives des aliments à l'apport en picocuries	48
4.2.7 Rapport des pCi ⁹⁰ Sr/g Ca dans le régime	48
4.2.8 Comparaison avec les données obtenues par analyse du régime complet	52
5 — RADIOACTIVITÉ DU CORPS HUMAIN	54
5.1 Dose calculée due à l'ingestion de strontium-90 présent dans le lait	54
5.2 Dose due à l'ingestion de strontium-90 présent dans le régime	54
6 — CONCLUSIONS	55

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

1, 2, 3, 4 etc.	mois de l'année
a	an
\bar{x}	valeur moyenne
\bar{x}_a	moyenne annuelle
x_n	valeur pour le mois n
M	moyenne pour la Communauté
Ci	Curie
mCi	millicurie
pCi	picocurie
MCi	mégacurie
Σ	somme de
h	hauteur des précipitations
C_a	concentration dans l'air
R	retombée
β_G	radioactivité bêta globale
p	personne
C	contamination du lait
F_r	retombée récente
F_d	dépôt total au sol

L'ÉVOLUTION DE LA RADIOACTIVITÉ AMBIANTE
AU COURS DES ANNÉES 1962 A 1966
ET SES CONSÉQUENCES POUR LA CONTAMINATION RADIOACTIVE
DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE (*)

I N T R O D U C T I O N

Dès les premières explosions nucléaires, les retombées radioactives et leurs implications sur la santé publique ont préoccupé les autorités sanitaires du monde entier. C'est avec ce souci que dans beaucoup de pays, dont les six pays membres de la Communauté européenne, de nombreuses mesures de la radioactivité ambiante ont été effectuées au cours des dernières années et plus particulièrement après la reprise des explosions à la fin de 1961. En application des articles 35 et 36 du Traité de Rome instituant la Communauté européenne de l'Énergie Atomique, les résultats de ces mesures sont envoyés par les pays membres à la Commission.

Sur la base des données reçues, la Commission a édité des rapports annuels qui reprennent depuis 1960 les résultats relatifs à la radioactivité *de l'air, des retombées et de l'eau* (**) et, en outre, depuis 1962 les résultats concernant *la contamination radioactive des aliments* (***).

Avec le présent rapport, la Commission a voulu, d'une part, fournir une vue d'ensemble sur l'évolution de la radioactivité ambiante pour la période intéressante de ce point de vue, s'étalant de 1962 à 1966 et, d'autre part, apporter une contribution à l'interprétation possible, sur le plan communautaire, de nombreuses données mises à sa disposition par les autorités nationales et par le Centre de Recherches à Ispra.

En ce qui concerne le premier aspect, le rapport donne, pour la période considérée, une synthèse des résultats de mesure sur la contamination de l'air, la contamination des retombées et la contamination du régime alimentaire de l'homme. Il montre l'évolution de la contamination dans le milieu ambiant et évalue les conséquences de celle-ci pour l'homme. Il donne, en outre, une évaluation de l'influence de la composition du régime alimentaire sur l'apport en strontium-90, ainsi qu'un résumé de l'estimation de la dose moyenne délivrée à l'ensemble de la population, qui en résulte.

Le deuxième aspect, qui est d'un intérêt plus scientifique, est constitué par l'étude du transfert de la contamination radioactive dans la biosphère : en effet, il a paru intéressant de comparer les valeurs de la radioactivité obtenues aux différentes étapes du cheminement afin de déterminer les coefficients des relations existant entre elles. Citons, à titre d'exemple, l'étude de la relation entre, d'une part, la radioactivité de l'air et la hauteur des précipitations et, d'autre part, la radioactivité retombée. Cette relation a permis de présenter des cartes de la répartition géographique des retombées sur le territoire de la Communauté.

Par ailleurs, la relation qui lie la contamination radioactive du lait en strontium-90 et en césium-137 à l'activité du dépôt cumulé au sol et à l'activité de retombées récentes a été étudiée d'une manière approfondie; certaines variantes ont été proposées pour les formules habituellement utilisées.

Certes, les retombées radioactives ont fait l'objet d'un grand nombre d'études dans les domaines les plus variés; il était impossible de les passer en revue dans ce rapport. Les sujets

(*) Manuscrit reçu le 9 octobre 1968.

(**) Documents EURATOM P.S. 2, P.S. 3, EUR d,f,i,n : 461, 1820, 2516, 3165, 3602.

(***) EUR d,f,i,n : 1838, 2460, 3070, 3640 et 3944.

abordés ici ont été choisis en fonction des possibilités d'étude et de comparaison que permettaient les différentes données rassemblées par la Commission.

Néanmoins, les informations données dans ce rapport sont susceptibles d'apporter une contribution valable en vue d'une meilleure appréciation des conséquences sanitaires de l'introduction, localisée dans le temps, de produits de fission dans l'atmosphère. La période considérée présente de l'intérêt parce qu'elle est caractérisée, à son début, par l'injection dans l'atmosphère de grandes quantités de produits de fission et, plus tard, c'est-à-dire dans les quatre années suivantes, par un apport d'activité beaucoup plus réduit et même négligeable.

Le présent rapport se limite à l'étude des retombées radioactives provenant des explosions nucléaires; les centres nucléaires dont l'influence éventuelle sur la radioactivité ambiante garde un caractère purement local n'ont pas été pris en considération.

M^{me} STIÉVENART avait été chargée par contrat de procéder au dépouillement et à l'analyse scientifique des très nombreuses données que la Direction de la Protection Sanitaire possédait sur les valeurs et les variations de la radioactivité ambiante, mesurée dans les États membres entre les années 1962 et 1966. En collaboration avec M. VAN DER STRICHT, elle a établi l'étude de synthèse et de comparaison qui avait été demandée. Il convient de les remercier tous deux pour l'efficacité de leur travail et la remarquable minutie avec lesquelles ils ont réussi à mener à bien une tâche compliquée et difficile.

J. SMEETS

D^r P. RECHT

1 — GÉNÉRALITÉS

1.1 — Processus de déposition des retombées radioactives

Lorsqu'une explosion nucléaire a lieu au-dessus de la surface terrestre, les débris radioactifs produits par la fission restent un certain temps en suspension dans l'air et se déposent ensuite progressivement sur la surface de la terre.

On distingue habituellement trois types de retombées : la retombée locale qui se dépose près du point d'explosion en l'espace d'un jour environ, la retombée troposphérique qui concerne les débris en suspension dans la troposphère (ils se déposent pendant un mois environ) et la retombée stratosphérique des débris injectés au-dessus de la tropopause qui, finalement, après une ou plusieurs années, atteignent la surface terrestre. La hauteur du nuage produit et, par conséquent, les quantités de matières radioactives déposées selon les trois types de retombées sont conditionnées par la puissance de l'explosion ainsi que par l'altitude à laquelle elle a eu lieu.

Si les retombées locales et troposphériques sont des phénomènes relativement passagers, par contre, il se constitue dans la stratosphère une réserve de produits radioactifs qui détermine toutes les retombées ultérieures. Les mouvements stratosphériques et le passage de ces débris dans la troposphère ont été largement étudiés (un résumé peut être trouvé dans les publications des Nations Unies (¹⁰)). L'on estime que les discontinuités de la tropopause et leurs modifications saisonnières jouent un rôle essentiel dans le passage de la stratosphère à la troposphère. L'opinion généralement admise est que le maximum de retombée stratosphérique observé au printemps, principalement aux latitudes tempérées, est dû aux déplacements de ces discontinuités.

Lorsque les produits de fission ont pénétré dans la troposphère et qu'ils atteignent le niveau des nuages, ils sont rapidement déposés sur la surface de la terre, soit qu'ils accompagnent les précipitations, soit qu'ils forment une retombée sèche causée par la sédimentation.

Il n'entre pas dans le cadre de ce rapport de discuter en détail ces mécanismes, mais il est évident que tant les mouvements de l'air troposphérique que les facteurs météorologiques jouent un rôle important dans le phénomène de déposition.

1.2 — Rendement des essais nucléaires

L'énergie libérée lors d'une explosion nucléaire s'exprime par la masse de TNT qui libérerait une énergie équivalente. On distingue l'énergie libérée par la fission (source de débris radioactifs) de l'énergie totale libérée par l'explosion.

Parmi les produits créés par la fission, ceux qui présentent un risque biologique plus ou moins important ont fait l'objet d'examen particuliers. C'est ainsi que l'on s'est attaché à calculer notamment les quantités de strontium-90 et de césium-137 formés au cours des essais nucléaires. Les valeurs généralement admises sont de 1 mégacurie de strontium-90 et de 1,7 mégacurie de césium-137 pour 10 mégatonnes d'énergie de fission.

D'autres radionucléides à demi-vies courtes, tels que l'iode-131, le strontium-89, etc. ont également été analysés. Cependant, leur effet n'ayant été que passager au cours de la période considérée dans le présent rapport, il n'en sera pas fait mention ici.

2 — INVENTAIRE DES EXPLOSIONS NUCLÉAIRES

La plupart des essais nucléaires importants ont été effectués par l'U.R.S.S. et les États-Unis.

Jusqu'à la fin de 1962, l'énergie de fission libérée par les explosions en altitude et en surface a été estimée à 193 mégatonnes (Tableau I); de ce fait, quelque 20 mégacuries de

TABLEAU I

Rendements de fission approximatifs de tous les essais nucléaires effectués dans l'atmosphère de 1945 à 1962 (19, 20)

Période	Rendement de fission en mégatonnes	
	Explosion en altitude	Explosion en surface
1945 - 1951	0,19	0,57
1952 - 1954	1	37
1955 - 1956	5,6	7,5
1957 - 1958	31	9
1959 - 1960	arrêt des essais nucléaires	
1961	25	—
1962	76	—
Total	139	54

strontium-90 ont été produits. De 1963 à 1966, seules la France et la Chine ont encore procédé à des essais nucléaires dans l'atmosphère mais, d'après l'estimation de leur puissance, on peut supposer qu'ils n'ont pas libéré plus d'une demi-mégatonne d'énergie de fission (Tableau II) et leur contribution à la quantité totale de strontium injectée dans l'atmosphère peut être négligée.

TABLEAU II

Essais nucléaires effectués dans l'atmosphère de 1963 à 1966 et leurs rendements de fission approximatifs (20-22)

Date	Pays	Lieu	Rendement de fission en mégatonnes
16 octobre 1964	Chine	—	< 0,02
14 mai 1965	Chine	—	entre 0,020 et 0,2
9 mai 1966	Chine	—	~ 0,2
2 juillet 1966	France	Muroroa (Tahiti)	< 0,02
19 juillet 1966	France	Muroroa (Tahiti)	< 0,02
27 octobre 1966	Chine	Lop Nor	entre 0,02 et 0,2
28 décembre 1966	Chine	Lop Nor	< 1
Total estimé			0,5

3 — RADIOACTIVITÉ AMBIANTE DANS LES PAYS DE LA COMMUNAUTÉ DE 1962 A 1966

Les stations chargées de la surveillance de la radioactivité ambiante dans les Pays de la Communauté effectuent, pour la plupart, des mesures d'activité bêta globale donnant ainsi une vue générale sur l'évolution de la radioactivité à défaut d'une évaluation des effets biologiques.

L'activité bêta globale provient de l'ensemble des produits de fission; elle est donc plus importante que celles du strontium-90 ou du césium-137 prises isolément mais, par contre, elle décroît plus rapidement à cause de la présence de produits à périodes plus courtes.

3.1 — Radioactivité dans l'air

3.1.1 — ACTIVITÉ BÊTA GLOBALE

Les moyennes mensuelles de l'activité bêta globale dans l'air (en pCi/m³) pour l'ensemble de la Communauté sont représentées à la figure 1. Celle-ci fait apparaître en 1962 et pendant les sept premiers mois de 1963, une contamination de l'air relativement élevée, due à la série d'essais nucléaires à grande puissance effectuée en 1962 (le maximum de 6,7 pCi/m³ a été atteint au mois de mai 1963), suivie d'une diminution progressive de l'activité moyenne à partir du mois d'août 1963 (la valeur atteinte en décembre 1966 est de 0,07 pCi/m³). On peut dès 1963 distinguer nettement les variations saisonnières avec un maximum au printemps et un minimum pendant les mois d'automne-hiver. Le pic de printemps est encore mieux mis en évidence par la figure 2 qui donne les valeurs normalisées de l'activité bêta globale pour l'ensemble de la Communauté.

Ces valeurs normalisées sont obtenues en faisant le rapport de l'activité d'un mois donné à l'activité des 12 mois qui l'encadrent (5 mois avant, 6 mois après) d'après la méthode décrite par H. L. Volchok pour les valeurs des retombées (¹).

3.1.2 — STRONTIUM-90

L'activité du strontium-90 dans l'air est passée par un maximum en juin 1963; la moyenne pour la Communauté était alors de $71 \cdot 10^{-3}$ pCi/m³. Dès juillet 1963, l'activité a diminué; elle était encore de l'ordre de 10^{-3} pCi/m³ à la fin de 1966.

En considérant les stations de mesure isolément, on note que le maximum de strontium-90 dans l'air ($96 \cdot 10^{-3}$ pCi/m³) a été observé à Ispra en juillet 1963. Les mesures du strontium-90 dans l'air à Ispra sont d'ailleurs représentées à la figure 3A; elles sont du même ordre de grandeur que pour l'ensemble de la Communauté.

Comme dans le cas de l'activité bêta globale, les pics de printemps sont nets; à titre d'exemple, la figure 3B donne les valeurs relatives de l'activité du strontium-90 à Ispra et à Mol, normalisées de la même façon que pour l'activité bêta globale.

3.1.3 — CÉSIUM-137

On ne dispose que de peu de mesures du césium-137 dans l'air pour l'ensemble de la Communauté. Il est cependant intéressant de suivre l'évolution du ¹³⁷Cs dans l'air à Ispra (figure 3A); un maximum de $140 \cdot 10^{-3}$ pCi/m³ y a été observé aux mois de mai, juin et juillet 1963. L'activité a diminué ensuite et en décembre 1966, elle ne valait plus que $3 \cdot 10^{-3}$ pCi/m³.

3.1.4 — ACTIVITÉ ALPHA

L'activité alpha n'a pas été envisagée en général dans le cadre de la surveillance de la radioactivité ambiante dans les Pays de la Communauté. A titre indicatif, la figure 3A donne

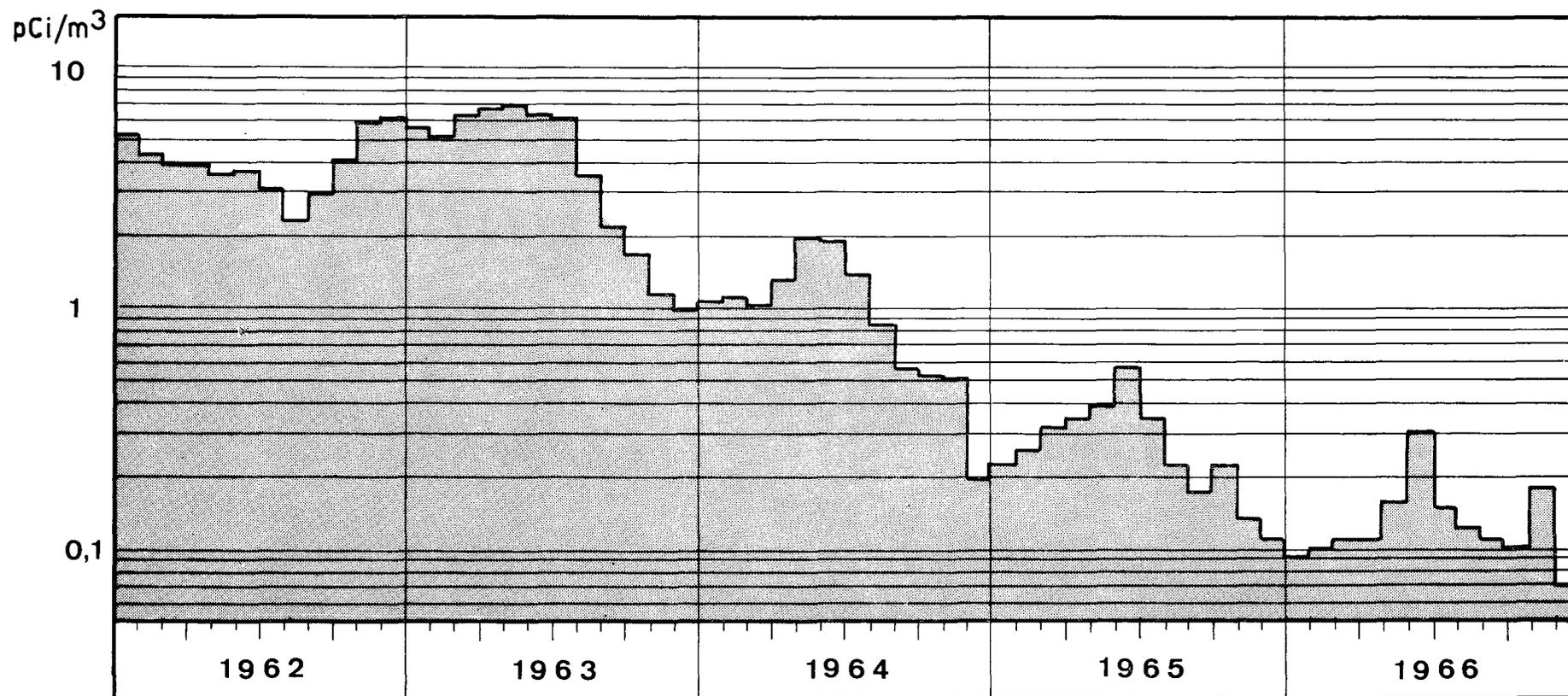


Fig. 1 — Activité bêta globale dans l'air pour l'ensemble de la Communauté.

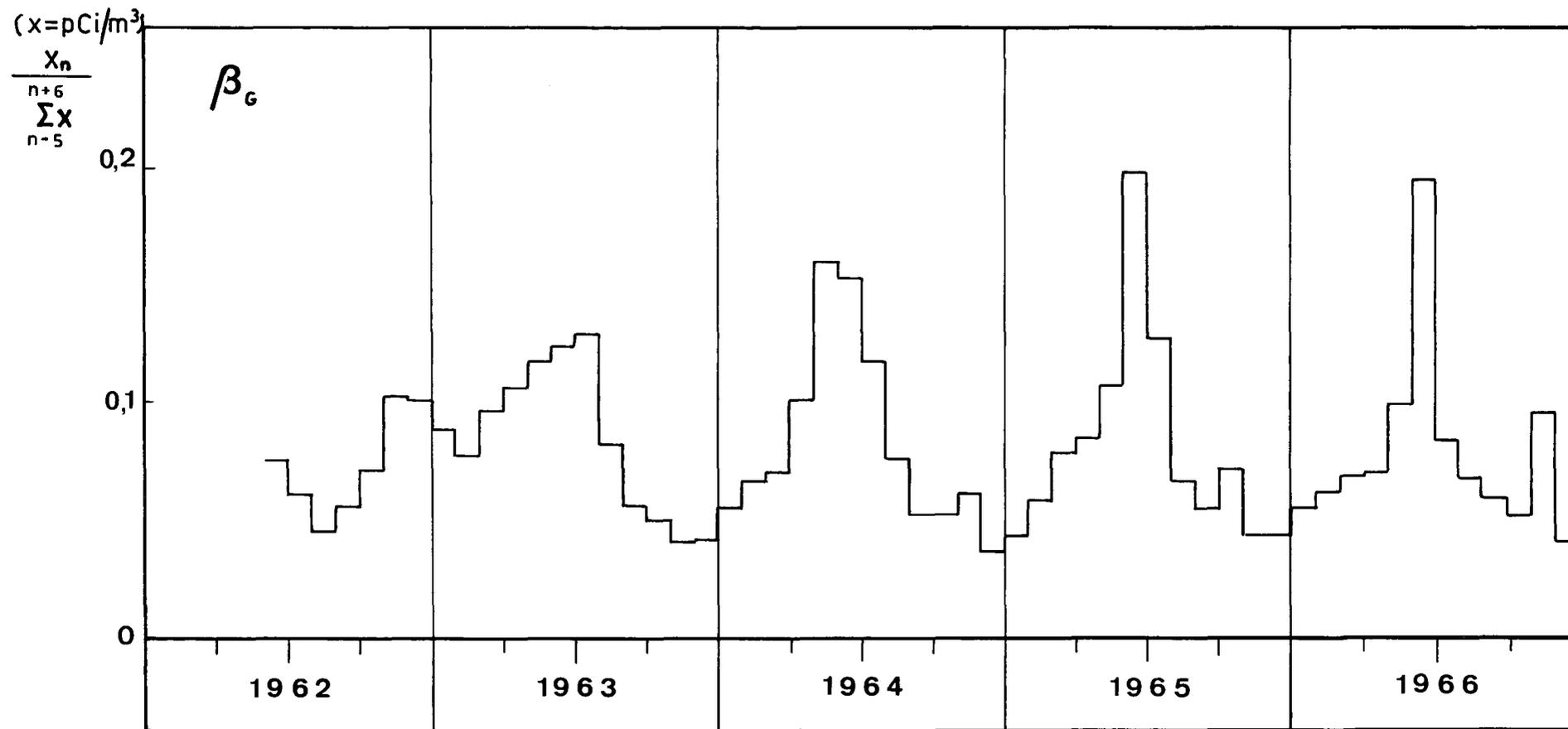


Fig. 2 — Pics de printemps dans l'activité bêta globale dans l'air pour l'ensemble de la Communauté.

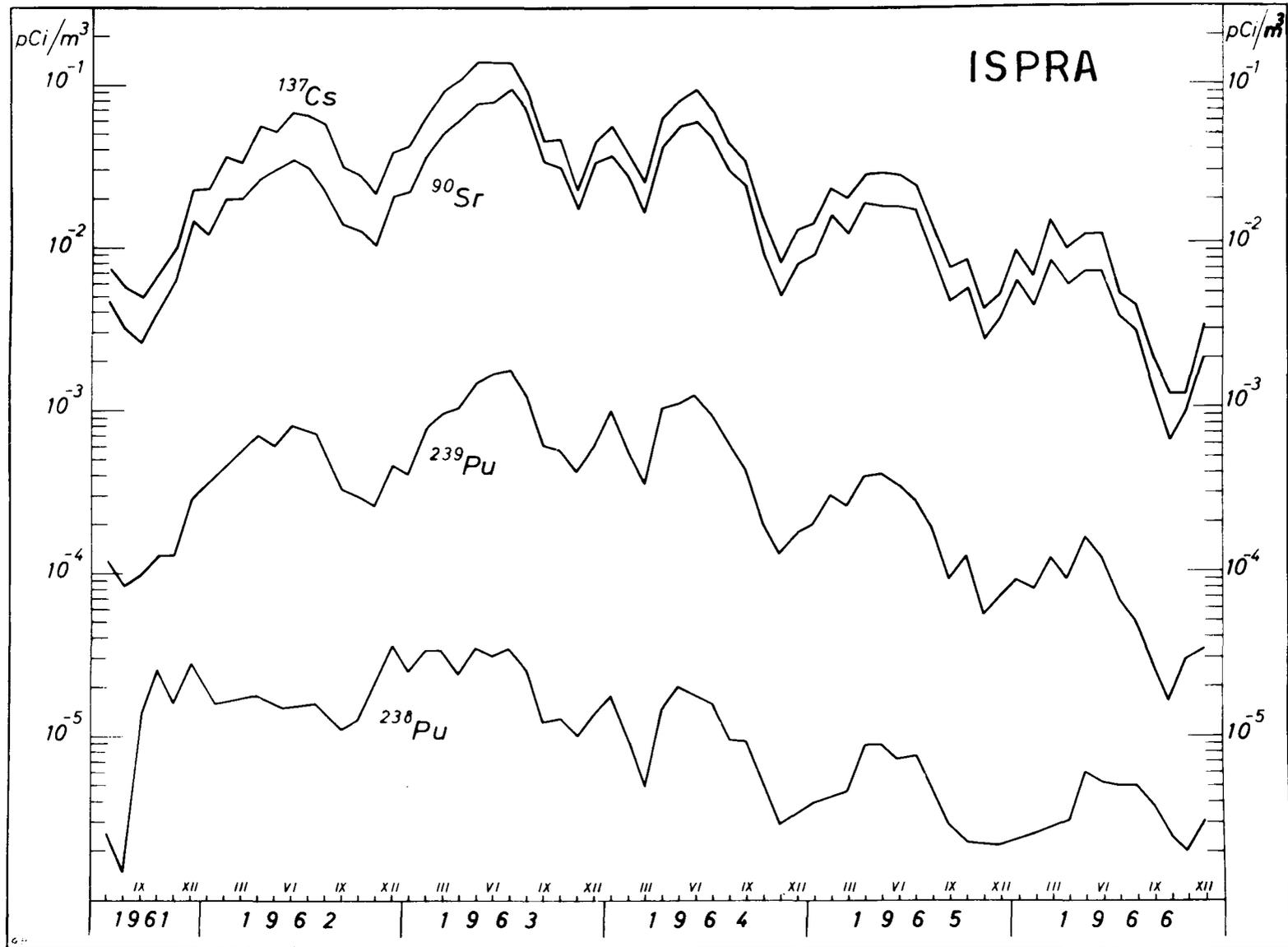


Fig. 3A — Activité du ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁹Pu et ²³⁸Pu dans l'air à Ispra.

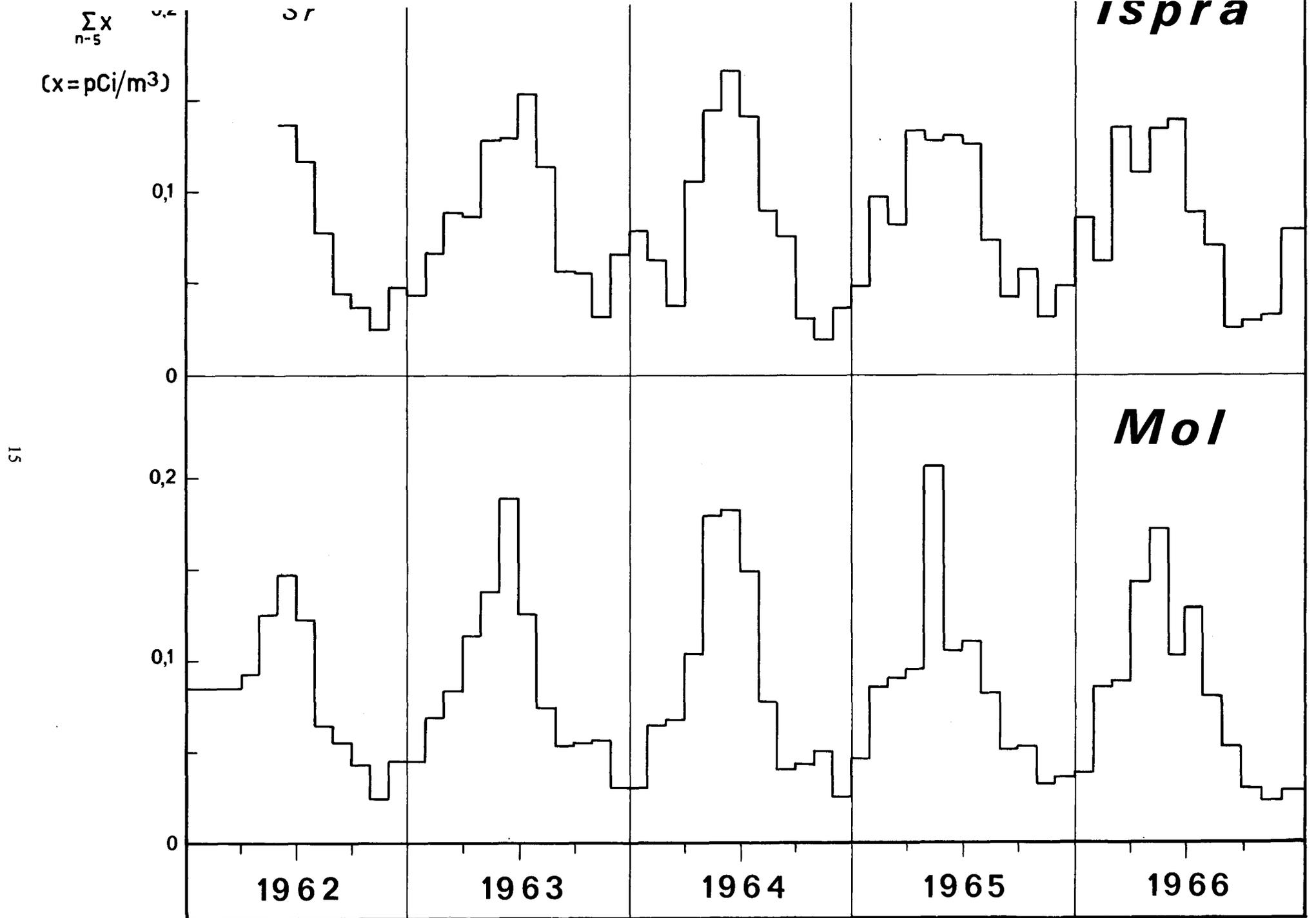


Fig. 3B — Pics de printemps dans l'activité du ⁹⁰Sr dans l'air à Ispra et à Mol.

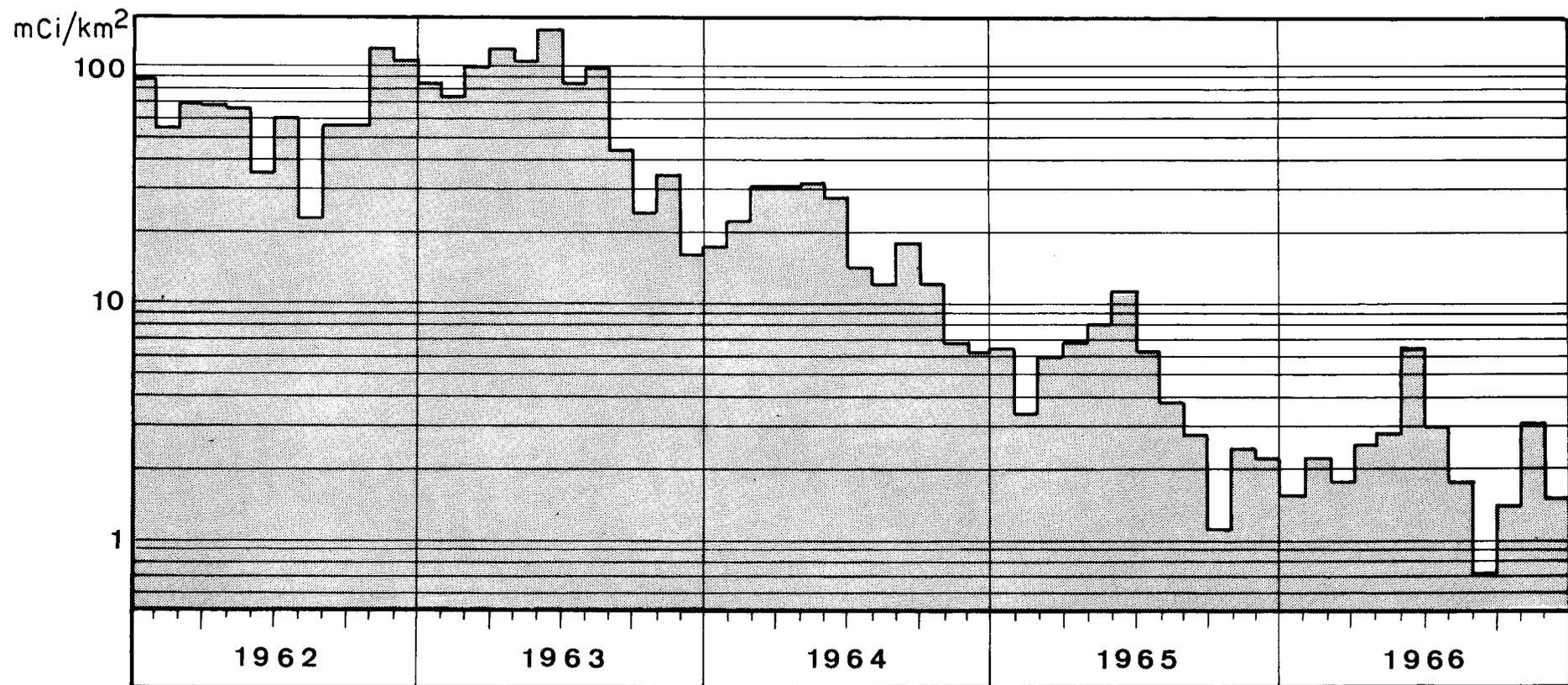


Fig. 4 — Activité bêta globale dans les retombées pour l'ensemble de la Communauté.

cependant les résultats de mesures du plutonium-238 et du plutonium-239 effectuées à Ispra dans le but de déceler les retombées provenant des engins SNAP satellisés autour de la terre.

3.2 — Radioactivité des retombées

3.2.1 — RADIOACTIVITÉ BÊTA GLOBALE

3.2.1.1 — Évolution de 1962 à 1966

L'évolution de l'activité bêta globale des retombées pour l'ensemble de la Communauté est représentée à la figure 4.

On constate que, de même que l'activité dans l'air, l'activité dans les retombées diminue sensiblement dès la seconde moitié de 1963. La valeur maximale (138 mCi/km²) fut atteinte en juin 1963 et en décembre 1966, l'activité des retombées avait décliné jusqu'à 1,45 mCi/km².

Les variations saisonnières sont également visibles mais elles sont moins marquées que dans l'activité de l'air et cela parce que l'activité des retombées est influencée par les fluctuations des hauteurs de précipitation.

En considérant les stations de mesure isolément, on remarque que le maximum des retombées (420 mCi/km²) a été observé en mai 1963 à Ispra (avec 170 mm de pluie).

3.2.1.2 — Relation entre les précipitations et l'activité bêta globale dans les retombées et dans l'air

La figure 5 montre comment l'activité augmente avec la hauteur de précipitation. Les points expérimentaux qui y sont portés proviennent des mesures effectuées pendant les cinq années à des stations réparties dans la Communauté. Parmi le grand nombre de résultats de mesure

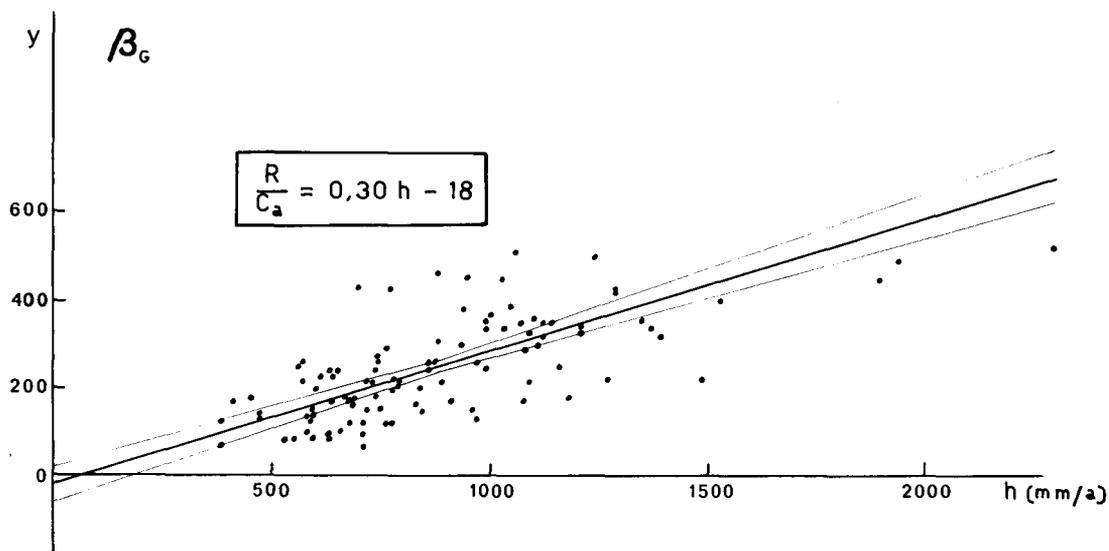


Fig. 5 — Rapport de l'activité bêta globale dans les retombées à l'activité bêta globale dans l'air, en fonction des hauteurs de précipitations.

disponibles, on en a pris une centaine choisis de façon à étaler les points le long de la droite, c'est-à-dire que toutes les mesures correspondant aux faibles et aux fortes précipitations sont représentées, tandis que pour les précipitations moyennes, on s'est limité à un certain nombre de points pris au hasard dans l'ensemble des données. La hauteur annuelle de précipitation est portée en abscisse; en ordonnée sont portées les valeurs annuelles de l'activité des retombées divisées par la valeur moyenne de l'activité dans l'air de l'année considérée. On a ainsi compensé les variations de l'activité ambiante au cours des années 1962 à 1966. On peut en effet considérer

l'activité de l'air comme une mesure relativement exacte de l'activité totale « disponible » dans l'atmosphère au moment où se produit la pluie. Le lavage de l'atmosphère par la pluie (wash-out) est théoriquement exprimé par une relation exponentielle. C'est ainsi que Pelletier, Whipple et Wedlick⁽²⁾ préconisent un modèle mathématique exponentiel pour lier la retombée bêta globale à la concentration d'activité bêta globale dans l'air.

Il nous a semblé cependant que, lorsque l'on considère des valeurs annuelles, la méthode la plus simple et suffisante pour représenter les résultats, compte tenu de leur dispersion, consiste à utiliser une relation linéaire. La droite ainsi obtenue représente le phénomène moyen, les écarts par rapport à cette moyenne étant probablement dus aux facteurs météorologiques, tels que la fréquence, la durée et l'intensité des pluies individuelles, qui peuvent jouer un rôle important.

La méthode des moindres carrés appliquée aux points expérimentaux représentés à la figure 5 nous donne une droite qui a pour équation :

$$y = 0,30 h - 18$$

où y est le rapport de l'activité bêta globale dans les retombées (exprimée en mCi/km²) à l'activité de l'air (exprimée en pCi/m³) et h est la hauteur de précipitation (exprimée en mm).

Le coefficient de corrélation pour les 101 données utilisées est de 0,870. Sauf erreurs systématiques, la droite a 95 % de probabilité de se trouver dans le fuseau délimité par les traits fins. On voit qu'elle passe approximativement par l'origine; cela signifie que la retombée sèche (c'est-à-dire pour une précipitation nulle) est négligeable. Pelletier, Whipple et Wedlick étaient arrivés à la même conclusion à partir de mesures effectuées en Norvège.

Si on désigne par :

- R la retombée bêta globale en mCi/km² et par an,
- C_a l'activité bêta globale moyenne de l'air en pCi/m³ pour l'année considérée,
- h la hauteur de précipitation en mm et par an,

on a $y = R/C_a$ et, en négligeant la retombée sèche, on peut écrire :

$$R = 0,30 C_a h$$

(les bornes de l'intervalle de confiance à 95 % pour la pente de la droite sont 0,26 et 0,34).

Les valeurs de C_a utilisées sont les moyennes pour la Communauté soit : 4,0 pCi/m³ pour 1962, 4,4 pCi/m³ pour 1963, 0,98 pCi/m³ pour 1964, 0,23 pCi/m³ pour 1965 et 0,13 pCi/m³ pour 1966⁽³⁾.

Cette relation obtenue à partir de valeurs annuelles échelonnées sur cinq ans est en bon accord avec la relation proposée par Moeken et Alderhout⁽⁴⁾, obtenue à partir de valeurs mensuelles.

Il convient de signaler ici que toute erreur systématique dans l'évaluation des données utilisées pour calculer la relation conduit à d'autres valeurs des coefficients (voir discussion § 3.2.2.2). Il faut en outre se garder de tirer des conclusions hâtives sur les enseignements que pourrait apporter la valeur de y pour une précipitation nulle, car ce point correspond ici à une extrapolation dans une région où l'on ne dispose plus de points expérimentaux. Il est bien clair qu'en l'absence de pluie, le phénomène doit obéir à des lois différentes de celles qui s'appliquent en présence de pluie.

3.2.2 — STRONTIUM-90

3.2.2.1 — Évolution de 1962 à 1966

Les moyennes mensuelles du strontium-90 dans les retombées pour l'ensemble de la Communauté sont portées sur la figure 6. Un maximum de retombée de 3,8 mCi/km² de

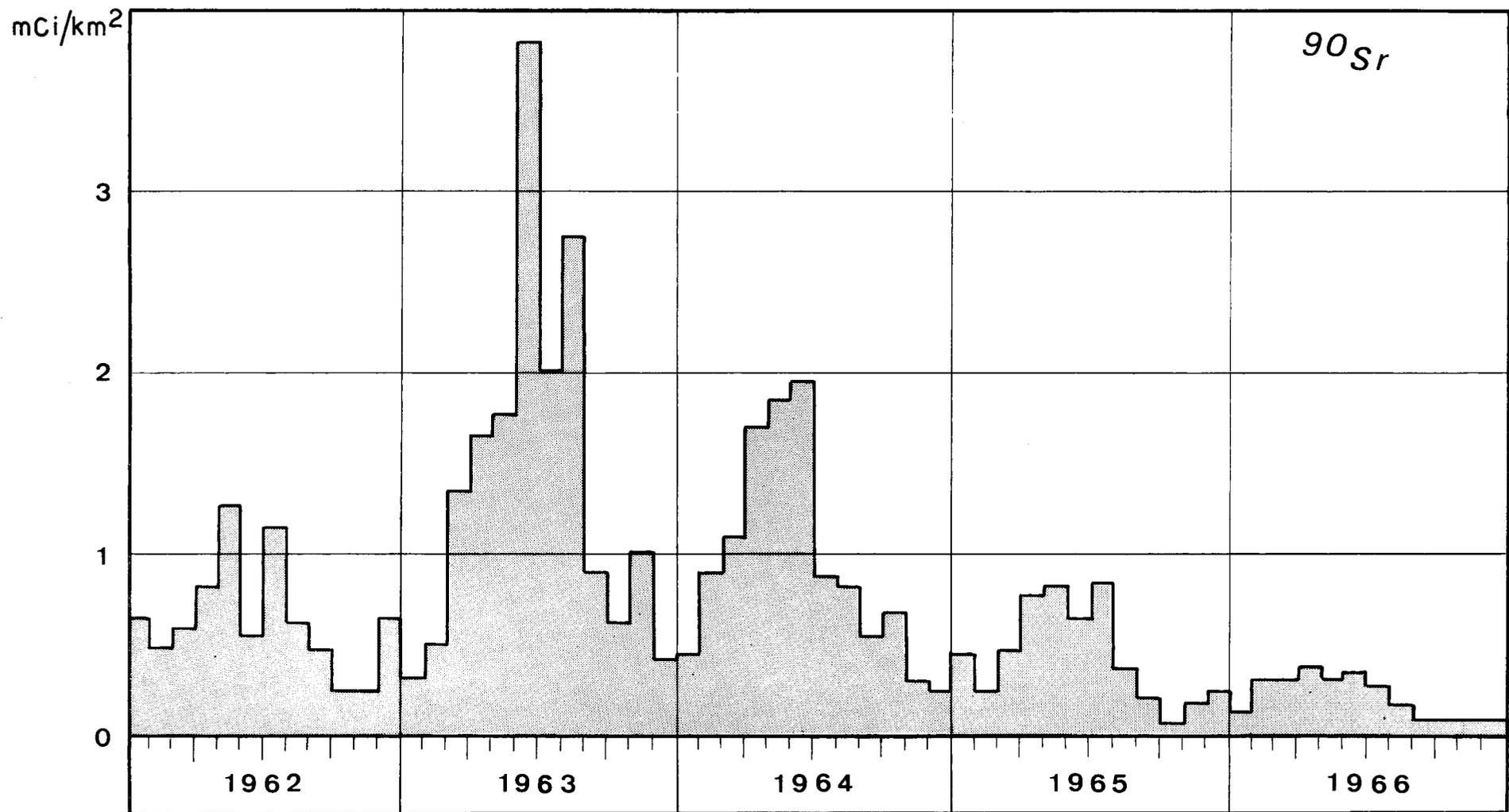


Fig. 6 — ^{90}Sr dans les retombées pour l'ensemble de la Communauté.

strontium-90 a été observé au mois de juin 1963; depuis lors, l'activité a diminué jusqu'à atteindre 0,08 mCi/km² en novembre et décembre 1966. Les variations saisonnières sont également visibles ici, mais il ne faut pas perdre de vue que l'activité des retombées peut être influencée par les hauteurs de précipitation.

En considérant les stations de mesure isolément, on note que le maximum de strontium-90 retombé (8,5 mCi/km²) a été observé à Ispra en juillet 1963 (avec 211 mm de pluie).

3.2.2.2 — Relation entre les précipitations et le ⁹⁰Sr dans les retombées et dans l'air

Comme dans le cas de l'activité bêta globale, nous avons représenté graphiquement l'activité du strontium-90 dans les retombées en fonction des hauteurs de précipitation (fig. 7).

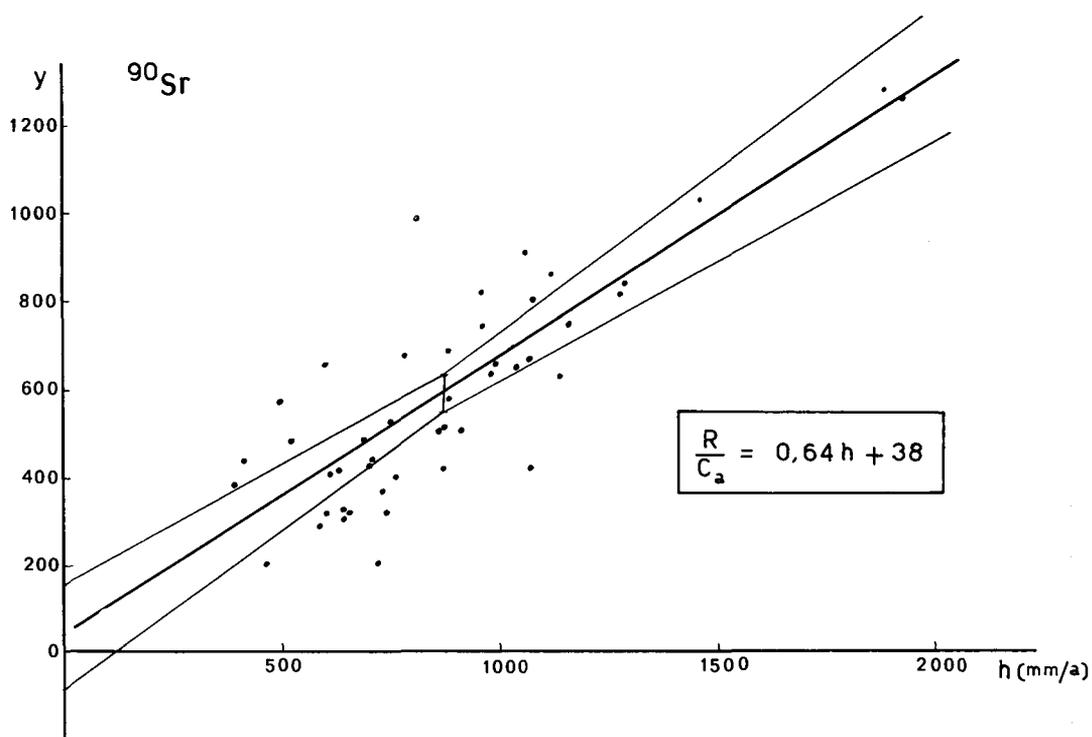


Fig. 7 — Rapport de l'activité du ⁹⁰Sr dans les retombées à l'activité du ⁹⁰Sr dans l'air, en fonction des hauteurs de précipitations.

Mais cette fois, nous avons utilisé tous les points dont nous disposons (quarante-six).

Nous avons porté h en abscisse et en ordonnée $y = R'/C'_a$

où

R' retombée du strontium-90 en mCi/km² par an,

C'_a activité moyenne du strontium-90 dans l'air pour l'année considérée,

h hauteur de précipitation en mm par an.

Nous avons utilisé une relation linéaire pour représenter le phénomène. La droite obtenue par la méthode des moindres carrés a pour équation :

$$y = 0,64 h + 38.$$

Le coefficient de corrélation pour les 46 données est de 0,823. Sauf erreurs systématiques, cette droite a 95% de probabilité de se trouver dans le fuseau délimité par les traits fins. On voit

que la précision est moins bonne que dans le cas de l'activité bêta globale mais, tout en se gardant de tirer des conclusions sur la valeur de y extrapolée pour une précipitation nulle, on peut négliger la retombée sèche et exprimer la retombée du ^{90}Sr en mCi/km^2 par an par :

$$R' = 0,64 C'_a h \quad (1)$$

(Les bornes de l'intervalle de confiance à 95 % pour la pente de la droite sont 0,50 et 0,76.)

Les valeurs de C'_a utilisées sont les moyennes des résultats communiqués à la Commission soit respectivement pour les années 1962 à 1966 de $16,8 \cdot 10^{-3}$, $36 \cdot 10^{-3}$, $24,7 \cdot 10^{-3}$, $8,6 \cdot 10^{-3}$ et $3,6 \cdot 10^{-3}$ pCi/m^3 .

On remarquera que le coefficient trouvé pour le strontium-90 est plus élevé que celui trouvé pour l'activité bêta globale, alors que le processus de retombée doit être similaire. Il est vraisemblable que le coefficient 0,64, bien que donné avec un intervalle de confiance plus grand, est meilleur que celui trouvé pour l'activité bêta globale; en effet, les mesures de strontium dans l'air et dans les retombées se font dans des conditions de géométrie comparables tandis que dans le cas de l'activité bêta globale, l'auto-absorption du rayonnement joue un rôle plus important dans les mesures de retombées que dans les mesures d'activité de l'air. Il est donc probable que les mesures bêta globales tant de l'air que des retombées sont affectées d'une erreur systématique conduisant à des valeurs trop faibles mais cette erreur est plus importante pour les mesures de retombées que pour les mesures de l'air.

3.2.2.3 — Retombées de strontium-90 dans le monde et dans la Communauté

N'ayant à notre disposition qu'un nombre restreint de résultats de mesures de strontium dans la Communauté, nous avons jugé utile de procéder à une comparaison avec d'autres valeurs disponibles. A cet effet, nous avons considéré les travaux de H. L. Volchok qui ⁽⁵⁾, en compilant les données fournies par un réseau mondial de stations de mesures a évalué le dépôt annuel total de strontium-90 dans les hémisphères Nord et Sud (Tableau III). A partir de ces mêmes données, on peut mettre en évidence la non-uniformité de la répartition du dépôt sur la surface de la terre : ainsi, pour l'hémisphère Nord, le dépôt le plus important est observé dans la bande de

TABLEAU III
Dépôt annuel de strontium-90 en Mégacuries ⁽⁵⁾

Année	Hémisphère Nord	Hémisphère Sud	Total
1958	0,66	0,24	0,90
1959	0,97	0,16	1,13
1960	0,23	0,15	0,38
1961	0,31	0,15	0,46
1962	1,26	0,27	1,53
1963	2,31	0,28	2,59
1964	1,46	0,38	1,84
1965	0,69	0,31	1,00
1966	0,29	0,18	0,47

latitude de 40 à 50°. Le tableau IV montre la répartition en pourcent du dépôt total dans l'hémisphère Nord par bandes de latitude de 10 degrés.

En première approximation et pour simplifier la comparaison, on peut considérer que la Communauté européenne se situe dans la bande de latitude de 40 à 50° Nord, laquelle a reçu en moyenne 22,8 % du strontium-90 déposé dans l'hémisphère Nord.

TABLEAU IV

Répartition par bande de latitude du dépôt de strontium-90 dans l'hémisphère Nord
(en pourcent du dépôt total dans l'hémisphère Nord)

Latitude	1962	1963	1964	1965
80° - 90°	0,2	0,3	0,1	0,1
70° - 80°	1,3	2,0	1,0	1,1
60° - 70°	7,0	8,6	5,9	4,4
50° - 60°	13,2	16,2	17,2	15,9
40° - 50°	22,3	23,2	24,1	21,6
30° - 40°	19,3	15,4	16,9	19,9
20° - 30°	16,7	15,4	16,3	13,2
10° - 20°	11,4	10,8	12,2	13,7
0° - 10°	8,8	7,9	6,3	10,0

Dans la première partie du tableau V, on a reporté les valeurs du dépôt total de strontium-90 dans l'hémisphère Nord et de la fraction déposée dans la bande de 40 à 50° de latitude Nord, données par Volchok. A partir de ces chiffres, on a déduit le dépôt total et le dépôt par km² dans cette bande de latitude.

A ces valeurs, nous pouvons comparer les résultats des mesures effectuées dans la Communauté qui figurent dans la seconde partie du tableau. Les moyennes pour la Communauté sont en bonne concordance avec les valeurs estimées à partir des données de Volchok. Ces moyennes ont été obtenues à partir de toutes les données disponibles. Par contre, si l'on veut comparer les valeurs obtenues individuellement à chacune des stations à la valeur estimée, on ne peut utiliser que les résultats complets pour les douze mois d'une année et malheureusement les résultats complets sont peu nombreux. Ces valeurs individuelles s'écartent plus ou moins de la moyenne en raison de l'influence des précipitations (voir 3.2.2.2). On remarque d'ailleurs qu'à Ispra, où les pluies sont abondantes, l'écart est considérable.

3.2.2.4 — Dépôt cumulé de strontium-90

On a pu, en utilisant les valeurs mensuelles du dépôt moyen de strontium-90 pour la Communauté, établir une courbe du dépôt cumulé corrigé pour la décroissance radioactive (fig. 8). N'ayant pas à notre disposition la valeur du dépôt de strontium-90 dans la Communauté

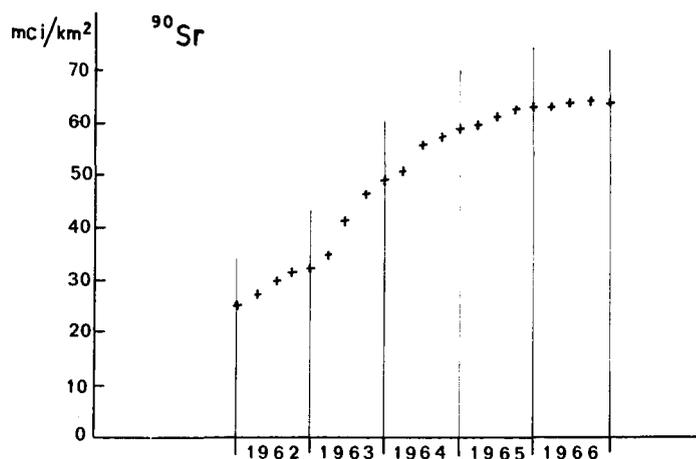


Fig. 8 — Dépôt cumulé de ⁹⁰Sr dans les pays de la Communauté.

avant 1962, nous avons supposé qu'il était au 1^{er} janvier 1962 de 24,9 mCi/km² (valeur déduite des données de Volchok ⁽⁵⁾).

TABLEAU V
Dépôt de strontium-90 dans les pays de la Communauté
 (en mCi/km² sauf indiqué autrement)

	1962	1963	1964	1965	1966
<i>D'après Volchok ⁽⁵⁾</i>					
Dépôt dans l'hémisphère Nord en MCi	1,26	2,31	1,46	0,69	0,29
Fraction déposée dans la bande 40° N - 50° N en MCi	0,223	0,232	0,241	0,216	0,228 (*)
Dépôt total dans la bande 40° N - 50° N en MCi	0,28	0,54	0,35	0,15	0,07
Dépôt en mCi/km ² dans la bande 40° N - 50° N	8,9	17,0	11,2	4,7	2,1
<i>Résultats des mesures dans la Communauté</i>					
Moyenne pour la Communauté	7,7	17,1	11,4	5,5	2,6
Valeurs observées aux stations de :					
Belgique					
Mol	8,9	14,7	8,2	5,6	1,9 (*)
Brasschaat	—	11,4	—	5,5	—
Florennes	—	13,3	8,3	5,4	—
Kleine Brogel	—	15,0	10,0	5,8	—
Schaffen	—	—	7,6	5,0	—
Uccle	—	—	—	5,7	—
Deutschland B.R.					
Heidelberg	7,5	23,7	12,2	7,1	—
Karlsruhe	8,2	20,6	9,7	—	3,6
Königstein	3,4	—	6,7	7,0	2,9
Hannover	4,8	7,4	—	5,9	—
Jülich	—	—	—	—	1,5
France					
Anglade	—	18,4	—	—	2,7
Bellenaves	—	—	11,5	—	—
Vioménil	—	24,4	—	—	2,7
Fontenay-aux-Roses	—	—	10,9	—	—
Thornas	—	37,1	—	—	—
Cléville	—	—	—	—	1,8
Le Vésinet	—	—	—	—	1,8
Nederland					
Bilthoven	8,8	18,3	—	—	—
Rijswijk	7,1	15,7	10,4	—	3,3
Euratom					
Ispra	14,5	45,7	22,5	7,3	4,6

(*) Estimation.

La figure 9 donne le dépôt de strontium-90 cumulé pour l'ensemble de l'hémisphère Nord. La courbe pointillée est celle publiée par Volchok ⁽⁵⁾, tandis que la courbe continue est obtenue à partir des valeurs du dépôt de strontium dans la Communauté.

Nous l'avons obtenue en considérant que le dépôt dans la Communauté assimilé à celui de la bande de latitude de 40 à 50° N, représentait une fraction du dépôt total dans l'hémisphère Nord valant 22,3 % en 1962, 23,2 % en 1963, 24,1 % en 1964, 21,6 % en 1965 et 22,8 % en 1966; cette dernière valeur est une estimation, les autres étant tirées du tableau IV.

3.2.3 — CÉSIIUM-137

3.2.3.1 — Évolution de 1962 à 1966

Les moyennes mensuelles du césium-137 dans les retombées pour l'ensemble de la Communauté suivent une courbe analogue à celle du strontium-90. Un maximum de 6,84 mCi/km² de césium a été observé au mois de juin 1963. En novembre et décembre 1966, l'activité du ¹³⁷Cs était voisine de 0,10 mCi/km².

En considérant les stations de mesure isolément, on note que le maximum de césium-137 dans les retombées (15 mCi/km²) a été observé à Ispra en juin 1963.

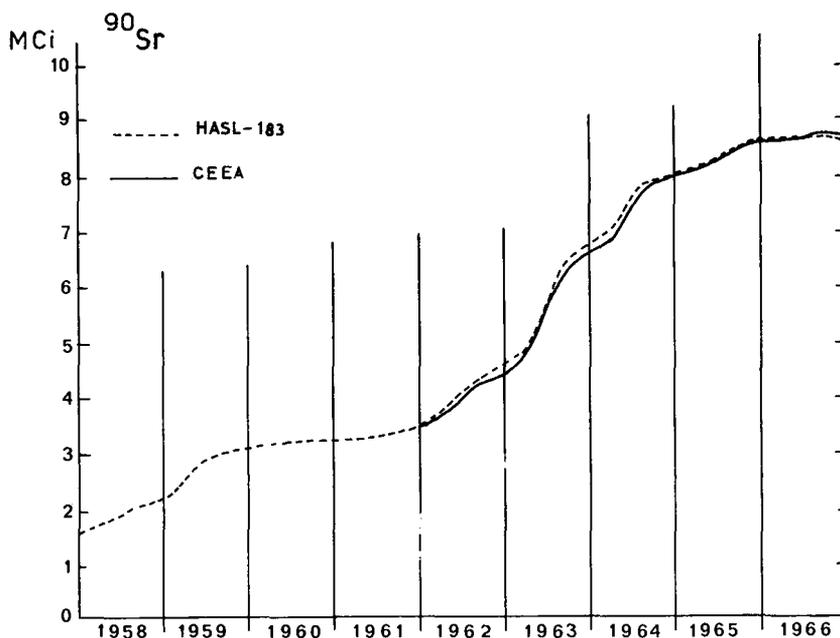


Fig. 9 — Dépôt total cumulé de ⁹⁰Sr dans l'hémisphère Nord.

3.3 — Répartition géographique de l'activité retombée dans la Communauté

3.3.1 — ACTIVITÉ BÊTA GLOBALE

En vue de représenter la répartition géographique de l'activité retombée dans la Communauté, nous avons utilisé au mieux les données disponibles de l'activité bêta globale dans les retombées, pour établir des courbes d'égale activité. Nous avons montré au paragraphe 3.2.1.2 l'influence des hauteurs de précipitation sur l'activité bêta globale des retombées. Il est donc important de comparer la répartition de l'activité bêta globale pour une année, à la carte des précipitations pour cette même année. Nous avons donc tracé, le plus souvent à partir des données figurant dans nos rapports annuels, les isohyètes pour les années 1963 à 1966 et les zones de retombées correspondantes pour ces mêmes années (fig. 10).

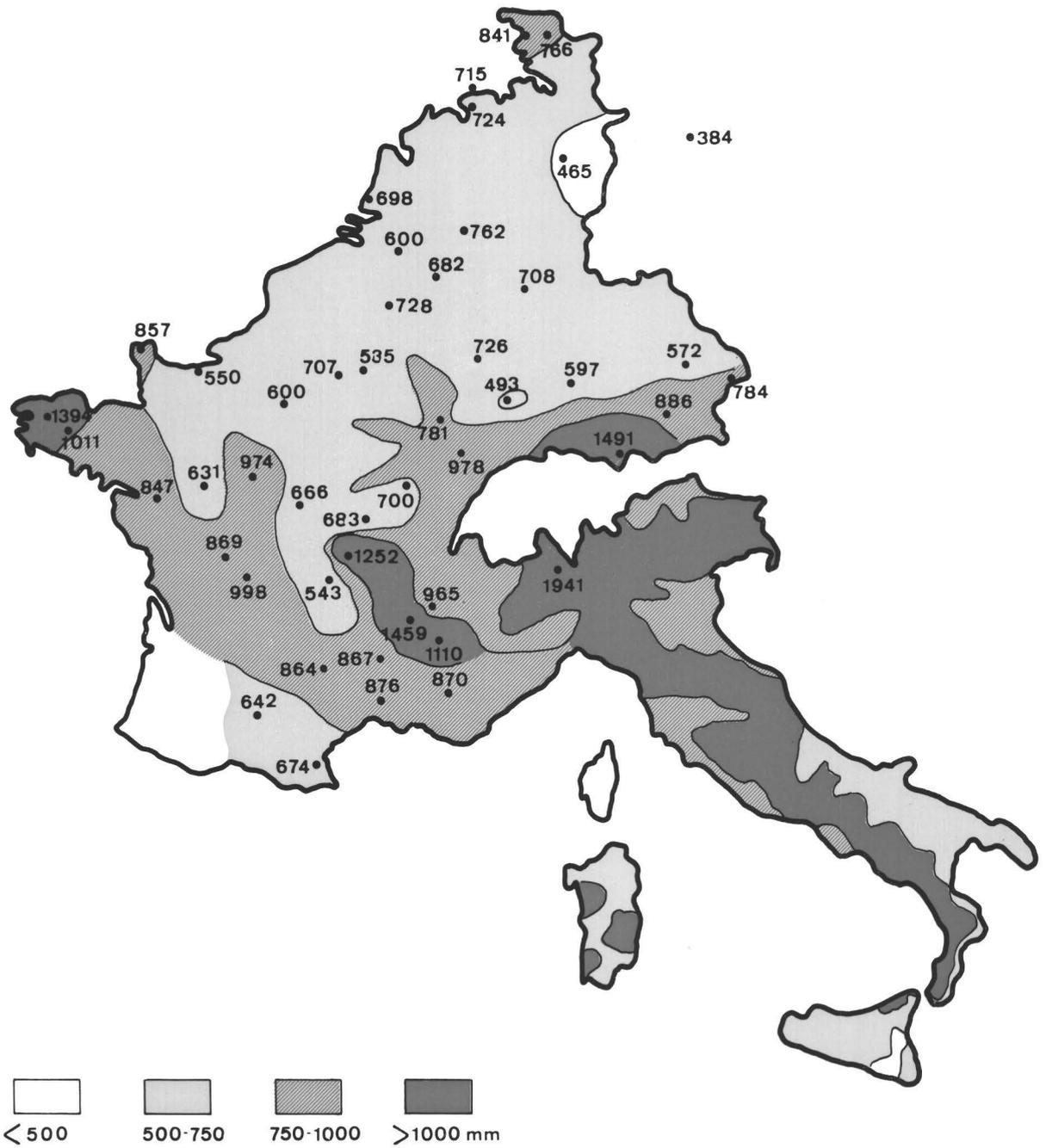
Les limites de ces zones ont été déterminées pour chaque année à partir de la formule $R = 0,30 C_a h$ (voir 3.2.1.2).

La concordance entre les cartes des pluies et les cartes d'activité bêta globale n'est pas parfaite mais on constate qu'il y a cependant une certaine analogie. Ainsi, les régions à fortes précipitations telles que le sud-ouest de la France, la Bretagne, la côte des Pays-Bas, la région des Alpes bavaroises, celle d'Ispra (lac Majeur) et certains points de la côte italienne sont également des régions d'activité bêta globale plus élevée.

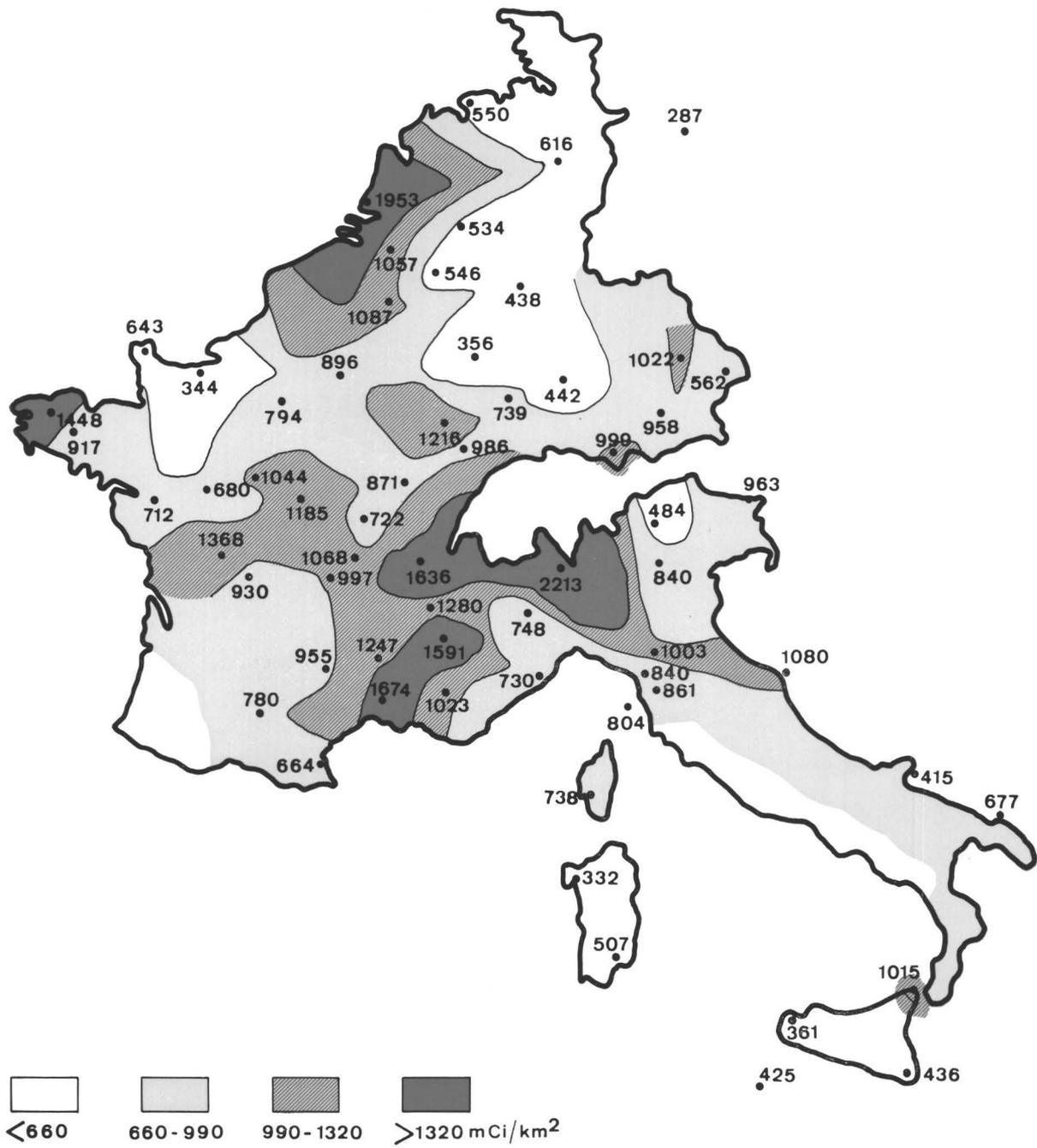
Fig. 10 — Répartition géographique des retombées bêta globales dans la Communauté et isohyètes pour les années 1963 à 1966.

Fig. 10A — Répartition géographique du ^{90}Sr retombé dans la Communauté. Estimation du dépôt total cumulé de 1962 à 1966.

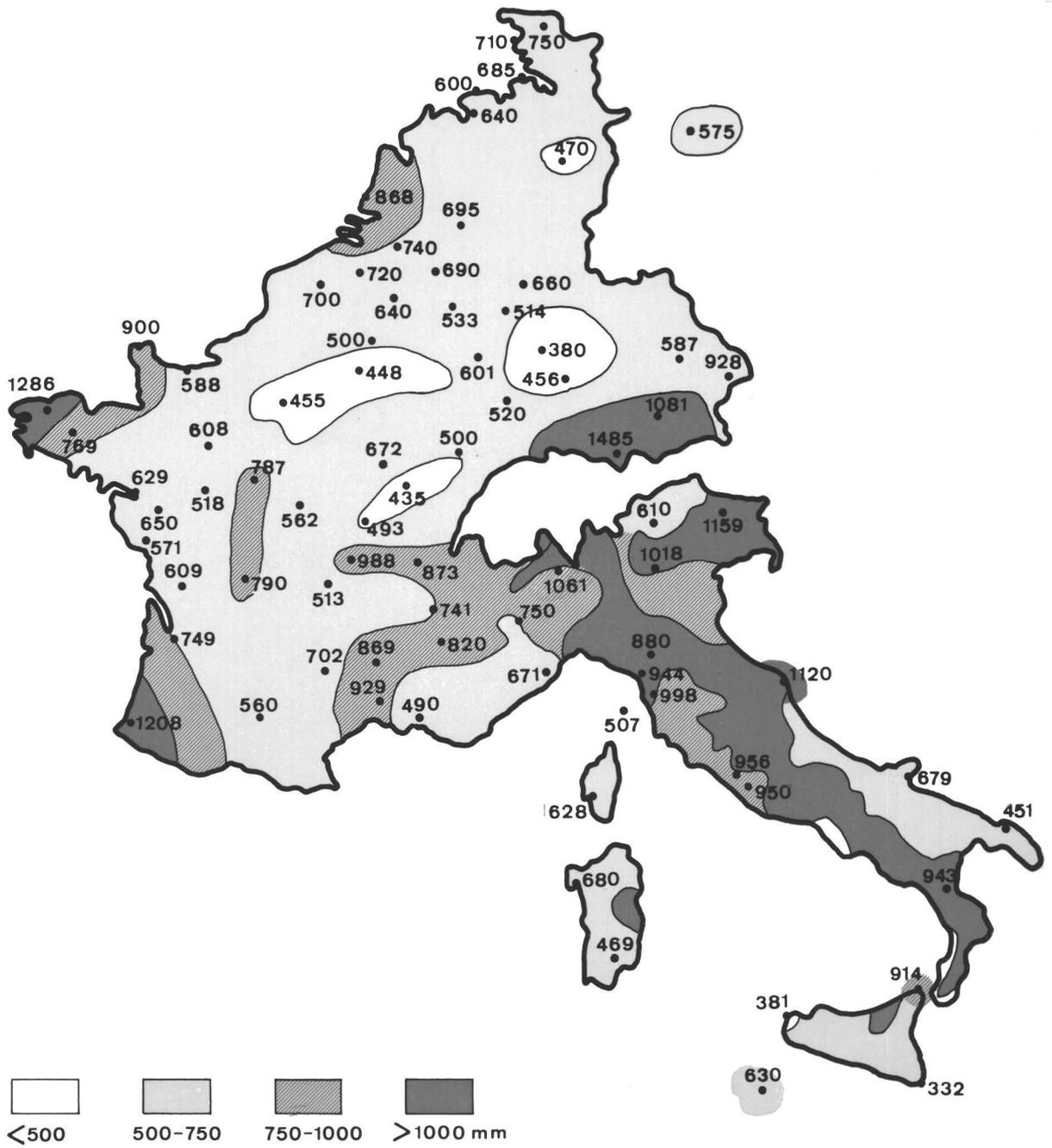
1963 Précipitations



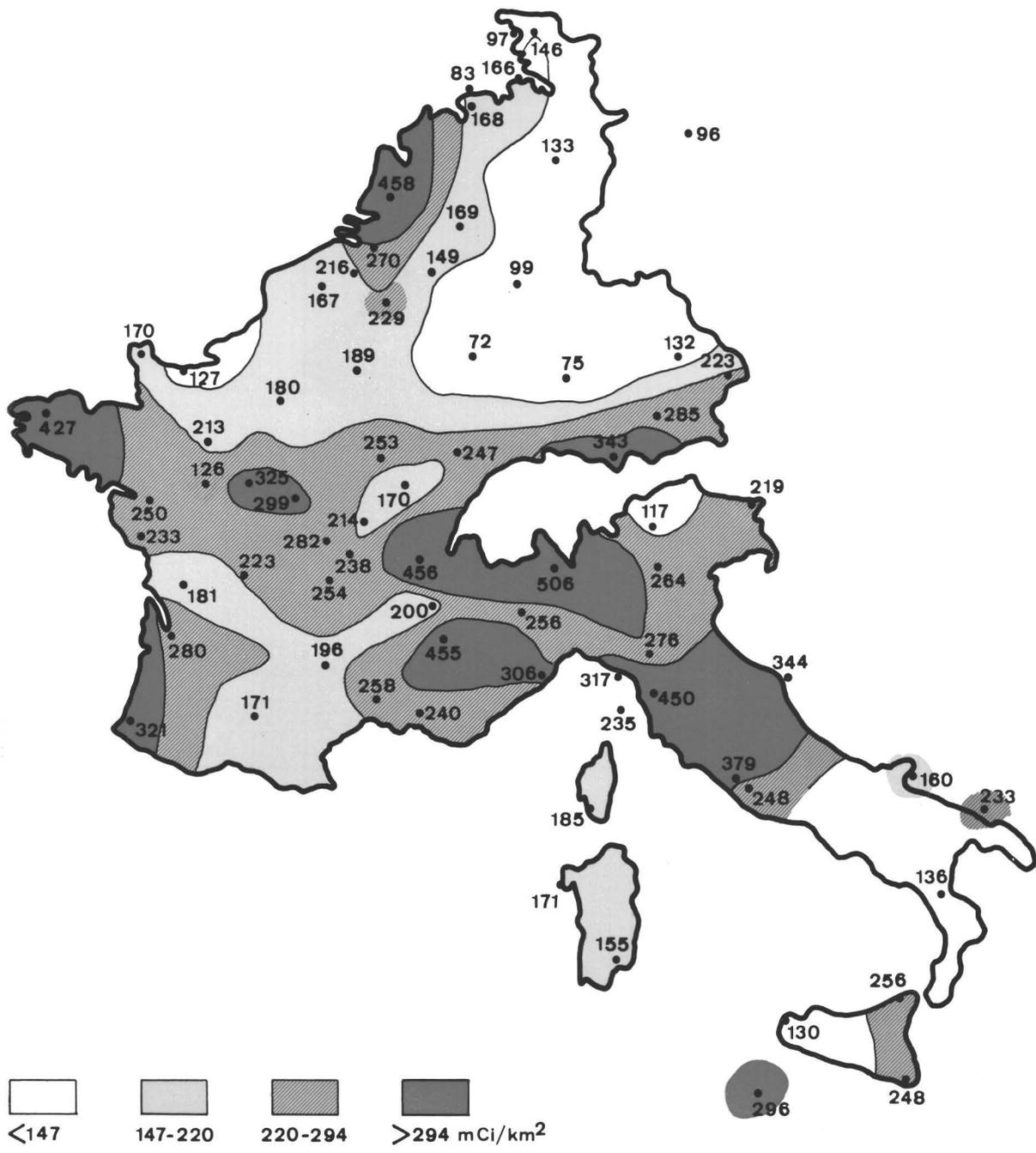
1963 Retombées β_G



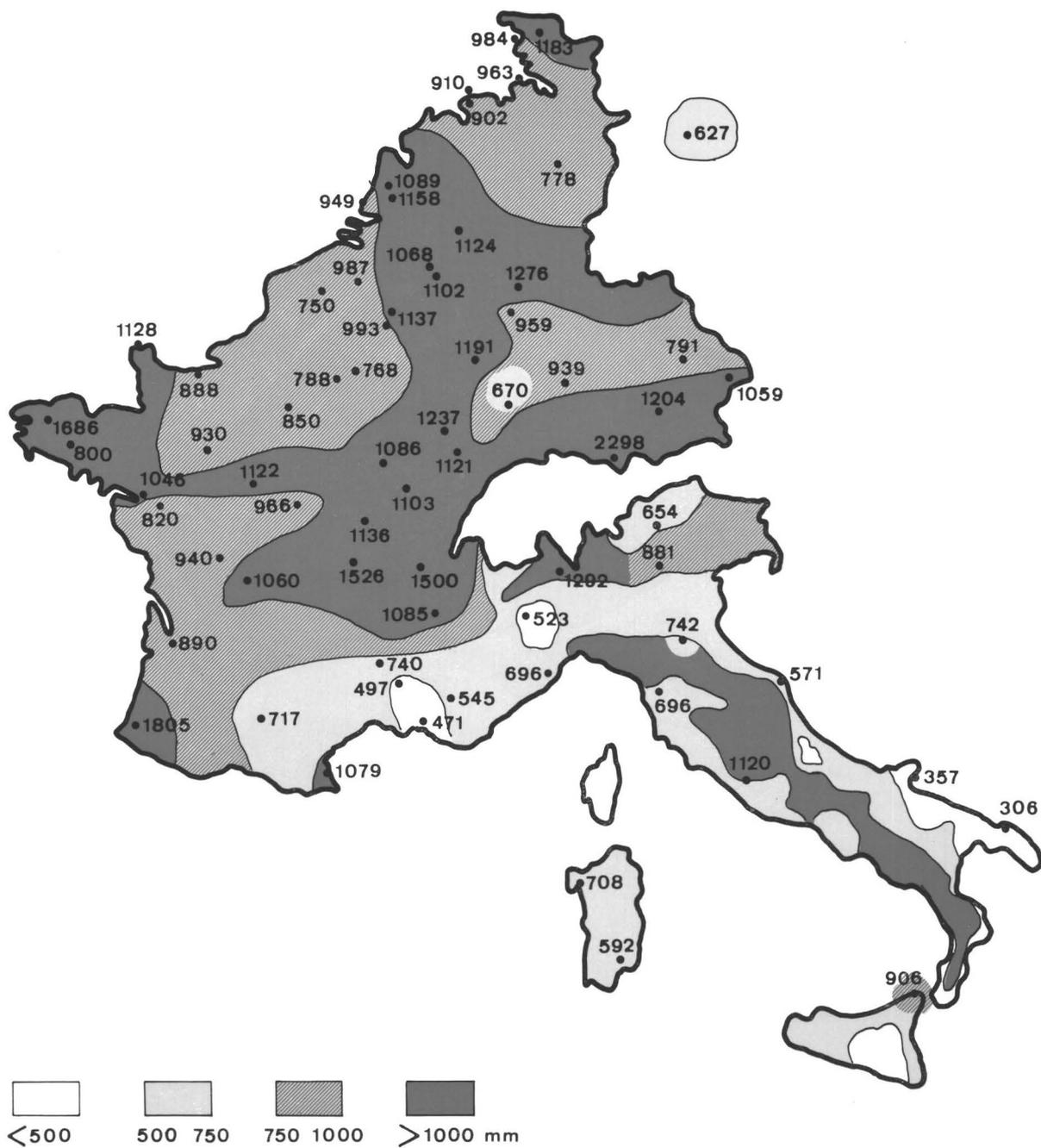
1964 Précipitations

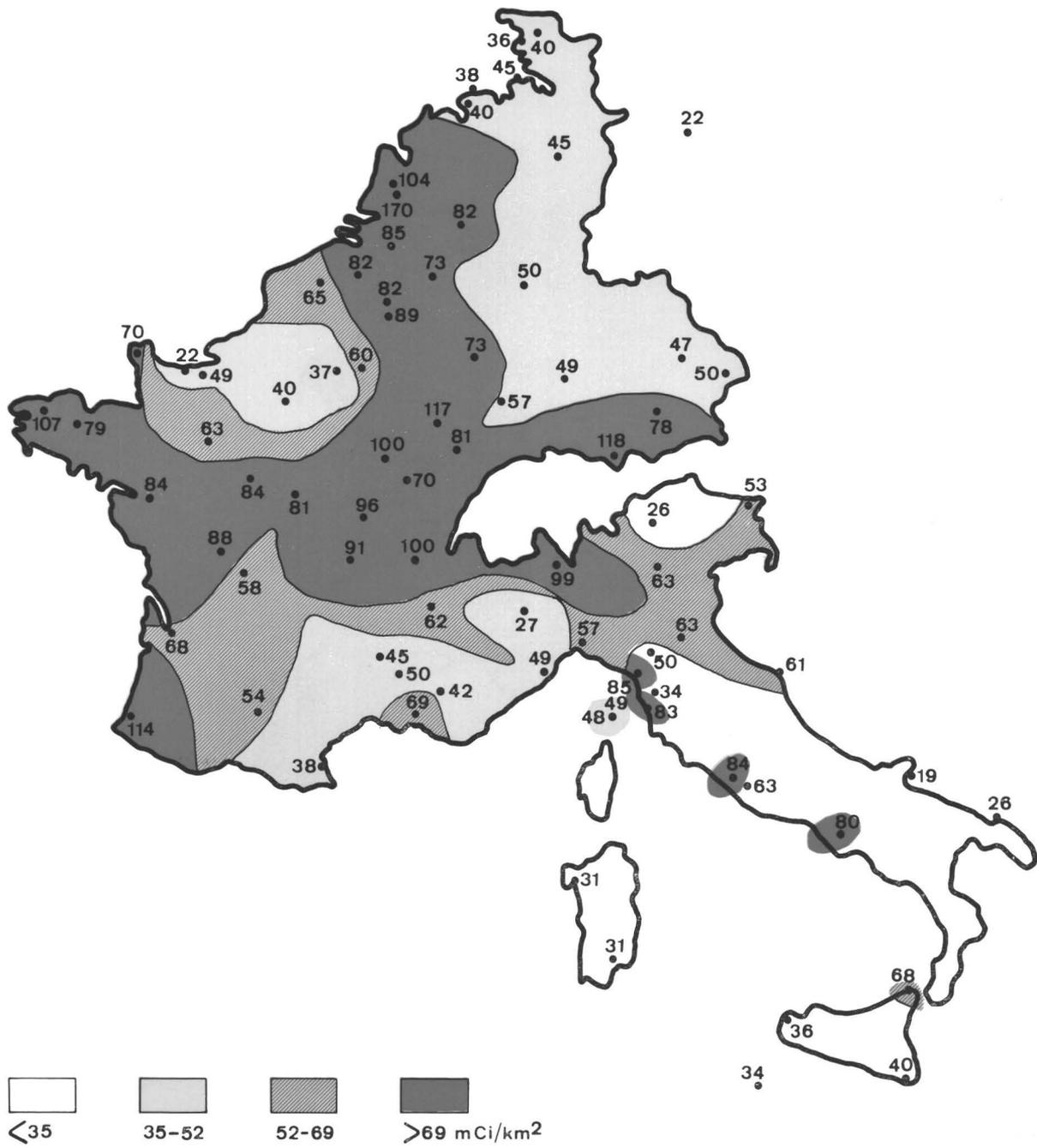


1964 Retombées β_G

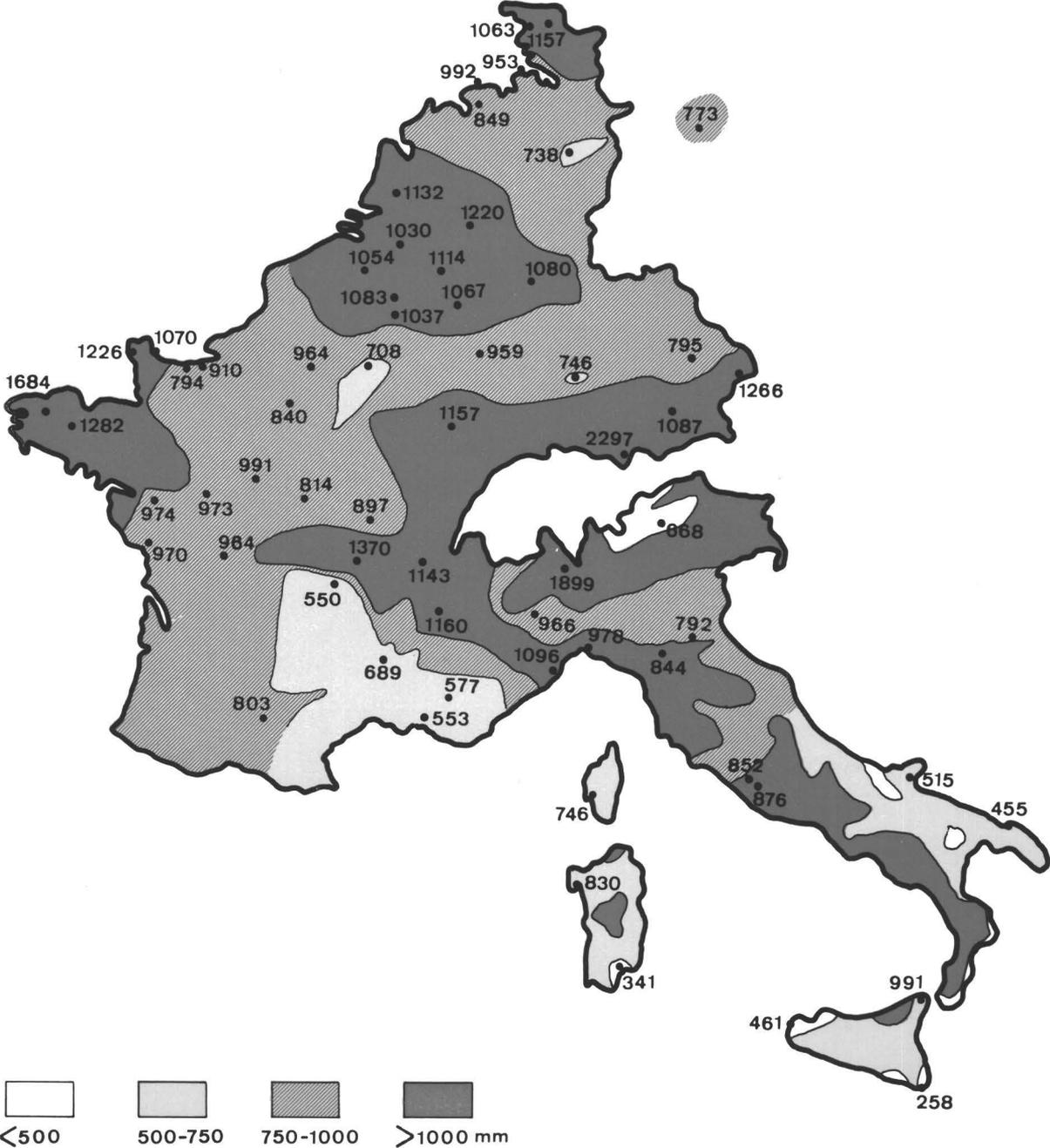


1965 Précipitations

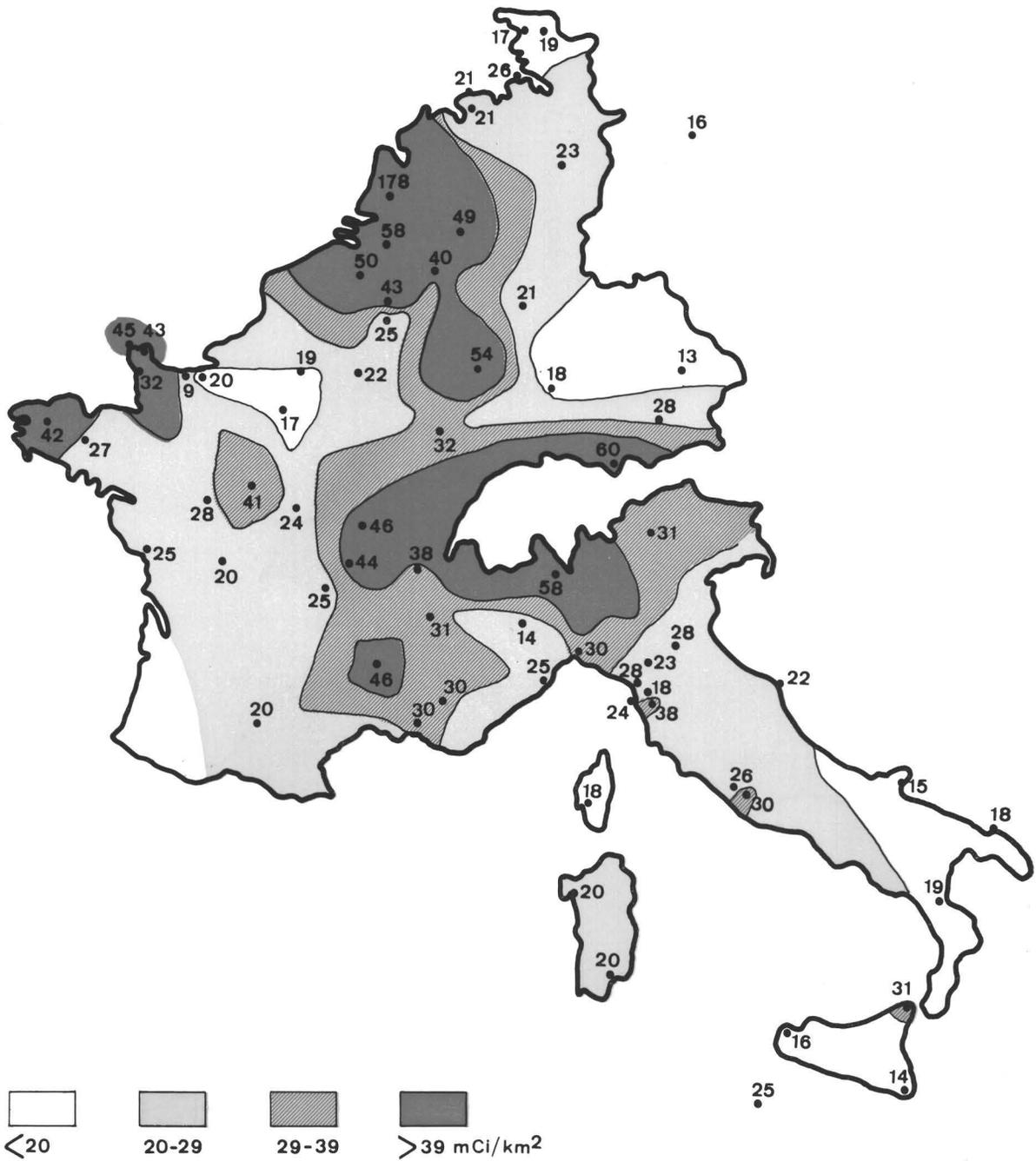




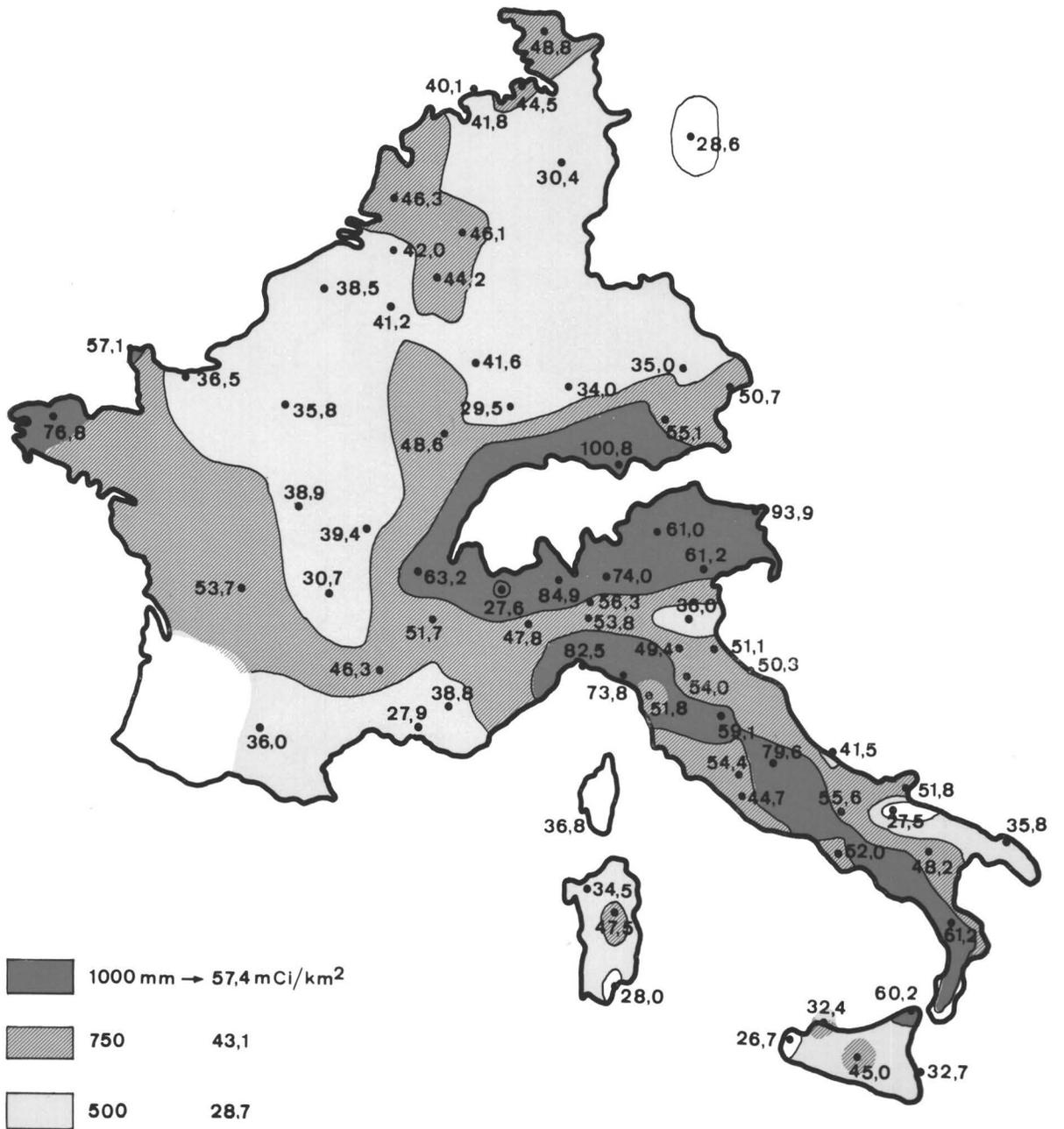
1966 Précipitations



1966 Retombées β_G



9° Sr mCi/km² cumulé de 1962 à 1966
 Estimation par calcul $R = 0,64 C_a h$.



Il est certain que la nature du climat (atlantique, méditerranéen, d'Europe centrale) peut avoir une influence sur la relation entre le dépôt actif et la quantité de pluie (⁶), mais nous n'avons pas voulu aborder ici une étude approfondie de ce problème.

3.3.2 — ACTIVITÉ DU STRONTIUM-90

Le nombre de résultats des mesures disponibles sur les retombées de ⁹⁰Sr dans la Communauté est insuffisant pour établir également leur répartition géographique. La formule (1) établie au paragraphe 3.2.2.2 nous permet cependant d'estimer le dépôt annuel de ⁹⁰Sr en chacun des points de la Communauté. Nous avons supposé que la concentration annuelle moyenne de ⁹⁰Sr dans l'air (C'_a) était la même sur l'ensemble du territoire de la Communauté et nous avons fait la somme des produits $C'_a \times h$ pour les années 1962 et 1966. La figure 10A ainsi obtenue donne donc l'image de la répartition dans la Communauté du dépôt de ⁹⁰Sr cumulé au cours des cinq années. La comparaison entre les valeurs réellement observées aux stations de Mol et d'Ispra (respectivement 39,3 mCi/km² et 94,6 mCi/km²) (voir tableau V) et les valeurs calculées par la formule (1) (42,0 mCi/km² et 85 mCi/km²) montre que la concordance est satisfaisante.

3.4 — Conclusions

En conclusion, on remarque que la libération dans l'atmosphère de 100 mégatonnes d'énergie de fission entre septembre 1961 et décembre 1962, le réservoir stratosphérique étant ce qu'il était (0,72 MCi de ⁹⁰Sr en mai 1961), a conduit à un maximum de retombées dans le deuxième trimestre de 1963. Ce maximum, si l'on considère la moyenne pour la Communauté, s'est situé à 3,8 mCi/km² de strontium-90 en un mois et à 138 mCi/km² d'activité bêta globale en un mois. En considérant les régions à fortes retombées, on a atteint en un mois, 8,5 mCi/km² de ⁹⁰Sr et 420 mCi/km² d'activité bêta globale.

Il faut remarquer également que la diminution d'activité dans le temps a été rapide et que, entre la mi-1963 et la fin 1966, l'activité moyenne du strontium-90 a diminué d'un facteur 50 et celle de l'activité bêta globale a diminué d'un facteur 100 environ.

On peut suivre cette évolution sur la figure 11 où les activités sont représentées en pourcent de l'activité maximum.

4 — CONTAMINATION RADIOACTIVE DU RÉGIME ALIMENTAIRE

En ce qui concerne la surveillance du niveau de contamination des différentes denrées alimentaires, on peut dire qu'elle est assurée dans les pays de la Communauté par un échantillonnage régulier et fréquent des aliments constituant la base du régime de la population.

Pour réaliser cette surveillance, les États membres ont mis sur pied des programmes adaptés aux circonstances particulières à chaque cas. Malgré une certaine diversité existant dans les programmes et se répercutant dans les données transmises à la Commission, il a été possible d'utiliser ces données sur le plan de la Communauté. Nous avons analysé succinctement la contamination radioactive de chaque catégorie d'aliments dans les rapports annuels qui se sont succédé depuis 1963 (⁷); nous n'y consacrerons plus de chapitres séparés ici.

En fait, on peut situer l'importance de la surveillance de la radioactivité des denrées alimentaires en rappelant que la consommation des aliments est responsable d'environ 90% du total de l'activité ingérée et que le lait et le fromage interviennent à eux seuls pour 40 à 50% dans le cas du strontium-90. Pour cette raison, nous avons étudié plus spécialement l'influence des retombées sur la contamination du lait.

Il convient également d'attirer l'attention sur la nature des mesures effectuées. Alors que dans le cas de l'air et des retombées, la surveillance porte surtout sur les mesures bêta globales, dans le cas des denrées alimentaires, on mesure généralement les nucléides dont l'apport est susceptible de contribuer à la dose d'irradiation interne des individus. C'est la raison pour laquelle il ne sera question dans ce qui suit que du strontium-90 et dans une moindre mesure, du césium-137.

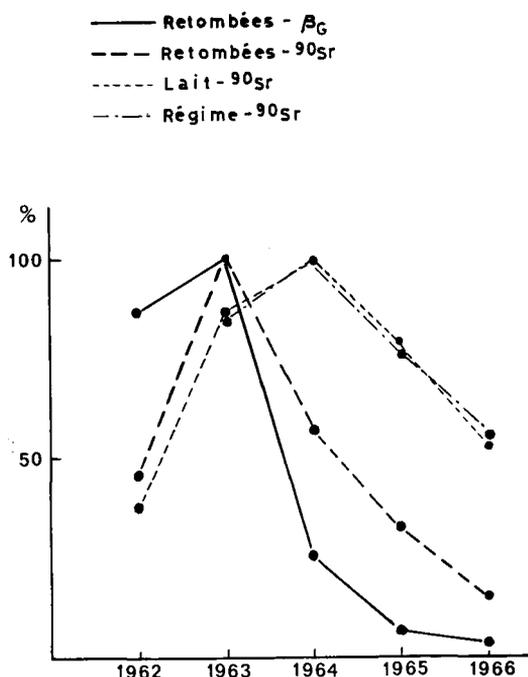


Fig. 11 — Évolution de l'activité β_G dans les retombées et de l'activité du ^{90}Sr dans les retombées, le lait et le régime pour la Communauté.

Enfin, il nous a semblé intéressant d'utiliser les données dont nous disposons pour la contamination du lait et des retombées, afin d'étudier la relation qu'il y a entre ces deux valeurs.

4.1 — Contamination du lait

4.1.1 — STRONTIUM-90

4.1.1.1 — Évolution de 1962 à 1966

Les résultats des mesures effectuées dans la Communauté ont été rassemblés et publiés par la Commission sous forme de rapports annuels (7).

Les valeurs moyennes mensuelles et annuelles extraites de ces rapports sont reprises au tableau VI.

En même temps que l'évolution de l'activité bêta globale et du strontium-90 dans les retombées, la figure 11 montre l'évolution de la concentration du strontium-90 dans le lait, de 1962 à 1966, pour l'ensemble de la Communauté représentée en pourcent de la valeur maximum.

A la figure 12, on a repris les valeurs mensuelles de cette concentration en pCi/gCa; on constate qu'elle évolue de la façon suivante :

— Au début de 1962, le niveau fluctue autour de 6 à 7 pCi/gCa, valeur caractéristique de la situation avant la reprise des essais nucléaires dans l'atmosphère en 1961. En effet, les

essais les plus importants pour la contamination du milieu, ont été effectués entre le 4 octobre et le 4 novembre 1961 en Nouvelle-Zemble et la contamination de l'herbe qui en a résulté n'a conduit à une augmentation de l'activité du lait qu'au moment de la mise au vert des vaches. Après le pic d'activité caractéristique du printemps, celle-ci s'est stabilisée à environ 12 pCi/g Ca jusqu'au printemps suivant où, à la suite des essais de 1962, l'activité a rapidement atteint un nouveau palier situé à environ 32 pCi/gCa, s'étendant sur la période des 12 mois suivants. Cette augmentation d'un facteur 2,7 environ est à rapprocher de l'augmentation d'un facteur 3,0 (voir tableau I) du rendement de fission des essais atmosphériques de 1962 par rapport à ceux de 1961. Il y a donc à 10% près un rapport de proportionnalité entre le rendement de fission des explosions et la contamination du lait. Les deux périodes considérées ont cependant ceci de commun que les explosions ont eu lieu surtout après la période de production du foin de telle sorte qu'il convient d'utiliser avec prudence les coefficients de proportionnalité cités lorsqu'on veut évaluer des situations futures dans lesquelles la contribution des retombées récentes à la contamination du lait serait prépondérante mais pour lesquelles les explosions se seraient produites à un autre moment de l'année.

TABLEAU VI
⁹⁰Sr et ¹³⁷Cs dans le lait
(Moyennes mensuelles et annuelles pour la Communauté (?))

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	\bar{x}_a
⁹⁰ Sr													
1962	6,4	6,3	7,2	8,4	13,1	14,4	14,0	12,1	12,6	10,9	11,0	11,0	10,6
1963	11,6	11,8	12,5	12,4	20,0	29,1	35,4	34,2	33,7	32,8	28,9	31,2	24,5
1964	32,7	31,4	30,8	30,3	30,2	30,2	29,1	23,7	22,4	20,9	21,1	22,1	27,1
1965	24,1	25,6	27,6	23,6	25,4	21,6	20,0	17,0	16,6	15,6	15,7	17,4	20,9
1966	17,7	16,7	17,1	18,3	15,5	13,6	13,2	13,1	11,0	10,7	11,8	12,8	14,3
¹³⁷ Cs													
1962	28	26	33	31	59	76	100	97	84	69	63	63	61
1963	77	77	80	81	125	198	261	248	257	203	191	203	167
1964	204	177	181	180	160	176	180	149	132	114	99	114	156
1965	133	130	126	115	102	94	90	84	75	64	60	71	95
1966	62	66	64	63	56	46	49	45	38	36	34	35	50

En résumé, on peut considérer que 2,5 mégatonnes d'énergie de fission libérées pendant le second semestre d'une année, donnent en moyenne dans le lait, environ 1 pCi/gCa pendant la période de 12 mois commençant au mois d'avril-mai de l'année suivante.

- Au milieu de 1964, diminution marquée de la contamination jusqu'à une valeur moyenne de 23 pCi/gCa (moyenne calculée d'août 1964 à juillet 1965).
- Nouvelle diminution de la contamination au milieu de 1965 jusqu'à un niveau moyen d'environ 16 pCi/gCa pour la période s'étalant de juillet 1965 à mai 1966.
- A la fin de 1966, on retrouve les niveaux de fin 1962.

Ainsi donc, après les explosions importantes de 1961 et 1962, on a observé pour la période de cinq années commençant en mai 1962, une contamination moyenne du lait d'environ 19 pCi/gCa, dont plus de 95% sont dus à ces explosions. Comme l'énergie de fission libérée a été de 100 mégatonnes environ, on peut évaluer à 0,15 pCi/gCa minimum et à 0,20 pCi/gCa maximum la contamination moyenne du lait causée par 1 mégatonne d'énergie de fission.

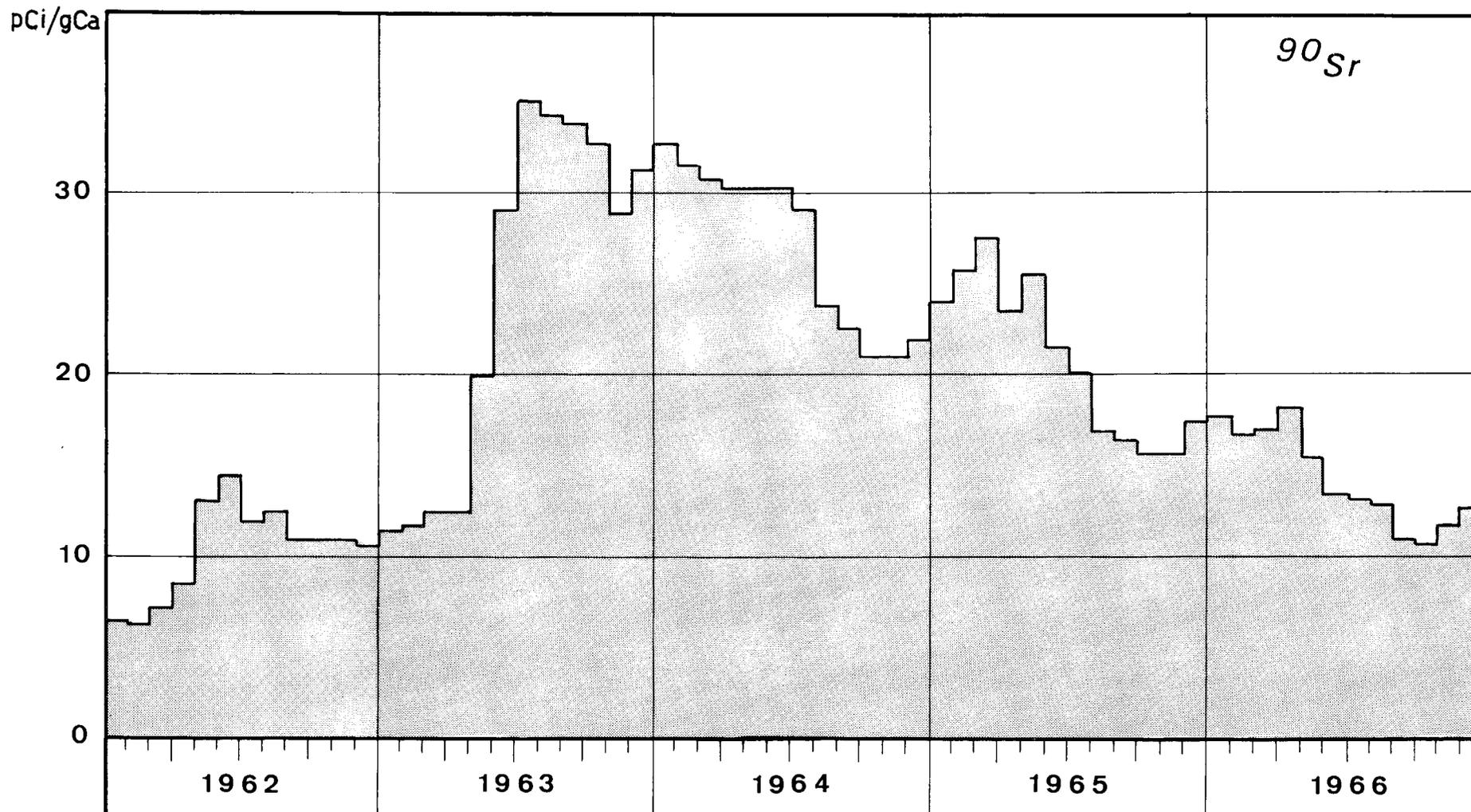


Fig. 12 — ^{90}Sr dans le lait pour l'ensemble de la Communauté.

4.1.1.2 — *Fluctuations observées selon la position géographique*

Si nous admettons que la concentration moyenne des produits de fission dans l'air est constante sur l'ensemble du territoire de la Communauté, les fluctuations observées dans la contamination du lait sont dues en premier lieu aux variations dans la hauteur des pluies.

On peut donc s'attendre à ce que la variabilité des mesures de la contamination du lait soit au moins égale à celle des mesures des hauteurs de pluie; ceci est vrai surtout pour les années pendant lesquelles l'influence des retombées récentes sur la contamination de l'herbe est prépondérante.

A priori, on peut penser que la variabilité des hauteurs mensuelles de pluie est plus élevée que celle des hauteurs totales annuelles. Les fluctuations dans le temps de la contamination du lait (données mensuelles) épousent plus ou moins les fluctuations des retombées récentes selon l'importance prise par celles-ci dans le dépôt cumulé.

Pour vérifier ces hypothèses, on peut calculer l'écart type des hauteurs des précipitations mensuelles d'une part et annuelles d'autre part et les confronter aux écarts types des valeurs de la contamination en strontium-90 du lait. Le nombre de données à traiter est cependant tel qu'il n'est pas possible d'effectuer ce travail dans le cadre de ce rapport. Quelques calculs partiels nous permettent toutefois de faire une comparaison qui, même si elle est grossière, nous paraît utile parce qu'elle nous permet de caractériser ce qui, à notre avis, est la cause principale de la variabilité des résultats de la contamination du lait.

Le seul réseau de surveillance du lait de quelque étendue dont les données se prêtent aisément à une étude statistique, est le réseau italien (14 stations). On trouve que le coefficient de variation de l'ensemble des données mensuelles (12 × 14 stations) de la contamination du lait est de 45 % en 1964 et de 50 % en 1963. La contribution à la variance totale de la variance due à la position géographique est significative, de même que la contribution de la variance due au temps. En effet, lorsqu'on considère les données obtenues chaque mois pour le réseau (14 données par mois), on voit, ce qui est normal, fluctuer fortement les coefficients de variation. On trouve des valeurs comprises entre 27 % et 67 % pour les 24 mois considérés, avec une majorité des valeurs voisines de 50 %.

Considérant par ailleurs les valeurs annuelles obtenues pour les différentes stations du réseau italien de surveillance du lait, on trouve respectivement 33 % et 39 % pour 1964 et 1963.

La variabilité pour la hauteur des pluies a été obtenue grâce aux données publiées par le Ministère italien des Travaux Publics, dans les suppléments annuels au bulletin hydrologique. Pour la moyenne des années 1921 à 1950, le coefficient de variation est 37 %; pour 1964 : 32 % et pour 1963 : 41 %.

La similitude des coefficients de variation pour les valeurs annuelles est frappante et il semble licite d'admettre que la variabilité observée pour la contamination du lait est déterminée en premier lieu, si pas uniquement, par la variabilité des précipitations.

Cette conclusion, obtenue avec les données italiennes, est sans doute valable pour l'ensemble de la Communauté, comme semblent l'indiquer les chiffres suivants :

Pour l'année 1964, la moyenne de la hauteur des précipitations de 66 stations réparties de façon à peu près uniforme sur le territoire de la Communauté, est de 725 mm avec un coefficient de variation de 34 %, ce qui est comparable au coefficient trouvé pour l'Italie pour cette même année (32 %).

En considérant les valeurs mensuelles, nous avons pris les mois d'avril et d'octobre, pour lesquels les hauteurs moyennes de précipitation sont, respectivement, de 60 mm avec un coefficient de variation de 55 % et 115 mm avec un coefficient de variation de 70 %.

Ces coefficients sont à comparer à ceux trouvés pour les valeurs mensuelles des mesures du lait du réseau italien (50 % pour la plupart des valeurs et 67 % pour la plus grande variation).

En conclusion, il semble donc que même les coefficients de variation des données mensuelles de la pluie et du lait soient comparables.

4.1.1.3 — Relation entre la contamination radioactive du lait, l'intensité des retombées et le dépôt au sol

L'étude des niveaux de contamination du lait d'une part et des retombées d'autre part, a d'emblée fait apparaître, il y a une dizaine d'années, que :

C , la contamination du lait pour une période donnée dépendait de F_r , la retombée récente et de F_d , le dépôt total au sol.

La relation la plus simple que l'on peut écrire est :

$$C = p_r F_r + p_d F_d$$

où p_r et p_d sont des facteurs de proportionnalité dont la signification sera précisée plus loin.

L'utilité de cette relation mérite d'être discutée. On l'emploie généralement, d'une part pour évaluer la dose engagée (dose commitment) et, d'autre part, pour « prédire » la contamination du lait. Ce terme « prédiction » se rencontre souvent dans la littérature scientifique lorsque cette formule est discutée. En réalité, le plus souvent, les bornes dans le temps de C et F_r sont identiques, de telle sorte qu'il est impropre de parler de prédiction. L'utilité de cette relation se restreint dès lors à l'évaluation de la contamination du lait dans les régions où l'on ne dispose pas de cette donnée expérimentale mais pour lesquelles F_r et F_d sont connus. Dans ce cas, pour aboutir à la valeur de C , il faudra emprunter les facteurs de proportionnalité trouvés ailleurs. La valeur numérique de ces derniers, revêt donc une importance particulière. Il faut constater ici que les valeurs citées dans la littérature sont très disparates et rarement comparables. Ceci résulte du fait que C , F_r et F_d sont les valeurs moyennes calculées pour des périodes différentes, le choix de la durée de ces périodes étant déterminé uniquement par le coefficient de corrélation obtenu avec les variantes de la relation.

Pour illustrer ce qui précède, on peut citer quelques exemples relatifs à la teneur en strontium-90 du lait.

Pour Kulp et Schulert ⁽⁸⁾ :

- C concentration moyenne du ⁹⁰Sr dans le lait en pCi/gCa pendant la saison de croissance de l'herbe (du 1^{er} avril au 30 septembre),
- F_r la retombée en mCi/km² pendant la période considérée pour C ,
- F_d le total du dépôt au sol en mCi/km² jusqu'au milieu de la saison de croissance considérée pour C .

Pour Scott Russel *et al.* ⁽⁹⁾ et pour le Comité scientifique des Nations Unies pour l'Étude des Effets des Radiations ionisantes ⁽¹⁰⁾ :

- C concentration moyenne de ⁹⁰Sr dans le lait en pCi/gCa pendant une année, de janvier à janvier,
- F_r la retombée en mCi/km² pour la même période,
- F_d la retombée totale sans spécification du moment auquel s'arrête la somme.

Pour de Bortoli *et al.* ⁽¹¹⁾ :

- C concentration moyenne du ⁹⁰Sr dans le lait en pCi/gCa de mai à avril de l'année suivante,
- F_r la retombée en mCi/km² pendant la saison de croissance (avril à septembre inclus),
- F_d la retombée totale au 1^{er} janvier de l'année considérée pour C .

On peut noter que si ces différentes façons de procéder représentent aux yeux de chacun des auteurs le moyen d'obtenir la meilleure corrélation possible pour ses données, elles ont contribué à rendre la signification physique des coefficients p_r et p_d de plus en plus obscure et à rendre impossible toute comparaison directe des valeurs de p_r et p_d trouvées à différents endroits.

En toute rigueur, p_r et p_d sont les coefficients de transfert dans le lait de la retombée directe d'une part et de la retombée accumulée au sol d'autre part. Les valeurs trouvées pour ces deux coefficients de transfert sont chacune des moyennes pondérées des valeurs des coefficients rendant compte des mécanismes réels de transfert de la contamination à l'herbe.

Entre parenthèses, il convient de noter ici qu'il faut connaître également le rapport observé herbe/lait pour être à même d'évaluer les coefficients *de transfert à l'herbe*.

Ainsi, pour p_r , il peut s'agir de taux de rétention directe déterminés par le contact de l'herbe et de la pluie et du taux de passage en retour dans la plante de l'activité déposée sur le sol pendant la période considérée. Ce dernier peut être scindé à son tour en taux de passage couche gazonnée (mat-horizon) → herbe et taux de passage sol → herbe.

Pour p_d , il s'agit des deux derniers mécanismes cités et le problème réside ici dans la fraction des retombées cumulées (F_d) qui participe à chacun d'eux.

Dans ces conditions, on comprend qu'une relation simple composée de deux termes ait peu de chance de refléter correctement la situation réelle. De fait, parmi les nombreuses tentatives réalisées pour améliorer la concordance entre les valeurs observées et calculées de la contamination du lait, la plus connue est celle proposée par les chercheurs anglais de Wantage^(12, 13). Ceux-ci ont réalisé un certain progrès en introduisant un troisième terme tenant compte de l'importance accrue de la dernière fraction des retombées comptabilisée dans F_d (*).

Un autre progrès sensible est réalisé lorsqu'on prend les années du début de la saison de croissance de l'herbe au début de la saison de croissance suivante⁽¹¹⁾.

Le défaut principal de ces relations est qu'elles prennent pour F_d les retombées totales déposées au sol, au lieu de ne considérer que la fraction de l'activité qui participe réellement aux phénomènes de transfert.

Nous avons essayé toute une série de relations basées sur les principes suivants :

- 1° Séparation complète des périodes considérées pour F_r et F_d ;
- 2° Limitation de F_r à la période de croissance de l'herbe ;
- 3° Prise en considération de la décroissance effective de F_d ;
- 4° Importance accrue du dépôt de l'année précédant l'année considérée pour la croissance de l'herbe.

La meilleure corrélation avec les données de la Communauté est obtenue lorsqu'on opère de la manière suivante :

- C moyenne de mai d'une année à avril de l'année suivante, de la concentration de ^{90}Sr dans le lait en pCi/gCa,
- F_r retombées en mCi/km² de ^{90}Sr d'avril à septembre, soit la période de 6 mois débutant un mois avant la période considérée pour C ,
- F_d le total des retombées en mCi/km² de ^{90}Sr précédant celles comptées dans F_r , en tenant compte d'une décroissance annuelle de 15%, les retombées des 12 derniers mois étant prises en totalité et celles des périodes de 12 mois antérieures étant multipliées par 0,85 autant de fois qu'il convient, suivant le schéma de la page 32 (**).

La formule $C = p_r F_r + p_d F_d$ (2) avec $p_r = 1,95$ et $p_d = 0,26$ conduit à un coefficient de corrélation multiple égal à 0,994 pour l'ensemble des données de cinq années.

Le tableau VII permet de comparer les valeurs de C ainsi calculées aux valeurs observées.

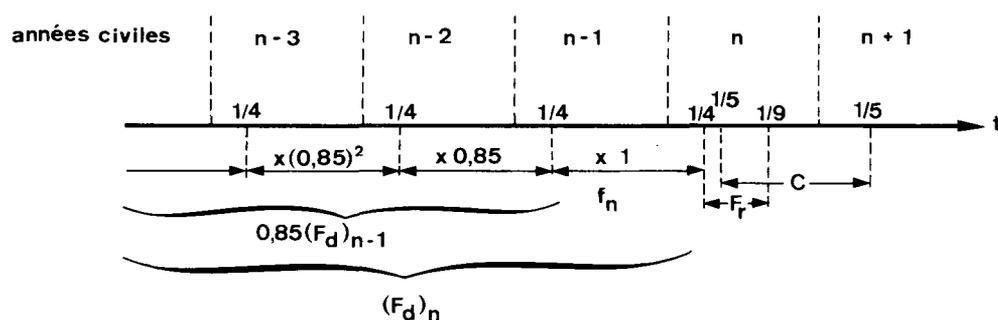
(*) Depuis 1964, on parle dans les rapports (version anglaise) de l'UNSCEAR⁽¹⁰⁾ de retombée « dans le sol », alors que les valeurs considérées sont toujours celles de l'activité déposée.

(**) Peut-être est-il utile de souligner que F_d pour une année est égal à 0,85 fois le F_d de l'année précédente plus les retombées des 12 nouveaux mois (avril à mars), ce qui simplifie les calculs à partir de la 2^e année.

Il est évident que les valeurs des coefficients p_r et p_d ainsi déterminés ne sont pas directement comparables aux valeurs citées par l'UNSCEAR (de 0,8 à 1 pour p_r et de 0,2 à 0,3 pour p_d)⁽¹⁰⁾, puisque les périodes envisagées pour F_r et F_d sont différentes. Nous avons toutefois,

TABLEAU VII
C calculé selon la méthode proposée p. 31

	1962	1963	1964	1965	1966
F_r mCi/km ² pendant saison croissance (du 1/4 au 30/9 de l'année n)	4,89	12,94	7,77	3,83	1,56
F_d mCi/km ² $= 0,85 (F_d)_{n-1} + f_n$ (années : du 1/4 au 31/3)	16,52	22,28	36,25	40,98	39,90
C pCi/gCa valeur moyenne mesurée du 1/5 (n) au 31/4 ($n+1$)	12,3	30,9	25,1	18,3	12,7
$p_d = 0,26$ $p_r = 1,95$ C calculé pCi/gCa	13,7	30,9	24,4	17,9	13,2



à titre indicatif, utilisé la formule de l'UNSCEAR avec les données de la Communauté. Prenant pour F_d la valeur moyenne pour l'année considérée pour C , on trouve respectivement 0,95 et 0,23 pour p_r et p_d et un coefficient de corrélation multiple de 0,839. L'accord avec les valeurs citées par l'UNSCEAR est donc bon, mais la corrélation est moins bonne que celle obtenue par la formule proposée ici. Le tableau VIII permet de comparer les valeurs de C calculées par la formule de l'UNSCEAR aux valeurs observées.

On retiendra que le choix des limites de C , F_r et F_d modifie considérablement p_r et p_d et que la comparaison des p_r et p_d trouvés grâce aux différentes relations n'a, par conséquent, pas de sens. Le problème se complique d'ailleurs encore par le fait que les rapports observés herbe/lait ne sont pas strictement les mêmes d'un endroit à l'autre.

TABLEAU VIII
C calculé selon la méthode de l'UNSCEAR (10)

	1962	1963	1964	1965	1966
F_r mCi/km ² par an (du 1/1 au 31/12)	7,74	17,10	11,42	5,50	2,55
F_d mCi/km ² (valeur moyenne pour l'année du 1/1 au 31/12)	29,55	40,89	54,44	60,82	63,09
C pCi/gCa (valeur moyenne mesurée pour l'année du 1/1 au 31/12)	10,6	24,5	27,1	20,9	14,3
$p_d = 0,23$ $p_r = 0,95$ C pCi/gCa par an calculé par la formule de l'UNSCEAR	14,1	25,6	23,4	19,2	16,9

Signification de p_r et p_d

Nous avons recherché la signification physique des facteurs p_r et p_d et ce qu'ils peuvent nous apprendre en matière de mécanisme de transfert de la radioactivité.

$-p_r = 1,95$ pCi/gCa dans le lait, par mCi/km² déposé pendant la saison de croissance-

Il est généralement admis que le rapport observé lait/herbe (matière sèche) : pCi/l lait / pCi/g herbe = 12 ce qui correspond, pour une teneur moyenne de 1,2 g de Ca par litre de lait, à un rapport 10 entre les pCi/gCa dans le lait et les pCi/g d'herbe.

Nous désignerons par p'_r et p'_d les coefficients analogues à p_r et p_d mais relatifs à l'herbe.

Le coefficient p'_r serait donc 0,195 pCi/g de matière sèche par mCi/km² déposé pendant la saison de croissance. Pour une productivité moyenne d'herbe (matière sèche) de 1000 g/m² par saison (*), ceci correspond à une interception par l'herbe de 0,195 mCi/km² par mCi/km² déposé, soit environ 20% par saison de croissance. Ces 20% de retombée n'atteignent donc pas le sol. Le rapport entre la retombée déposée pendant les six mois de croissance et la retombée de toute une année est en moyenne de 0,74. Sauf autre effet important, la retombée « transportée » dans l'année suivante est donc :

$[0,80$ (fraction disponible dans le sol) $\times 0,74$ (fraction de l'activité déposée pendant la période de croissance) $+ 0,26$ (fraction de l'activité déposée en dehors de la saison de croissance)], soit 85,2% de la retombée totale.

En tenant compte en outre de 2,5% de décroissance radioactive par an, il reste quelque 83% de la retombée « transportée » l'année suivante. Ainsi donc, la formule (2) que nous avons utilisée ne correspond pas à la réalité, plus particulièrement pour la dernière année considérée, puisque nous avons pris totalement la retombée de la dernière année (f_n - schéma p. 32) tandis que pour l'activité provenant des années précédentes et encore disponible, on considérait une décroissance annuelle de 15%. Cependant, ainsi que nous le signalions plus haut cette manière de calculer nous a permis d'obtenir la meilleure corrélation.

p'_r peut être qualifié ici de coefficient de transfert global direct de la retombée dans l'herbe, sans qu'il soit possible de préciser les parts prises par la rétention foliaire et l'absorption par la

(*) Pour 1000 grammes d'herbe par m², 1 mCi/km² correspond à 1 pCi/g d'herbe.

base. Sans doute, la rétention foliaire est-elle prépondérante. Il convient de noter également que la valeur de 20% est tributaire de la valeur moyenne adoptée pour le rendement moyen des pâtures. Faute de données à ce sujet, nous avons retenu 1 kg/m^2 . saison (matière sèche).

— $p_d = 0,26 \text{ pCi/gCa}$ dans le lait par mCi/km^2 .

Pour l'herbe, p'_d devient $0,026 \text{ pCi/g}$ de matière sèche par mCi/km^2 . Avec un rendement moyen de 1000 g/m^2 , ceci correspond à un prélèvement par l'herbe de 2,6% de l'activité F_d par les différents mécanismes de transfert indirect. F_d étant obtenu en considérant une décroissance effective des retombées déposées au sol de 15% par an, on peut, en première approximation, conclure que la disponibilité du strontium diminue d'environ 15% par an.

4.1.2 — CÉSIIUM-137

4.1.2.1 — Évolution de 1962 à 1966

Les résultats des mesures effectuées dans la Communauté ont été rassemblés et publiés par la Commission sous forme de rapports annuels (7).

Les valeurs moyennes mensuelles et annuelles des pCi/l fournies par le tableau VI sont tirées directement de ces rapports, sauf pour 1962 où les pCi/l ont été obtenus en multipliant les pCi/g K par 1,5.

La figure 13 montre l'évolution de l'activité du césium-137 dans les retombées et dans le lait, de 1962 à 1966, pour l'ensemble de la Communauté. Les activités sont représentées en pourcent de l'activité maximum.

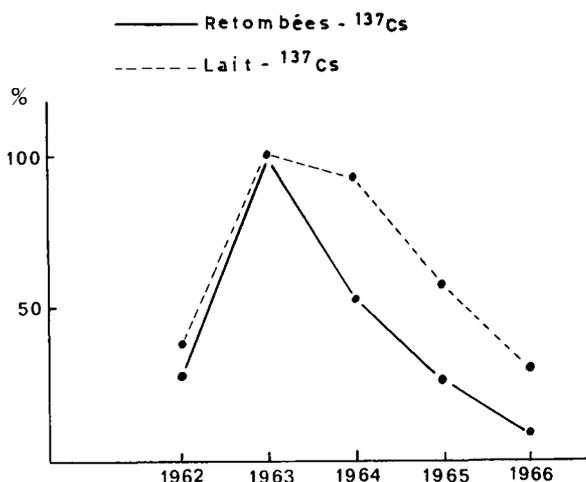


Fig. 13 — Évolution de l'activité du ^{137}Cs dans les retombées et dans le lait pour la Communauté.

La figure 14 donne le détail des valeurs mensuelles de l'activité exprimées en pCi/l .

On note que l'allure générale est comparable à celle du strontium avec cependant une corrélation encore plus étroite entre les courbes d'évolution du césium-137 dans le lait et dans les retombées. Ceci se manifeste par une diminution plus rapide des niveaux de contamination du lait pour le césium-137 que pour le strontium-90 et par un pic plus prononcé pour le césium-137 que pour le strontium-90 pendant les périodes de fortes retombées (pics de 1962 et de 1963).

L'évolution de l'activité en césium-137 se caractérise par les étapes suivantes :

- Au début de 1962, le niveau fluctue autour de 30 pCi/l . Comme dans le cas du strontium-90, l'effet de la reprise des essais nucléaires en 1961 se fait sentir à partir du mois de mai de 1962. Le maximum atteint en 1962 est d'environ 100 pCi/l au mois de juillet. Le niveau moyen

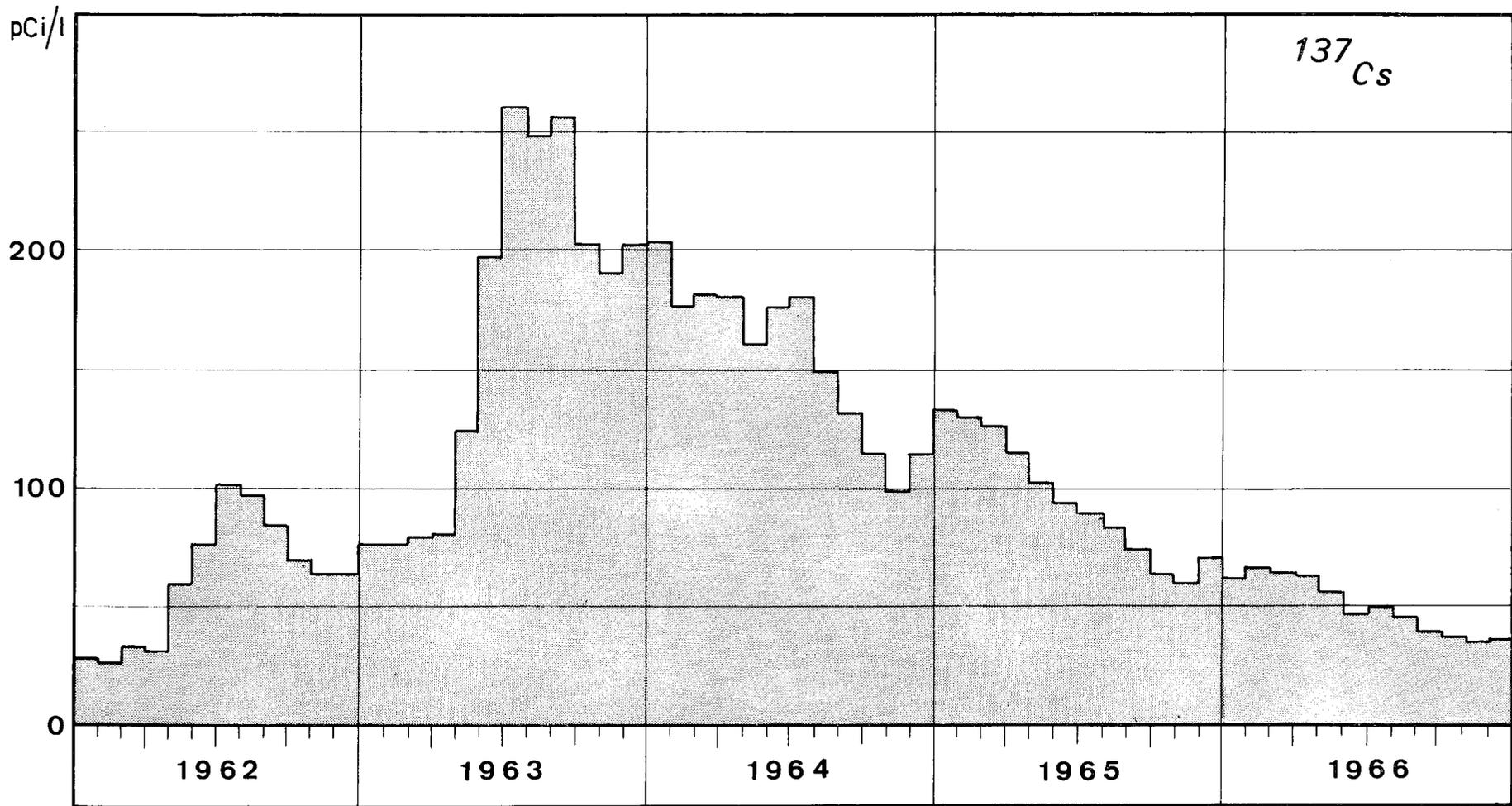


Fig. 14 — ^{137}Cs dans le lait pour l'ensemble de la Communauté.

de mai 1962 à avril 1963 est de 77 pCi/l, soit une augmentation d'un facteur 2,5 par rapport au niveau caractérisant les premiers mois de 1962. Cette augmentation peut être considérée comme étant en accord avec l'augmentation observée pour le strontium-90 (2,7) durant la même période.

- Toutes proportions gardées, une situation analogue s'est reproduite pour la période mi-1963 à mi-1964 puisque, après le pic de 1963, on observe une valeur moyenne de 190 pCi/l.
- Depuis le mois d'août 1964, on observe presque de mois en mois, une diminution de l'activité pour atteindre 110 pCi/l environ en décembre 1964, 70 pCi/l un an plus tard, et 35 pCi/l en décembre 1966.

La contamination moyenne en césium du lait pour la période 1962-1966 a été de 106 pCi/l, dont la quasi-totalité provient des explosions ayant eu lieu depuis 1961.

4.1.2.2 — Relation entre la contamination radioactive du lait, l'intensité des retombées et le dépôt au sol

Comme pour le strontium-90, on peut lier la contamination du lait en césium-137 aux retombées par une relation du type :

$$C = p_r F_r + p_d F_d .$$

Nous alignant sur ce qui a été fait pour le strontium-90, nous définissons :

- C comme la moyenne de mai d'une année à avril de l'année suivante, de la concentration de césium-137 dans le lait en pCi/l,
- F_r comme la retombée en mCi/km² de césium-137, d'avril à septembre soit la période de 6 mois débutant un mois avant la période considérée pour C ,
- F_d comme le total des retombées en mCi/km² de césium-137, précédant celles comptées dans F_r , en tenant compte d'une décroissance annuelle de 45 %, les retombées des 12 derniers mois étant prises en totalité et celles des périodes de 12 mois antérieures étant multipliées par 0,55 autant de fois qu'il convient selon le schéma de la page 32, mais avec un facteur (0,55) au lieu de (0,85).

La formule $C = p_r F_r + p_d F_d$ avec $p_r = 7,01$ et $p_d = 1,03$ conduit à un coefficient de corrélation multiple égal à 0,998 pour l'ensemble des données de quatre années.

Pour comparer les valeurs de p_r et p_d aux valeurs citées par l'UNSCEAR (c'est-à-dire 3,6 pour p_r et 0,65 pour p_d)⁽¹⁰⁾, nous avons refait la corrélation des données communautaires en utilisant la formule de l'UNSCEAR qui s'écrit comme celle que nous préconisons, mais où cette fois :

- C est la concentration moyenne de césium-137 dans le lait, exprimée en pCi/l pour une année de janvier à janvier,
- F_r les mCi/km² retombés pour la période considérée pour C ,
- F_d les mCi/km² retombés pendant la période de 24 mois précédant la période considérée pour C . On trouve dans ces conditions :

$$p_r = 4,48$$

$$p_d = 1,27$$

avec un coefficient de corrélation multiple égal à 0,973 pour l'ensemble des données de quatre années.

Les valeurs citées par l'UNSCEAR sont en fait celles obtenues avec les données relatives à l'Angleterre, c'est-à-dire obtenues grâce à un réseau de surveillance unique. Les différences des valeurs de p_r et p_d , pour la Communauté et pour l'Angleterre, sont dues, dans une certaine

mesure, à un manque de représentativité des données communautaires concernant les retombées de césium-137; la grande variabilité observée pour le césium-137, selon les conditions climatiques⁽¹⁴⁾ en est vraisemblablement la cause principale.

Signification de p_r et p_d

Comme dans le cas du strontium-90,

— p_r est le facteur de proportionnalité tenant compte du passage dans le lait de l'activité déposée pendant la saison de croissance considérée. Le rapport p_r/p_d étant très grand, la corrélation entre F_r et C est très forte.

Il en résulte que, quelle que soit l'hypothèse faite pour calculer F_d le coefficient p_r pour le lait varie peu. Donc, en l'absence d'erreurs systématiques (ce qui est vraisemblable pour les mesures de césium-137), ce coefficient est connu avec une grande précision. On peut dire que chaque mCi/km² de césium-137 retombé pendant la saison de croissance conduit à une contamination moyenne de 7 pCi/l dans le lait. Cette contamination est due aux mécanismes de contamination directs de l'herbe. Ne disposant pas de données suffisantes concernant le rapport observé herbe/lait pour le césium-137, il est difficile de pousser le raisonnement beaucoup plus loin.

On peut cependant encore faire remarquer que, puisque les mécanismes de contamination directs sont presque seuls à entrer en jeu dans le cas du césium, les fluctuations de la contamination de l'herbe et par conséquent du lait en césium-137, sont les reflets des fluctuations des conditions météorologiques. Ceci se traduirait, dans les relations liant la contamination du lait à celle des retombées, par des facteurs de proportionnalité p_r différents d'une région à l'autre, ce qui expliquerait les différences effectivement observées.

— p_d :

— considérant que la corrélation la plus favorable est obtenue en supposant une diminution annuelle de 45 % de l'activité accumulée au sol, et

— considérant en outre que les profils du césium-137 et du strontium-90 dans le sol ne sont pas fondamentalement différents et que selon des expériences conduites en Angleterre, la fraction du césium-137 présent dans le terrain et retrouvé ensuite dans l'herbe, ne représente pas 0,5 % dans les conditions les plus favorables,

on peut admettre que $p_d F_d$ est un terme qui traduit, dans le cas du césium, surtout le phénomène de passage du « mat » végétal à l'herbe. Dans ces conditions, à un facteur près qui tient compte de la quantité de fallout interceptée directement ($\sim 8\%$ pour un rendement de 1 kg de matière sèche au mètre carré), la loi utilisée pour évaluer F_d représente le taux moyen de diminution de la disponibilité du césium dans le « mat » végétal.

En l'absence de données pour l'herbe même et en l'absence de valeurs du rapport observé herbe/lait, il est hasardeux de vouloir tirer d'autres informations des valeurs de p_r et p_d .

4.2 — Contamination du régime en strontium-90

4.2.1 — GÉNÉRALITÉS

Déjà, dans nos rapports annuels, nous avons attiré l'attention sur les problèmes liés à l'évaluation de la contamination du régime alimentaire et il n'est sans doute pas inutile d'y revenir ici.

Rappelons que le but poursuivi est d'estimer la dose annuelle moyenne reçue par la population dans les six pays de la Communauté, causée par l'ingestion d'aliments contaminés. Pour estimer l'ingestion moyenne des radionucléides, on peut procéder à l'analyse,

— soit des rations complètes représentatives de l'alimentation,

— soit de rations « idéales » constituées par un dosage adéquat des aliments de base, ce qui suppose qu'on dispose de données relatives aux consommations moyennes de chacun de ces aliments.

Ces consommations moyennes peuvent être évaluées, soit à partir des bilans des disponibilités alimentaires, soit au moyen d'enquêtes alimentaires. Enfin, dans le cas des rations « idéales », on peut, soit rassembler les divers aliments dans la proportion voulue et les analyser globalement, soit analyser les aliments séparément et faire ensuite une somme pondérée des résultats.

Ce qui précède concerne les méthodes disponibles pour l'étude de l'ingestion moyenne des aliments. Le choix d'une de ces méthodes dépend du but poursuivi. Ainsi, dans les rapports annuels ⁽⁷⁾, nous avons utilisé les disponibilités moyennes des aliments dans chaque pays pour évaluer les apports moyens dans les pays et les comparer.

Par contre, lorsqu'il s'agit d'étudier l'incidence de la composition du régime sur l'apport en radionucléides dans des groupes plus restreints de la population, on ne dispose en général pas de renseignements suffisamment complets au sujet des disponibilités. Dans ce cas, on est obligé de recourir aux enquêtes alimentaires. Cette méthode a été employée dans le cadre du contrat d'association Euratom-C.E.A. pour les travaux effectués en vue de définir les niveaux de contamination admissibles des denrées alimentaires. Les résultats obtenus ont fait l'objet d'un premier rapport (rapport EUR 2768 f). Il nous a paru intéressant de les comparer aux résultats publiés dans les rapports annuels.

Enfin, nous ferons état également des mesures sur des rations entières réelles constituées de repas préparés, faites dans le cadre de « l'Étude comparative du Régime total des Adolescents dans les Pays de la Communauté », dont les résultats seront publiés au cours de l'année 1969.

L'estimation de la dose moyenne à la population due au strontium-90 ne peut se faire sans que l'on connaisse également l'apport moyen de calcium. Dans les rapports annuels, on a utilisé autant que possible les teneurs en calcium qui ont été communiquées à la Commission dans le cadre de la surveillance générale de la radioactivité. Ces données nous permettent, à l'heure actuelle, d'évaluer l'apport en calcium avec une précision suffisante pour les besoins des buts poursuivis par les rapports annuels.

4.2.2 — COMPOSITION DES RÉGIMES

Pour se faire une idée des différences observées d'un pays à l'autre, nous reproduisons au tableau IX des valeurs extraites principalement du rapport annuel EUR 3640. Ces données représentent les disponibilités alimentaires annuelles moyennes de chacun des pays. On constate que l'ingestion moyenne des aliments importants du point de vue de la contamination interne des populations, à savoir le lait et les céréales, peut différer respectivement d'un facteur 2,6 et 1,8 dans les pays de la Communauté, les extrêmes étant les Pays-Bas et l'Italie. Le premier de ces pays se caractérise par une très forte consommation de lait frais et une consommation de produits céréaliers relativement faible. En Italie, par contre, on trouve une situation exactement opposée. Les fluctuations dans le temps de la consommation de ces deux produits sont très faibles et ne modifient guère l'évaluation de la contamination interne. Ce tableau est donc représentatif de la situation pendant les années considérées dans ce rapport.

Les données obtenues par les enquêtes alimentaires sont reprises au tableau X; elles sont extraites du rapport EUR 2768 f ⁽²³⁾. Il convient de préciser que ces résultats encore partiels concernent les relevés faits dans 3725 familles réparties dans onze régions de la Communauté, à raison d'une enquête de 7 jours consécutifs par famille. Ceci correspond donc à 330-340 enquêtes par an et par région et à 28 familles par région et par mois. Les critères utilisés pour le choix des familles sont exposés dans le rapport précité. Rappelons ici que l'on a évité les grandes

villes pour garder le caractère régional des habitudes alimentaires et que les familles sont d'un niveau socio-économique moyen pour ces régions.

TABLEAU IX
Quantités consommées en kg par an et par personne — Disponibilités alimentaires
(1965)

	Belgique/België Luxembourg	Deutschland (B. R.)	France	Italia	Nederland	Plus grand écart	Rapport $\frac{\text{maximum}}{\text{minimum}}$
Lait (*)	115,2	106,5	105,5	64,0	167,7	103,7	2,6
Fromage	6,1	8,0	11,7	8,4	7,8	5,6	1,9
Produits céréaliés	82,3	69,4	87,3	120,5	68,0	52,5	1,8
Fruits	54,2	97,2	75,9	94,1	74,6	43,0	1,8
Légumes (**)	84,4	50,6	119,3	118,1	70,8	68,7	2,4
Pommes de terre	121,1	117,6	89,2	44,5	94,7	76,6	2,7
Tomates (légumes à fruits)	5,0	4,2	9,0	31,0	3,0	28,0	10,3
Viande	61,7	66,0	82,0	34,9	45,2	47,1	2,3
Œufs	18,3	13,4	10,0	8,5	11,3	9,8	2,2

(*) Tenant compte des produits repris dans le rapport EUR 2768 f.

(**) Poids total disponible.

Pour la discussion complète des résultats, nous renvoyons le lecteur au rapport EUR 2768 f⁽²³⁾. Le tableau montre, comme il fallait s'y attendre, que les différences sont plus marquées entre les régions qu'entre les pays. C'est ainsi que la différence la plus grande dans la consommation du lait est observée entre la Frise (Pays-Bas) et la Basilicate (Italie). Elle est d'un facteur 7,5. On rencontre la plus grande différence pour les céréales, également entre ces deux régions, mais en sens inverse, la consommation en Basilicate valant 2,1 fois celle de la Frise.

Les données citées dans le rapport EUR 2768 f montrent aussi que les fluctuations mensuelles de la consommation des aliments importants du point de vue de la contamination radioactive au cours d'une année, sont relativement faibles.

4.2.3 — APPORT DE CALCIUM

Dans les rapports annuels, l'apport total de calcium a été calculé en utilisant, d'une part les disponibilités alimentaires et d'autre part, la teneur en calcium des différents aliments repris dans le bilan.

Rappelons que, dans la mesure du possible, les valeurs prises pour les teneurs en calcium des aliments sont extraites des données envoyées à la Commission lors de la transmission des résultats concernant le strontium-90. Cependant, pour pouvoir établir des bilans complets, on est obligé de recourir à certaines données qui font rarement l'objet de mesures dans le cadre de la surveillance générale de la contamination radioactive des aliments. Tel est le cas notamment de la teneur en calcium du fromage et du lait en poudre. La teneur en calcium des fromages étant élevée et très variable suivant le type, un bilan du calcium ne peut être exact que si l'on tient compte des contributions respectives des différents types de fromages. Comme nous l'avons déjà signalé à maintes reprises⁽⁷⁾, l'exactitude du bilan du calcium dépend de l'exactitude de l'évaluation de la contribution des fromages plutôt que de l'omission de quelques aliments tels que les poissons.

TABLEAU X

Consommation en kg par an et par personne. Enquêtes alimentaires
(voir rapport EUR 2768.f)
(1963 - 1964)

	Belgique/ België		Deutschland (B. R.)	France			Italia			Luxembourg	Nederland	Plus grand écart	Rapport $\frac{\text{maximum}}{\text{minimum}}$
	Flandres	Liège	Hessen	Normandie	Bretagne	Vendée	Friuli	Campania	Basilicata	Luxembourg	Friesland		
Lait	155,0	88,3	93,8	129,0	127,7	103,2	89,6	27,6	24,4	129,4	183,4	159	7,5
Fromage	5,6	8,0	9,1	9,0	2,8	4,8	19,0	4,9	6,4	7,3	8,5	6,3	3,3
Produits céréaliers(*)	88,0	83,0	79,0	98,0	101,0	108,0	101,0	148,0	150,0	88,0	72,0	7,8	2,1
Fruits de table	31,8	46,1	34,5	37,4	32,4	47,0	22,3	48,4	43,4	49,9	47,8	27,6	2,2
Légumes	43,4	43,8	34,1	43,1	44,1	60,3	28,7	31,9	33,4	50,0	38,2	31,6	2,1
Pommes de terre	128,7	110,0	85,0	81,7	71,9	41,5	40,3	17,1	7,3	137,9	65,6	130,6	18,9
Légumes à fruits (tomates, haricots etc.)	9,8	15,3	19,2	18,9	11,5	28,0	17,0	70,4	58,5	14,9	17,2	60,6	7,2
Viande	48,3	46,2	51,4	61,2	71,7	33,9	25,3	17,7	14,0	75,7	28,7	61,7	5,4
Œufs	8,1	7,7	12,0	7,2	6,5	7,9	6,7	3,3	3,6	13,3	6,9	10,0	4,0
Produits de la mer	8,9	6,6	4,6	6,2	7,5	27,6	3,2	6,7	7,1	5,0	3,2	24,4	8,6
Graisses	28,7	25,5	26,0	19,4	24,6	26,5	17,0	20,7	15,9	29,4	19,3	13,5	1,8
Sucre	10,4	10,9	11,3	15,3	14,1	16,1	19,8	6,2	4,4	12,4	23,6	15,4	4,5
Sucreries (confitures)	7,9	10,0	21,8	12,2	5,6	7,0	1,3	0,3	0,1	9,4	7,6	21,7	218,0

(*) En kg de farine panifiable.

Le tableau XI donne les apports annuels de calcium en g par individu, estimés, d'une part, à partir des enquêtes alimentaires régionales et d'autre part, à partir des disponibilités établies sur le plan national.

Outre les bilans, on trouve aussi les contributions des différents types d'aliments pris en considération dans les rapports annuels établis par la Commission et basés sur les valeurs moyennes nationales.

On constate que les bilans nationaux et régionaux sont concordants dans certains pays de la Communauté. C'est le cas pour les pays du Benelux et pour la République fédérale d'Allemagne. En Italie, les différences entre régions sont plus marquées, tandis qu'en France les valeurs des trois régions s'écartent des valeurs nationales. En fait, les régions avaient été choisies en fonction de certaines caractéristiques de régime alimentaire, et non pas pour être représentatives de la consommation nationale.

La concordance entre les valeurs des apports annuels de calcium permet de conclure que les deux méthodes d'évaluation du bilan sont exemptes d'erreurs grossières (dans les teneurs en calcium utilisées, par exemple) pour des aliments qui apportent la majeure partie du calcium. En général, on note une contribution un peu plus élevée de tous les aliments sauf du lait et de ses dérivés dans les valeurs régionales. Cette différence provient sans doute des valeurs plus élevées de la teneur en calcium.

Le tableau XI donne également les bilans régionaux complets, c'est-à-dire ceux qui tiennent compte des contributions du sucre, des graisses, des sucreries et des poissons. On remarque que l'omission de ces aliments dans le bilan n'a qu'une influence minimale : 2,5% en moyenne, 5% au maximum.

4.2.4 — CONTRIBUTION RELATIVE DES ALIMENTS A L'APPORT EN CALCIUM

Le tableau XII donne les contributions en pourcent des différents aliments cités, trouvées suivant les deux méthodes d'évaluation. Les données obtenues sur le plan national sont représentées à la figure 15. On remarque que le lait et ses dérivés apportent de 74,4% à 81,9% du

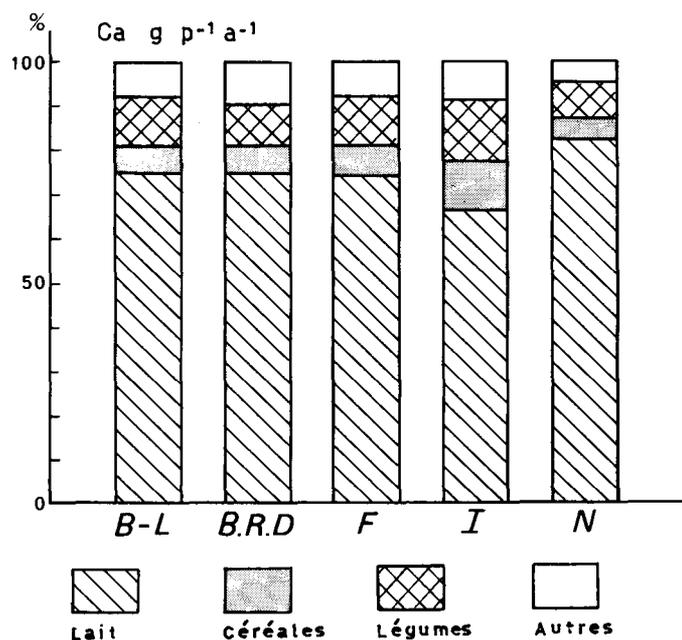


Fig. 15 — Apport de calcium par les divers éléments du régime dans l'Union Économique Belgo-Luxembourgeoise, en République fédérale d'Allemagne, en France, en Italie et aux Pays-Bas (valeurs de l'année 1965).

TABLEAU XI
Apport de calcium en g par an et par personne

	Union Économique Belgo-Luxembourgeoise			Deutschland (B. R.)	France			Italia			Nederland
	Vlaanderen	Liège	Luxembourg	Hessen	Normandie	Bretagne	Vendée	Friuli	Campania	Basilicata	Friesland
Lait	189,1	115,1	151,5	123,7	157,3	150,9	122,9	106,6	32,9	28,8	238,2
Fromage	31,7	36,3	34,4	42,0	43,3	18,5	25,5	64,1	28,4	56,9	63,8
Céréales	26,9	23,0	12,6	20,1	16,3	18,0	17,8	13,8	24,3	22,6	24,4
Fruits de table	4,3	7,4	6,6	8,6	4,0	3,3	5,4	3,4	7,9	8,0	9,2
Légumes (*)	23,6	27,3	33,2	16,0	25,7	21,5	35,0	18,0	32,1	35,4	13,9
Pommes de terre	19,7	16,5	13,7	8,0	5,7	5,0	2,9	3,2	1,4	0,4	6,6
Légumes à fruits (**)	3,5	5,1	4,6	6,1	6,9	4,4	20,3	8,4	17,8	14,2	5,6
Viande	4,5	4,2	7,6	5,2	5,9	7,0	3,1	2,4	1,6	1,1	3,0
Œufs	4,4	4,2	7,5	6,7	3,6	3,3	0,4	3,4	5,3	1,5	4,1
TOTAL	307,7	239,1	271,7	236,4	268,7	231,9	233,3	223,3	151,7	168,9	368,8
TOTAL (***)	312,8	246,4	279,6	245,6	272,3	235,8	245,6	225,9	154,4	174,5	377,0
	Union Économique Belgo Luxembourgeoise			Deutschland (B. R.)	France			Italia			Nederland
Lait	152,7			151,0	155,3			76,8			226,6
Fromage	38,5			37,6	71,6			66,7			50,7
Céréales	14,0			13,9	20,1			22,9			17,0
Fruits	6,5			11,7	9,1			11,3			9,0
Légumes	14,2			10,1	23,9			23,6			16,4
Pommes de terre	12,1			11,8	8,9			4,5			9,5
Légumes à fruits	0,7			0,6	1,2			4,3			0,4
Viande	7,4			7,9	9,8			4,2			5,4
Œufs	10,6			6,7	5,0			4,3			3,8
TOTAL	256,7			251,3	304,9			218,6			338,8

(*) Total des légumes à feuilles et des légumes à racines.

(**) C'est-à-dire surtout tomates et haricots verts.

(***) Y compris le sucre, les sucreries, les graisses et les produits de la mer.

TABLEAU XII
Contribution relative des différents aliments à l'apport de calcium

	Union Économique Belgo-Luxembourgeoise			Deutschland (B. R.)	France			Italia			Nederland
	Vlaanderen	Liège	Luxembourg	Hessen	Normandie	Bretagne	Vendée	Friuli	Campania	Basilicata	Friesland
Lait	61,4	48,1	55,8	52,3	58,6	65,1	52,7	47,7	21,7	17,1	64,6
Fromage	10,3	15,2	12,7	17,8	16,1	8,0	10,9	28,7	18,7	33,7	17,3
Total lait + fromage	71,7	63,3	68,5	70,1	74,7	73,1	63,6	76,4	40,4	50,8	81,9
Céréales	8,7	9,6	4,6	8,5	6,1	7,7	7,6	6,2	16,0	13,4	6,6
Fruits de table	1,4	3,2	2,4	3,6	1,5	1,4	2,3	1,5	5,2	4,7	2,5
Légumes	7,7	11,4	12,2	6,8	9,5	9,3	15,0	8,1	21,2	21,0	3,8
Pommes de terre	6,4	6,9	5,0	3,4	2,1	2,2	1,3	1,4	0,9	0,2	1,8
Légumes à fruits	1,2	2,1	1,7	2,6	2,6	1,9	8,7	3,8	11,7	8,4	1,5
Viandes	1,5	1,8	2,8	2,2	2,2	3,0	1,3	1,1	1,1	0,6	0,8
Œufs	1,4	1,7	2,8	2,8	1,3	1,4	0,2	1,5	3,5	0,9	1,1
Lait	59,5			60,1	50,9			35,1			66,9
Fromage	15,0			15,0	23,5			30,5			15,0
Total lait + fromage	74,5			75,1	74,4			65,6			81,9
Céréales	5,5			5,5	6,6			10,5			5,0
Fruits de table	2,5			4,7	3,0			5,2			2,7
Légumes	5,5			4,0	7,8			10,8			4,8
Pommes de terre	4,7			4,7	2,9			2,0			2,8
Légumes à fruits	0,3			0,2	0,4			2,0			0,1
Viandes	2,9			3,1	3,2			1,9			1,6
Œufs	4,1			2,7	1,6			2,0			1,1

calcium total, sauf en Italie où leur contribution est de 65,6%. Les données régionales voient l'apport par les produits laitiers fluctuer entre 63,3% et 81,9%, sauf pour les régions italiennes de la Campanie et de la Basilicate où il n'atteint, respectivement, que 40,4% et 50,8%. Il est à noter que le Frioul se caractérise par une contribution relativement assez élevée : 76,4%.

Pour les *céréales* sur le plan national, les contributions varient entre 5,0 et 6,6%, sauf pour l'Italie où elle est de 10,5%. Pour les régions, les extrêmes sont observés au Luxembourg (4,6%) et en Campanie (16,0%).

Enfin, il convient de noter que les *légumes à feuilles et à racines* ont une contribution dépassant 10% en Vendée (15%), en Campanie (21,2%) et en Basilicate (21,0%).

Tous les autres aliments contribuent relativement peu à l'apport en calcium.

Les cas extrêmes, dans l'analyse des données régionales, de la Frise (apport de 81,9% par le lait et dérivés, 6,6% par les céréales) et de la Campanie (40,4% par le lait et 16,0% par les céréales) sont représentés dans la partie inférieure de la figure 16, en même temps que les données du Frioul et que les données nationales des Pays-Bas et de l'Italie.

4.2.5 — APPORT DES PICOCURIES DE STRONTIUM-90

Les limites de confiance des valeurs des apports pour *l'ensemble du régime* sont extrêmement difficiles à évaluer. Elles dépendent principalement de la précision et de l'exactitude des données pour le lait, et dans une moindre mesure, pour les céréales et les légumes.

En ce qui concerne l'activité du lait, la concordance entre les valeurs moyennes pour les différents pays de la Communauté nous autorise à estimer la précision des résultats à $\pm 20\%$ environ. Les contributions respectives sont représentées (Tableau XIII) par des nombres calculés, dont seuls un ou deux chiffres sont significatifs. Les fluctuations observées d'une année à l'autre pour les *différents aliments* sont dues en partie à ces marges d'erreur et en partie aux variations du niveau de contamination. Elles sont relativement faibles pour certains aliments, tels que le lait et ses dérivés et élevées pour d'autres aliments, tels que les légumes. Ceci est dû à la conjonction des difficultés d'échantillonnage et d'analyse.

Toutes les données utilisées ici sont extraites des rapports annuels⁽⁷⁾. Il convient cependant de remarquer que les valeurs du lait et du fromage indiquées ici pour la Belgique en 1963 ont été majorées de 15% pour tenir compte du rendement chimique des analyses estimé à 85%, ce qui n'avait pas été fait dans les rapports annuels.

Le tableau XIII donne une vue d'ensemble des quantités de strontium-90 ingéré avec les aliments pendant la période 1963 à 1966 par les habitants des différents pays de la Communauté. En divisant l'apport de strontium total par les quantités de calcium ingéré, on obtient les valeurs moyennes des pCi/gCa. Le tableau est complété par une évaluation des moyennes pour l'ensemble de la Communauté, tenant compte du nombre d'habitants dans chaque pays.

Union Economique Belgo-Luxembourgeoise

L'apport total est passé de 9 800 pCi par personne et par an en 1963 à 5 700 pCi par personne et par an en 1966. On note que l'augmentation de l'apport dû à l'ingestion des produits céréaliers, en 1964, compense la diminution de l'apport dû au lait et au fromage. L'année 1964 est comparable à l'année 1963, année des fortes retombées. On note par ailleurs que l'apport dû aux légumes n'a que peu tendance à diminuer. Tenant compte de l'incertitude liée aux valeurs obtenues, on pourrait même le considérer comme constant.

République fédérale d'Allemagne

L'apport total est passé de 12 000 pCi par personne et par an en 1963 à 6 200 pCi par personne et par an en 1966. Pour 1963, la valeur pour les fruits est probablement excessive.

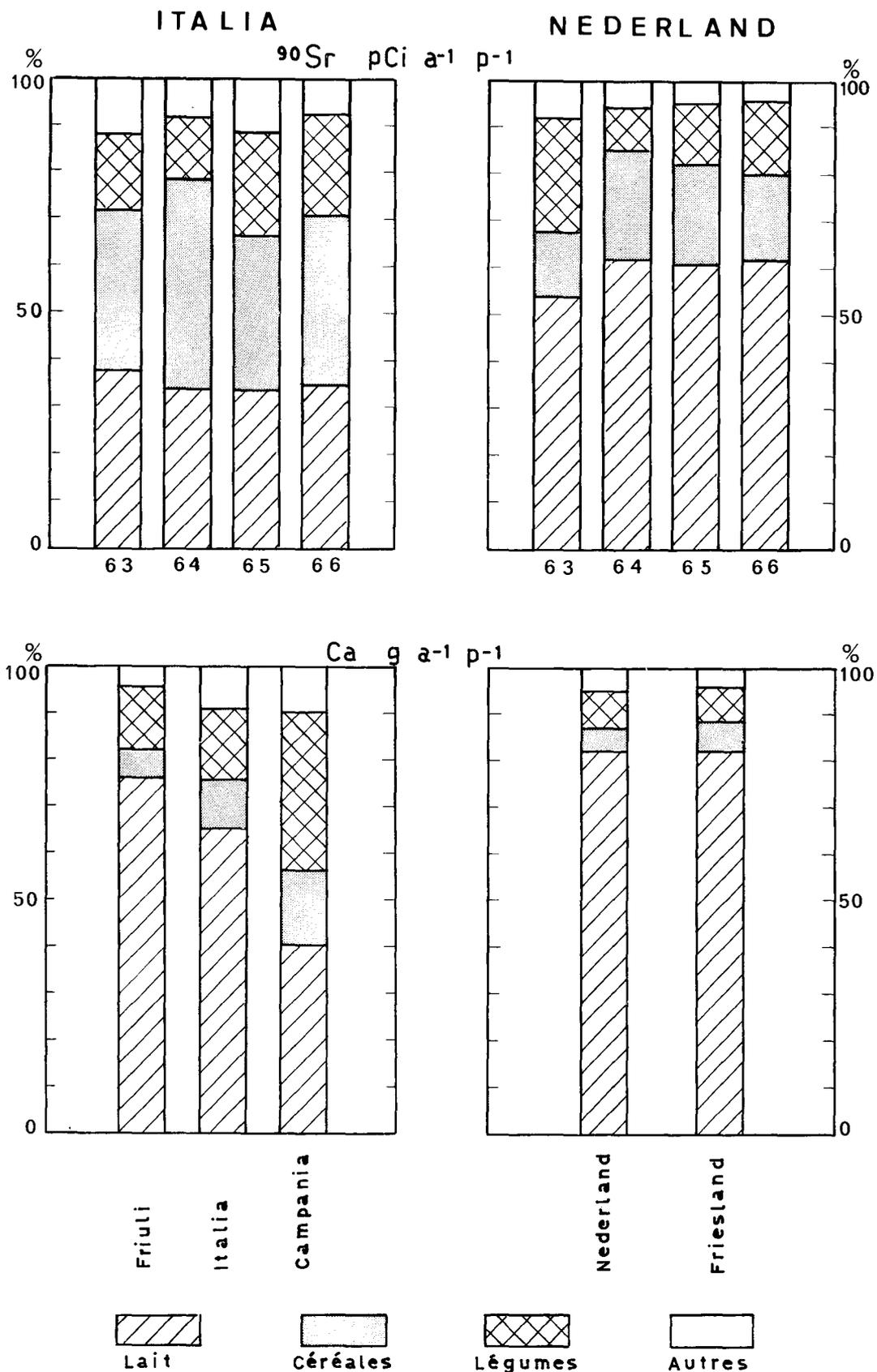


Fig. 16 — Apport de ^{90}Sr en Italie et aux Pays-Bas de 1963 à 1966 et apport de Ca en Italie et aux Pays-Bas (valeurs nationales et régionales).

	Union Économique Belgo-Luxembourgeoise				Deutschland (B. R.)		
	1963	1964	1965	1966	1963	1964	1965
Lait	4 009	3 515	2 903	1 965	4 149	4 238	3 173
Fromage	1 043	959	728	593	941	1 067	790
Produits céréaliers	2 137	3 021	2 189	1 251	3 440	3 821	2 228
Fruits	664	186	255	248	1 552	878	603
Légumes (*).	991	1 144	1 443	1 151	911	856	760
Pommes de terre.	680	393	545	419	670	642	788
Viande	129	210	173	64	128	140	132
Œufs	152	167	68	33	134	94	40
Total.	9 805	9 595	8 304	5 724	11 925	11 736	8 514
gCa/individu.an	246,6	249,7	256,7	257,7	255,5	257,9	251,3
pCi/gCa	39,8	38,4	32,3	22,2	46,7	45,5	33,9

(*) Total des légumes à feuilles et des légumes à racines.

(**) Moyennes pondérées.

	Union Économique Belgo-Luxembourgeoise				Deutschland (B. R.)		
	1963	1964	1965	1966	1963	1964	1965
Lait	40,8	36,6	35,0	34,3	34,8	36,1	37,3
Fromage	10,7	10,0	8,7	10,4	7,9	9,1	9,3
Lait + fromage	51,5	46,6	43,7	44,7	42,7	45,2	46,6
Produits céréaliers	21,8	31,5	26,3	21,8	28,8	32,5	26,1
Fruits	6,8	1,9	3,1	4,3	13,0	7,5	7,1
Légumes (*).	10,1	11,9	17,4	20,1	7,7	7,3	8,9
Pommes de terre.	6,9	4,1	6,6	7,3	5,6	5,5	9,3
Viande	1,3	2,2	2,1	1,1	1,1	1,2	1,5
Œufs	1,6	1,7	0,8	0,6	1,1	0,8	0,5

(*) Total des légumes à feuilles et des légumes à racines.

France

Les valeurs trouvées pour la France pour l'apport total fluctuent entre 14 200 et 8 200 pCi par an et par individu. Ces valeurs sont élevées; on constate que les valeurs moyennes obtenues à partir des données apportées par les autorités françaises pour l'activité du lait sont plus élevées que les moyennes obtenues pour les autres pays de la Communauté. L'explication pourrait en être trouvée dans les caractéristiques du réseau de prélèvement. De plus, la contribution due aux légumes paraît très importante.

personne et par an

France			Italia				Nederland				Communauté M (**)			
1964	1965	1966	1963	1964	1965	1966	1963	1964	1965	1966	1963	1964	1965	1966
4 653	4 607	2 752	1 566	2 010	1 419	983	5 875	6 009	3 867	2 713	3 571	3 794	3 094	2 028
2 234	2 127	1 407	1 313	1 572	1 234	908	1 341	1 388	867	613	1 361	1 541	1 278	903
4 405	2 273	1 578	2 541	4 602	2 531	1 950	1 854	2 685	1 612	1 022	2 914	4 081	2 282	1 513
292	144	301	803	690	819	377	856	427	269	127	1 030	599	499	367
1 074	1 566	1 635	959	1 027	1 255	1 021	2 653	906	781	564	1 663	982	1 158	1 048
504	473	395	175	317	409	109	519	234	246	278	493	471	546	475
179	164	96	67	74	70	40	96	112	41	54	116	134	119	72
100	30	20	85	85	26	20	120	108	34	23	111	98	34	24
13 441	11 384	8 184	7 509	10 377	7 763	5 408	13 314	11 869	7 717	5 394	11 259	11 700	9 010	6 430
288,7	304,9	290,8	209,5	208,4	218,6	234,5	331,4	338,6	338,8	329,5	258,0	257,0	262,6	259,1
46,6	37,3	28,1	35,0	49,8	35,5	23,1	40,2	35,1	22,8	16,4	43,6	45,5	34,3	24,8

et de strontium

France			Italia				Nederland				Communauté			
1964	1965	1966	1963	1964	1965	1966	1963	1964	1965	1966	1963	1964	1965	1966
34,6	40,4	33,6	20,9	19,5	18,3	18,2	44,1	50,6	50,1	50,3	31,7	32,4	34,3	31,5
16,6	18,7	17,2	17,5	15,1	15,9	16,8	10,2	11,7	11,3	11,4	12,1	13,2	14,2	14,0
50,2	59,1	50,8	38,4	34,6	34,2	35,0	54,3	62,3	61,4	61,7	43,8	45,6	48,5	45,5
32,8	20,0	19,8	33,8	44,3	32,6	36,1	13,9	22,6	20,9	18,9	25,9	34,9	25,3	23,5
2,2	1,3	3,7	10,7	6,6	10,5	7,0	6,4	3,6	3,5	2,4	9,1	5,1	5,5	5,7
8,0	13,8	20,0	13,8	9,9	16,2	18,9	19,9	7,6	10,1	10,4	14,8	8,4	12,8	16,3
3,8	4,1	4,8	2,3	3,1	5,3	2,0	3,9	2,0	3,2	5,2	4,4	4,0	6,1	7,4
1,3	1,4	1,2	0,9	0,7	0,9	0,7	0,7	1,0	0,5	1,0	1,0	1,2	1,3	1,1
0,7	0,3	0,2	1,1	0,8	0,3	0,4	0,9	0,9	0,4	0,4	1,0	0,8	0,4	0,4

Italia

L'apport annuel maximum est observé en 1964, soit 10 400 pCi par an et par individu. Ceci est dû à l'importance de la consommation de céréales dans ce pays. La consommation de la récolte de 1963, la plus contaminée, fait augmenter la contribution des céréales en 1964. Elle dépasse celle du lait et de ses dérivés. On note la contribution importante due aux légumes.

L'apport total est revenu à 5 400 pCi par an et par individu en 1966.

	Union Économique Belgo-Luxembourgeoise				Deutschland (B. R.)		
	1963	1964	1965	1966	1963	1964	1965
pCi/gCa régime	39,8	38,4	32,3	22,2	46,7	45,5	33,9
pCi/gCa lait	27,3(*)	24,9	18,9	12,9	26,5	28,0	21,0
$\frac{\text{pCi/gCa régime}}{\text{pCi/gCa lait}}$	1,46	1,54	1,71	1,72	1,76	1,62	1,61

(*) Corrigé de 15%.

(**) Moyennes pondérées.

Pays-Bas

De 13 300 pCi par an et par individu en 1963, on passe à 5 400 pCi par an et par individu en 1966. Ceci est la diminution la plus importante observée dans les Pays de la Communauté. Elle est à mettre en relation avec l'importance prise aux Pays-Bas par l'apport de ^{90}Sr par le lait et ses dérivés.

Communauté

Les moyennes obtenues après pondération par le nombre d'habitants de chaque pays, s'échelonnent entre 11 700 pCi par an et par individu en 1964 et 6 400 pCi par an et par individu en 1966.

4.2.6 — CONTRIBUTIONS RELATIVES DES DIFFÉRENTS ALIMENTS

A L'APPORT EN PICOCURIES (tableau XIV, fig. 17)

Sur le plan de la Communauté, on note que le *lait* et le *fromage* apportent en moyenne pour les années 1963 à 1966, quelque 45% de l'apport total, les *céréales* quelque 25%, sauf en 1964 où leur contribution s'élève à 35%, l'ensemble des *légumes* et *pommes de terre* entre 12% et 24% selon l'année. Ces trois types d'aliments représentent environ 90% de l'apport total.

Les différences observées d'un pays à l'autre sont faibles pour la Belgique, le Luxembourg, la République fédérale d'Allemagne. Pour illustrer les différences entre l'Italie et les Pays-Bas, nous avons porté en graphique (fig. 16, partie supérieure) l'ensemble des données de ces deux pays. Les conséquences en seront discutées plus loin.

4.2.7 — RAPPORT DES pCi/gCa DUS AU ^{90}Sr DANS LE RÉGIME

La radioactivité déposée dans le squelette étant proportionnelle à la « dilution » du strontium-90 dans le calcium du régime, la meilleure façon d'évaluer le risque lié à l'ingestion de strontium-90 avec le régime, est de l'exprimer en termes d'activité de strontium-90 ingérée par poids de calcium dans le régime.

Le tableau XV récapitule les valeurs trouvées pour le rapport des pCi/gCa dans le régime de 1963 à 1966.

Pour la Communauté, la moyenne est d'environ 45 pCi/gCa pour 1963 et 1964. En 1965, elle est de 34 pCi/gCa et en 1966 de 25 pCi/gCa, ce qui représente une diminution de 45% par rapport au maximum de 1964.

France			Italia				Nederland				Communauté (**)			
1964	1965	1966	1963	1964	1965	1966	1963	1964	1965	1966	1963	1964	1965	1966
46,6	37,3	28,1	35,0	49,8	35,5	23,1	40,2	35,1	22,8	16,4	43,6	45,5	34,3	24,8
33,8	29,7	19,7	20,3	27,2	18,5	12,2	25,5	26,7	17,1	12,1	25,5	29,2	22,3	15,3
1,38	1,26	1,43	1,76	1,83	1,92	1,89	1,58	1,31	1,33	1,36	1,71	1,56	1,54	1,62

L'évolution observée dans les pays de la Communauté est représentée dans la partie supérieure de la figure 18. Elle diffère selon l'importance relative du lait et des céréales dans le régime. Les pCi/g Ca dans le lait figurent dans la partie inférieure du graphique. Pour la Belgique,

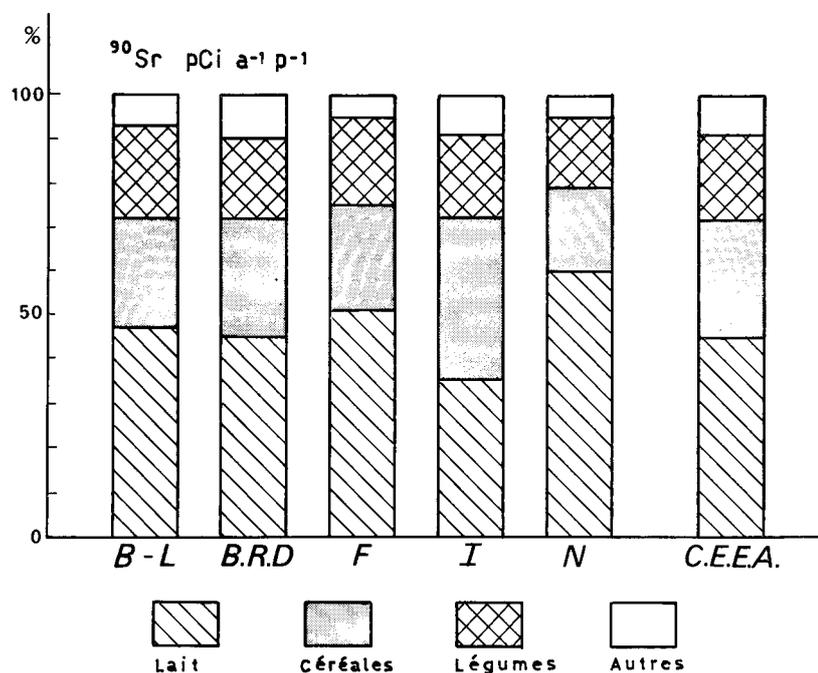


Fig. 17 — Apport de ^{90}Sr par les divers éléments du régime dans l'Union Économique Belgo-Luxembourgeoise, en République fédérale d'Allemagne, en France, en Italie, aux Pays-Bas et pour l'ensemble de la Communauté — Moyennes de 1963 à 1966.

la République fédérale d'Allemagne, la France, on a observé en gros l'évolution décrite plus haut pour la Communauté. En Italie, le maximum, qui est en même temps le maximum maximorum, soit 50 pCi/g Ca, a été atteint en 1964; ceci est à mettre en relation avec la consommation des produits céréaliers de la récolte de 1963. Aux Pays-Bas, où l'apport de calcium par le lait est important, les valeurs observées sont généralement les plus basses.

Pour l'ensemble des quatre années, la moyenne est d'environ 38 pCi/gCa pour la République fédérale d'Allemagne, la France et l'Italie. Pour la Belgique, on trouve 33 pCi/gCa (-13%) et pour les Pays-Bas 29 pCi/gCa (-24%).

Sur le plan sanitaire, ces différences entre les moyennes nationales sont à considérer comme minimales. Elles montrent qu'en moyenne, ni les habitudes alimentaires, ni les caractéristiques météorologiques et écologiques des pays de la Communauté ne sont suffisamment différentes pour entraîner des écarts sensibles du point de vue de la situation radiologique créée par les retombées des essais nucléaires.

L'évaluation sur le plan régional est quelque peu difficile par suite du manque de données concernant la contamination des aliments dans ces régions. Nous avons vu que parmi les régions

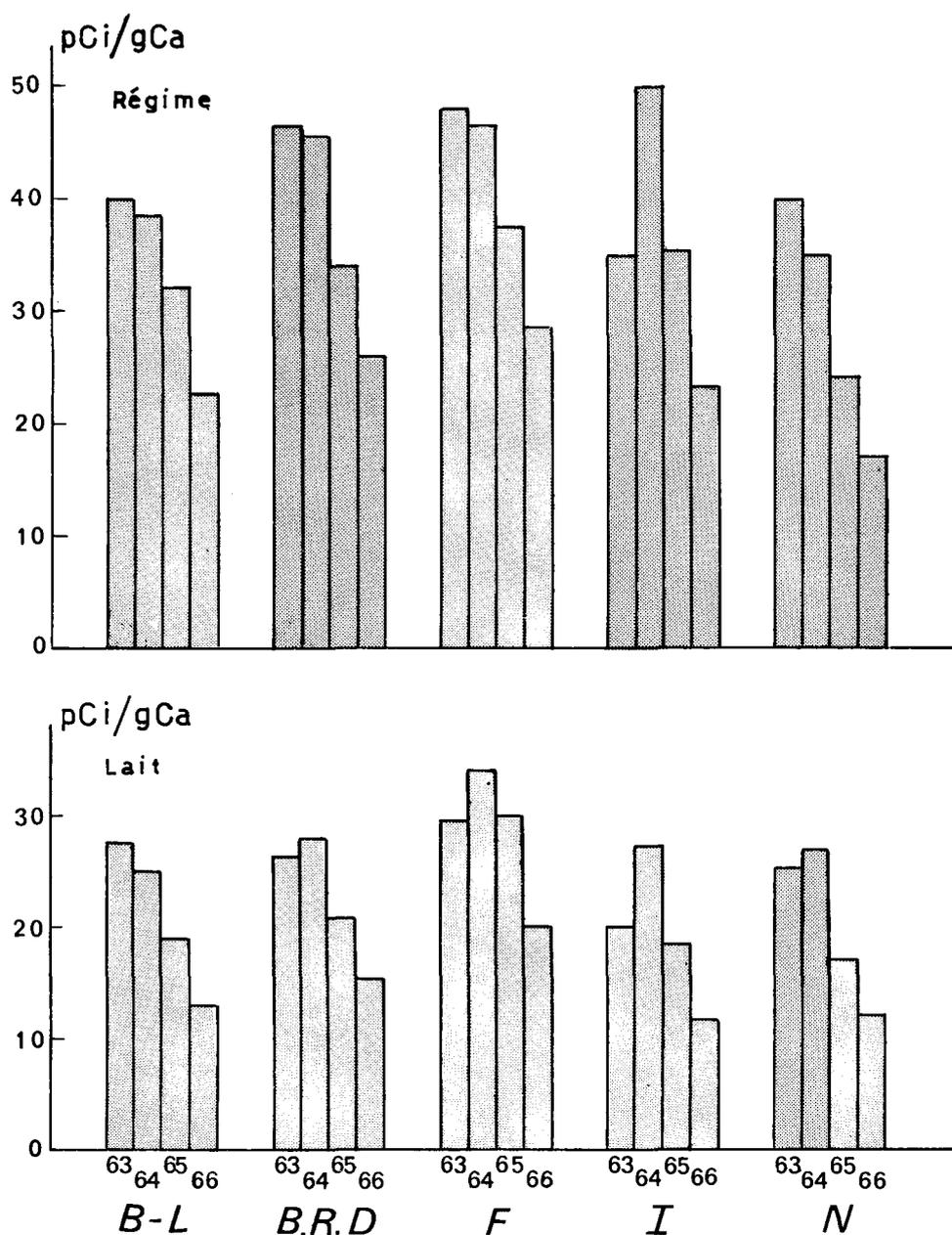


Fig. 18 — Évolution de la contamination du régime et du lait en ^{90}Sr dans l'Union Économique Belgo-Luxembourgeoise, en République fédérale d'Allemagne, en France, en Italie et aux Pays-Bas.

étudiées, seules les régions choisies en France et en Italie différaient sensiblement des moyennes nationales en ce qui concerne les habitudes alimentaires. En France, nous avons pris la Normandie et la Vendée en 1964 comme exemples. Utilisant les tables de l'enquête alimentaire pour les quantités consommées et les données moyennes françaises pour la contamination des aliments, on obtient pour la Normandie 48 pCi/gCa et pour la Vendée 50 pCi/gCa, soit aux approximations près, les mêmes valeurs que celles obtenues pour la France en 1964. Lorsqu'on utilise les valeurs de la radioactivité du lait et des céréales trouvées en 1964 dans ces régions, on obtient respectivement 39 et 48 pCi/gCa. Nous avons fait les mêmes calculs pour le Frioul et la Campanie. Par la première façon de procéder, on obtient respectivement 42 et 57 pCi/gCa, par la seconde deux fois 54 pCi/gCa, alors que la moyenne pour l'Italie est de 50 pCi/gCa en 1964. On constate que les écarts sont relativement faibles. En fait, par un effet de compensation, les valeurs régionales des pCi/gCa dans le régime ne s'écartent pas d'une façon notable des valeurs moyennes.

Si l'on considère par exemple l'Italie méridionale, on peut dégager les caractéristiques suivantes :

- consommation importante de céréales dont la contamination doit être en période de fortes retombées (récolte 1963) relativement plus faible que dans les autres régions climatiques par suite de l'allure particulière des précipitations mensuelles. Le graphique 19 donne la répartition des pluies en Italie méridionale (moyennes de 1962 à 1966). On voit que plus de 2/3 des précipitations annuelles (en moyenne 1 m d'eau) tombent pendant les mois qui interviennent peu dans la contamination directe des céréales;
- consommation faible de lait et de ses dérivés, lait dont la contamination est aussi moins élevée que dans les autres régions climatiques;
- la contamination des céréales exprimée en pCi/gCa étant de 6 à 7 fois plus élevée que celle du lait, la consommation importante de céréales est donc un facteur déterminant et il n'est pas étonnant d'observer dans une telle région une valeur relativement élevée des pCi/gCa dans le régime. Cette valeur n'est cependant pas aussi élevée que ne le laisseraient supposer les mCi/km² déposés.

L'autre possibilité d'arriver à des valeurs relativement élevées est à l'opposé de la première. Elle est constituée par les zones montagneuses dans lesquelles la consommation de lait est assez élevée. Ce lait est plus contaminé (de 2 à 3 fois plus que le lait obtenu dans les pâturages de plaine) par suite de la superposition de l'effet dû aux précipitations abondantes et de l'effet dû aux caractéristiques particulières des pâtures de montagne. L'exemple le plus complet peut être reconstitué à partir des rapports annuels publiés par le Service fédéral d'Hygiène publique de la Confédération Helvétique⁽¹⁵⁾. Utilisant les valeurs de la radioactivité du lait à Mürren Oberland Bernois (altitude 1650 m) et de la radioactivité des récoltes suisses de céréales de 1963 et de 1964 d'une part et les consommations moyennes pour la Suisse des céréales, du lait et du fromage, on peut calculer qu'en 1964 la contamination du régime en ⁹⁰Sr était de 90 pCi/gCa environ. Cette valeur montre clairement que le facteur dominant est constitué par l'importance des précipitations (plus de 2 m par an) et les conditions écologiques particulières.

Des situations analogues peuvent se rencontrer dans toutes les zones des pays de la Communauté possédant les caractéristiques décrites plus haut, c'est-à-dire certaines zones alpines de l'Italie, de la France et de la République fédérale d'Allemagne.

En résumé, on peut caractériser trois situations différentes :

- 1) celle des régions de montagne à fortes précipitations annuelles : contamination du régime en 1964 de 80 à 100 pCi/gCa;
- 2) celle des régions méridionales à faible consommation de lait et consommation de céréales importante : contamination du régime en 1964 de 50 à 60 pCi/gCa;

3) celle des régions qui n'appartiennent pas aux régions précédentes. Les valeurs des pCi/gCa dans le régime y sont relativement plus basses. Cette situation s'applique à la Belgique, aux Pays-Bas, au Luxembourg, au nord de l'Italie, à la France à l'exception du Massif Central et de l'est du pays et à la plus grande partie de la République fédérale d'Allemagne. Pour 1964, les pCi/gCa dans le régime se situent autour de 40.

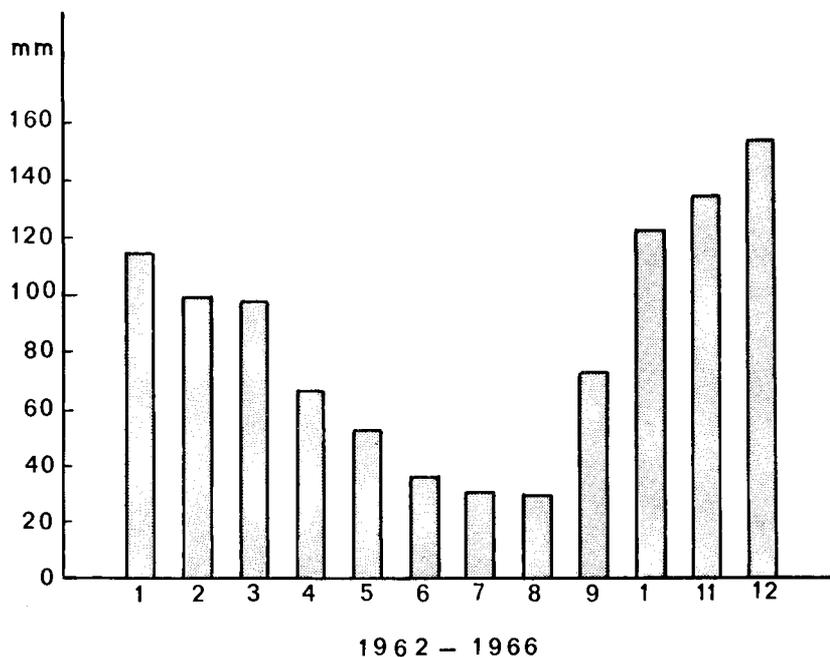


Fig. 19 — Pluies en Italie méridionale — Moyennes de 1962 à 1966.

Le tableau XV donne également les quantités de ^{90}Sr exprimées en pCi/gCa trouvées pour le lait et les valeurs du rapport (pCi ^{90}Sr /g Ca) régime / (pCi ^{90}Sr /g Ca) lait. Parmi ces données, on note que la plupart oscillent autour de 1,7 sauf pour l'Italie et les Pays-Bas qui, pour des raisons désormais bien connues, voient ce rapport, soit augmenter, soit diminuer dans le temps. Les valeurs de la France sont probablement systématiquement légèrement trop faibles.

4.2.8 — COMPARAISON AVEC LES DONNÉES OBTENUES PAR ANALYSE DU RÉGIME COMPLET

Les valeurs du rapport pCi/gCa données au tableau XVI ont été obtenues par analyse et mesure du ^{90}Sr dans le régime complet des adolescents dans les pays de la Communauté. Ces mesures ont été effectuées dans le cadre d'une étude comparative de la contamination du régime des adolescents dont les résultats complets sont en voie de publication. Seuls les résultats obtenus pour 1966 dans 10 communautés scolaires sont reproduits ici.

Le tableau XVI donne également la consommation moyenne annuelle de calcium. On note qu'elle est généralement beaucoup plus élevée (~ 1,6 fois) que la consommation moyenne par personne pour l'ensemble de la population.

Nonobstant ces différences dans l'apport de calcium, on remarque que les valeurs des pCi/gCa calculées pour la population (voir tableau XV) et celles obtenues expérimentalement pour les adolescents, ne diffèrent pas de façon appréciable. On remarque aussi que les différences entre les instituts ne sont pas aussi grandes que ne le laisseraient supposer les valeurs nationales et régionales obtenues.

TABLEAU XVI
 Contamination radioactive du régime alimentaire des adolescents en 1966
⁹⁰Sr – pCi/gCa et gCa/individu an

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	\bar{x}_a	gCa/ind. an
Münster	DEUTSCHLAND B. R.	31,0	19,0	25,2	30,0	18,0	25,0	—	—	—	—	—	—	—	514
München	DEUTSCHLAND B. R.	37,8	30,9	33,2	25,5	25,3	24,8	31,3	28,9	33,4	32,9	26,8	22,1	29,4	314
Schwarzwald	DEUTSCHLAND B. R.	27	17	24	21	—	31,5	25,0	—	18,0	15,0	16,0	11,0	20,6	318
Kiel	DEUTSCHLAND B. R.	29,7	32,5	27,6	30,3	23,2	25,8	27,7	32,1	20,0	24,8	23,2	25,0	29,1	518
Zeist	NEDERLAND	24,2	24,8	25,2	24,6	21,9	21,6	—	—	—	—	—	—	—	657
Bruxelles	BELGIË/BELGIQUE	23	30	20	17	25	11	14	20	14	21	—	—	19,5	383
Roma	ITALIA	25	27	31	44	18	—	—	—	—	26,4	22,5	23,5	—	409
Catania	ITALIA	29	35	20	30	18	23	—	—	—	26	24	34	—	464
Milano	ITALIA	35	40	41	25	22	19	—	—	—	20	21	20	—	361
Sceaux	FRANCE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13,1	16,6	18,7	—	310

La comparaison qui a porté sur un groupe restreint et bien défini de la population a permis de mettre en évidence les mêmes faits que ceux observés pour l'ensemble de la population, du moins pendant les périodes à contamination indirecte importante.

5 — RADIOACTIVITÉ DU CORPS HUMAIN

5.1 — Dose calculée due à l'ingestion de strontium-90 présent dans le lait

Nous nous limiterons ici, à faire l'estimation de la dose délivrée aux tissus osseux intéressés par le mouvement (déposition, échange) du calcium ingéré chaque année depuis 1962.

Les doses calculées concernent donc principalement les systèmes osseux des *enfants* dans leur première année. Pour les autres squelettes, pour lesquels l'apport récent de calcium ne constitue qu'une fraction du calcium déjà présent, les doses sont, à l'heure actuelle, beaucoup plus faibles. Les enfants nés en 1964 constituent un cas particulier car ils ont connu un régime plus contaminé au cours de leur première année, qu'au cours de 1965 et 1966.

Les hypothèses faites pour le calcul de la dose délivrée à l'os sont :

- 1) les apports de strontium-90 et de calcium proviennent uniquement de l'ingestion de lait;
- 2) le rapport observé os-régime pour le ^{90}Sr est :

$$\frac{\text{pCi/g Ca (os néoformé)}}{\text{pCi/g Ca (régime)}} = 0,25;$$

- 3) dans le cas du ^{90}Sr un pCi/g Ca déposé dans les os donne une dose absorbée de 0,82 mrad/an à la moelle rouge et de 2,0 mrad/an à la structure minéralisée (¹⁶);
- 4) l'équivalent de dose (rem) est égal à la dose absorbée dans le cas du strontium-90 déposé dans les os (^{17, 18}).

L'équivalent de dose est donc de :

$0,82 \times 0,25 \times$ apport moyen de ^{90}Sr dans le lait (en pCi/g Ca) pour la moelle rouge,
et $2,0 \times 0,25 \times$ apport moyen de ^{90}Sr dans le lait (en pCi/g Ca) pour l'os néoformé.

Nous obtenons ainsi les valeurs suivantes pour les années 1962 à 1966 :

	Moelle rouge	Os néoformé
1962	2,2 mrem/an	5,3 mrem/an
1963	5,0 mrem/an	12,2 mrem/an
1964	5,6 mrem/an	13,6 mrem/an
1965	4,3 mrem/an	10,5 mrem/an
1966	2,9 mrem/an	7,2 mrem/an

On voit donc que la dose délivrée aux tissus osseux est passée par un maximum en 1964.

5.2 — Dose due à l'ingestion de strontium-90 présent dans le régime

L'évaluation de la dose moyenne reçue par la population dans les pays de la Communauté se heurte à une série de difficultés qui sont d'une part liées aux incertitudes concernant l'apport

total de calcium et par conséquent de strontium-90 avec le régime et qui, d'autre part, découlent des hypothèses faites lors du calcul de la dose aux os.

On peut cependant, connaissant l'apport de strontium-90 avec le calcium (pCi/gCa) dans le régime alimentaire, évaluer la dose aux tissus osseux, selon le mode de calcul utilisé pour le lait dans le paragraphe précédent. Les valeurs moyennes pour la Communauté du rapport picocuries par gramme de calcium du régime, figurent au tableau XV. Il faut remarquer que ces valeurs étant représentatives du régime moyen, l'estimation de la dose absorbée s'applique en premier lieu aux os nouvellement formés de *l'adulte*. Il faut alors considérer⁽¹⁶⁾ que un pCi/gCa donne une dose absorbée de 0,55 mrad/an à la moelle rouge et 2,7 mrad/an à la structure minéralisée de l'os.

L'équivalent de dose est donc de :

$0,55 \times 0,25 \times$ apport moyen de ^{90}Sr dans le régime (pCi/gCa) pour la partie de la moelle présente dans les trabécules entièrement formées durant l'année,
 et $2,7 \times 0,25 \times$ apport moyen de ^{90}Sr dans le régime (pCi/gCa) pour la structure minéralisée de l'os.

On trouve ainsi pour les années 1963 à 1966 les équivalents de dose suivants :

	Moelle rouge	Os néoformé
1963	6,0 mrem/an	29,4 mrem/an
1964	6,3 mrem/an	30,7 mrem/an
1965	4,7 mrem/an	23,2 mrem/an
1966	3,4 mrem/an	16,7 mrem/an

Encore une fois, c'est l'année 1964 qui a marqué un maximum dans la dose délivrée aux tissus osseux.

6 — CONCLUSIONS

On a vu au paragraphe 3.4 que la libération dans l'atmosphère de 100 mégatonnes d'énergie de fission entre septembre 1961 et décembre 1962, le réservoir stratosphérique étant ce qu'il était, a causé des *retombées* dont l'activité est passée par un maximum pendant le deuxième trimestre de 1963, pour atteindre à la fin de 1966 un niveau 50 fois plus faible, dans le cas particulier du strontium-90. Il est à remarquer que ce niveau est inférieur au niveau existant au début de 1962.

Ces retombées ont amené une contamination du régime alimentaire en ^{90}Sr qui s'est manifestée dès 1963 (43,6 pCi/gCa (*)), mais qui a été encore plus marquée en 1964 (45,5 pCi/gCa (*)). En 1965 et 1966 la contamination du régime a nettement diminué, elle ne valait plus que 24,8 pCi/gCa (*) en 1966. L'évolution de l'activité des retombées et celle de la contamination en strontium-90 du régime alimentaire en général et du lait en particulier, représentées à la figure 11, mettent en évidence, d'une part le fait que le maximum de contamination du régime et du lait est décalé d'un an par rapport à celui des retombées et, d'autre part, que cinq ans après les essais nucléaires dont il a été question ici, le niveau de contamination du lait (pour lequel nous possédons les données les plus complètes) se rapproche de celui de 1962.

(*) Les valeurs données ici sont les valeurs moyennes pour l'ensemble de la Communauté.

En ce qui concerne la *dose délivrée aux tissus osseux* de l'ensemble de la population adulte des pays de la Communauté, résultant de l'ingestion d'un régime ainsi contaminé, elle a été estimée à 30,7 mrem par an pour l'os néoformé et à 6,3 mrem/an pour la moelle rouge, en 1964. C'est la valeur maximale atteinte. En 1966, la dose avait diminué d'un facteur 1,8 par rapport à 1964.

RÉFÉRENCES

1. H. L. VOLCHOK, *Science*, **156**, 1487-9, 1967.
2. C. A. PELLETIER, G. H. WHIPPLE et H. L. WEDLICK, CONF-765, 723, 1965.
3. EUR d,f,i,n, 461, 1820, 2516, 3165, 3602.
4. H. M. Ph. MOEKEN et J. J. H. ALDERHOUT, Eurochemic ETR N° 100, 1961.
5. H. L. VOLCHOK, HASL-172 pp. 88 et 92, HASL-183 p. 1-6.
6. Association Euratom/CEA, Document de travail 66-16.
7. EUR d,f,i,n, 1838, 2460, 3070, 3640 et 3944.
8. KULP-SCHULERT, ⁹⁰Sr in Man and his Environment, NYO-9934.
9. B. O. BARTLETT et E. R. MERCER, ARCRL-12, 70, 1964.
10. Rapport du Comité Scientifique des Nations Unies pour l'Étude des Effets des Radiations ionisantes. (UNSCEAR). Assemblée générale 17^e Session, supplément N° 16 A/5216
19^e Session, supplément N° 14 A/5814
21^e Session, supplément N° 14 A/6314.
11. DE BORTOLI et al., Five years experience of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs herbage to milk transfer under field conditions. Proceedings of the 1st international Congress of Radiation Protection, Rome. Italy, September 5-10, 1966, pp. 1053 et suiv.
12. B. O. BARTLETT, R. SCOTT RUSSEL, ARCRL-14, 74, 1965.
13. B. O. BARTLETT, *Nature*, **216**, 385, 1967.
14. R. SCOTT RUSSEL, *Radioactivity and Human diet*, p. 338.
15. Bulletin du Service fédéral de l'Hygiène publique, supplément B, N° 5/1965, 6/1966, 6/1967.
16. Medical Research Council, 1966, annexe 2.
17. SPIERS, *Radiation Research*, **28**, 624, 1966.
18. HINDMARSH et col., *British J. of Radiology*, **31**, 532-533, 1958.
19. HASL-142, p. 242.
20. UCRL-14, 786.
21. Rapport SCPRI N° 115.
22. Radiological Health data.
23. EUR 2768 f, La consommation alimentaire dans les pays de la Communauté européenne. Premiers résultats des enquêtes faites dans deux régions.

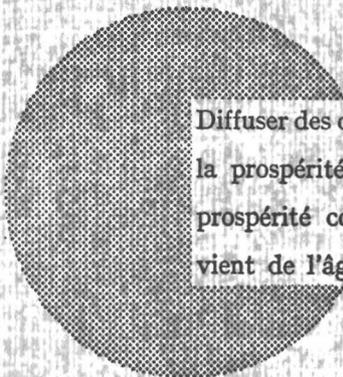
AVIS AU LECTEUR

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 Dusseldorf (Allemagne)**

ou à

**Office de vente des publications
des Communautés européennes
2, Place de Metz
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).

**OFFICE CENTRAL DE VENTE DES PUBLICATIONS
DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES**
2, place de Metz, Luxembourg (Compte chèque postal N° 191-90)

BELGIQUE — BELGIË
MONITEUR BELGE
40-42, rue de Louvain - Bruxelles
BELGISCH STAATSBLAD
Leuvenseweg 40-42 - Brussel

LUXEMBOURG
OFFICE CENTRAL DE VENTE
DES PUBLICATIONS DES
COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
9, rue Goethe - Luxembourg

DEUTSCHLAND
BUNDESANZEIGER
Postfach - Köln 1

NEDERLAND
STAATSDRUKKERIJ
Christoffel Plantijnstraat - Den Haag

FRANCE
SERVICE DE VENTE EN FRANCE
DES PUBLICATIONS DES
COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
26, rue Desaix - Paris 15^e

ITALIA
LIBRERIA DELLO STATO
Piazza G. Verdi, 10 - Roma

UNITED KINGDOM
H. M. STATIONARY OFFICE
P. O. Box 569 - London S.E.1

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