

**PREMIER MINISTRE  
COMMISSARIAT A  
L'ÉNERGIE ATOMIQUE**

**COMPTE RENDU D'EXPERIENCES  
DE PLUSIEURS ANNEES SUR L'ABSORPTION  
DU STRONTIUM ET DU CESIUM RADIOACTIFS  
PAR DES PLANTES CULTIVEES**

**Rapport C.E.A n° 2159**

**1962**

**CENTRE D'ÉTUDES NUCLÉAIRES  
DE FONTENAY-AUX-ROSES**

CEA 2159 - Mme HUGUET, DELAS M., MICHON M., etc.

COMPTE RENDU D'EXPERIENCES DE PLUSIEURS ANNEES SUR L'ABSORPTION  
DU STRONTIUM ET DU CESIUM RADIOACTIFS PAR DES PLANTES CULTIVEES  
(1962)

Sommaire. - Ce rapport fait suite au rapport CEA 1860 et précise grâce aux résultats acquis en 1960 les données exprimées dans le précédent rapport. Il y est fait mention des premiers résultats obtenus pour la vigne.

Le coefficient d'absorption du Sr a peu varié d'une année sur l'autre et celui du césium légèrement diminué.

Les valeurs obtenues permettent de penser qu'il serait souhaitable que la concentration en  $^{90}\text{Sr}$  et en  $^{137}\text{Cs}$  dans l'eau d'irrigation ne dépasse pas le 1/5<sup>ème</sup> de la concentration maxima admissible pour l'eau de boisson.

---

CEA 2159 - Mme HUGUET, DELAS M., MICHON M., etc.

RESULTS OF SEVERAL YEARS EXPERIMENTS ON THE ABSORPTION OF RADIO-  
ACTIVE STRONTIUM AND CAESIUM BY CULTURATED PLANTS (1962)

Summary. - This report follows on to the report n° CEA 1860 and uses results obtained in 1960 to give more precise details concerning the data presented in the preceding report. First results obtained on the vine are given.

The Sr absorption coefficient has varied very little from one year to the next and that of caesium has slightly diminished.

The values obtained suggest that the concentrations of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in irrigation water should not exceed 1/5<sup>th</sup> of the maximum permissible concentration in drinking water.

Département de Protection Sanitaire

COMPTE RENDU D'EXPERIENCES DE PLUSIEURS ANNEES  
SUR L'ABSORPTION DU STRONTIUM ET DU CESIUM RADIOACTIFS  
PAR DES PLANTES CULTIVEES

Résultats de 1960

Expériences poursuivies en exécution d'un contrat de recherches  
entre l'Institut National de la Recherche Agronomique  
et le Commissariat à l'Energie Atomique, par

Station Agronomique d'Avignon

Mme HUGUET

Station Agronomique de Bordeaux - (PONT de la MAYE)

M. DELAS, M. DELMAS, Mme DEMIAS

Station Centrale de Technologie des Produits Végétaux, Narbonne

M. BENARD, M. FLANZY

Station Agronomique de Toulouse

M. FIORAMONTI, M. MARTY

Station Centrale d'Agronomie, Versailles

M. BARBIER, M. LE BLAYE, M. BROSSARD

Département de Protection Sanitaire du C.E.A.

M. MICHON

**COMPTE RENDU D'EXPERIENCES DE PLUSIEURS ANNEES  
SUR L'ABSORPTION DU STRONTIUM ET DU CESIUM RADIOACTIFS  
PAR DES PLANTES CULTIVEES**

Les observations des années antérieures ont fait l'objet du rapport C.E.A. n° 1860 (1961). Les résultats obtenus depuis, joints aux précédents, permettent d'aborder la solution quantitative du problème posé à l'hygiène atomique par la contamination radioactive d'eaux utilisables pour l'irrigation.

**1. VIGNE - NARBONNE**

Une expérience sur vigne est conduite par la Station Centrale de Technologie des Produits Végétaux à Narbonne. Elle a été installée dans un vignoble préexistant du domaine expérimental de Pech-Rouge, en bordure de mer, entre la côte et une ligne de collines. La parcelle a été clôturée par un mur solide et entourée de fossés de protection contre le ruissellement des eaux descendant des collines pendant les orages. Une maisonnette a été construite à l'intérieur de l'enclos pour y entreposer tout le matériel nécessaire, exclusivement réservé à cet usage (motoculteur, survêtements, etc.)

L'expérience comporte 5 parcelles :

- Témoin
- Césium 137 (apport initial unique)
- Témoin
- Strontium 90 (apport initial unique)
- Témoin

Chaque parcelle contient 6 rangées de 20 ceps (2 m entre rangées 1,25 m entre ceps). Chaque radioélément a été épandu uniformément sur toute la surface du sol d'une parcelle, en mars 1960, à raison de 25  $\mu\text{Ci}$  par  $\text{m}^2$ , au moyen d'arrosoirs en matière plastique, dans lesquels étaient diluées des fractions aliquotes d'une solution mère fournie par le C.E.A. Le lendemain de l'épandage, le sol a été travaillé superficiellement pour incorporer le radioélément au sol. Toutes les opérations de culture et de taille ont été conduites ensuite selon la pratique locale. Les résidus sont enterrés à l'intérieur de l'enclos, hors parcelles.

Seules les deux rangées médianes de chaque parcelle sont analysées, les racines de chaque cep pouvant s'étaler sur les deux rangées voisines.

Des échantillons de raisins et de feuilles ont été prélevés au début d'octobre 1960, à raison d'1 échantillon pour chacune des parcelles témoins extrêmes, et de 3 échantillons pour chacune des trois autres parcelles.

Le jus des raisins a été exprimé au moyen d'un presse-fruits. On a évaporé 200 à 500  $\text{cm}^3$ , selon le volume disponible et le résidu sec a été incinéré entre 350 et 400°. L'opération nécessite beaucoup de précautions et de temps, en raison du boursoufflement de la masse. Les cendres obtenues ont été homogénéisées au mortier, et comptées directement au compteur cloche, sur une même épaisseur de cendres pour les parcelles traitées et les témoins. La différence a été corrigée de de l'autoabsorption selon Taylor.

D'après le tableau I, les comptages des jus en provenance des parcelles radioactives n'ont été en moyenne que légèrement supérieurs à ceux des témoins, malgré les fortes doses de radioélément appliquées. Un litre de jus ne contient pas plus de  $^{137}\text{Cs}$  que  $16 \text{ mm}^2$  de sol, et pas plus de  $^{90}\text{Sr}$  que  $3,4 \text{ mm}^2$  de sol. (Il faudrait multiplier ces nombres par 7 environ pour avoir un optimum de sécurité, en raison de la forte variance entre échantillons, voir renvoi 1 du tableau I).

TABLEAU I

JUS DE RAISIN - NARBONNE 1960

	Témoin	Césium	Strontium
Pour mémoire : milliers de $\text{cps}/\text{mn}$ appliqués par $\text{m}^2$ ( $25 \mu\text{Ci}$ )	0	7.145	27.665
$\text{cps}/\text{mn}$ par litre de jus <sup>1)</sup>	594	642	652
Différence		48	58
$\text{cps}/\text{mn}$ à l'épaisseur 0		115	95
Récolte de jus en $\text{l}/\text{m}^2$		$0,24^{2)}$	$0,38^{2)}$
Fraction du radioélément appliqué contenue dans le jus récolté		$3,8 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$
$c$ en $\text{m}^2/\text{l}$ (3)		$1,6 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$

Les comptages effectués sur la poudre de feuilles - moins précis que ceux sur cendres - n'ont indiqué aucune différence significative entre parcelles traitées et témoins.

Il est possible que l'absorption des radioéléments augmente par la suite, comme conséquence de leur migration dans le sol, ou, éventuellement, du fait qu'une partie des radioéléments absorbés par les racines serait stockée temporairement dans le bois des ceps, avant de migrer dans les grappes.

1) Plus petite différence significative ( $P = 0,05$ ) =  $360 \text{ mn}/\text{litre}$

2) Différences fortuites, non dues aux traitements

3)  $c = \frac{\text{radioélément par litre de jus}}{\text{radioélément par } \text{m}^2 \text{ de sol}}$

## 2. PRAIRIE PERMANENTE - VERSAILLES

Une expérience sur prairie permanente a été installée à la ferme de la Minière (domaine de l'I.N.R.A.)

Une fêtuque a été semée le 26 mars 1959. Les radioéléments n'ont été appliqués qu'à partir du 1er avril 1960, après l'installation définitive du tapis végétal, retardée par la sécheresse de 1959.

Les doses de  $^{137}\text{Cs}$  ou  $^{90}\text{Sr}$  sont

- apport initial unique : 50  $\mu\text{Ci}$  par parcelle de 2,25 m<sup>2</sup>
- apports périodiques  
par aspersion : 2,5  $\mu\text{Ci}$  par parcelle de 2,25 m<sup>2</sup> à chaque aspersion.
- apports combinés : les deux précédents cumulés  
traitements

La flore de la prairie a évolué au cours du temps. Certaines parcelles ont été envahies irrégulièrement par du trèfle blanc en 1960; le peuplement est redevenu à peu près normal au printemps 1961.

La radioactivité  $^{137}\text{Cs}$  ou  $^{90}\text{Sr}$  du foin a été mesurée comme indiqué dans le précédent rapport (rapport C.E.A. n° 1860).

Le tableau II donne lieu aux remarques suivantes :

1° les valeurs de  $c$  varient plus régulièrement que les fractions absorbées par les récoltes totales, ces fractions dépendant davantage du poids de foin récolté, lequel a varié d'une coupe à l'autre de 10 à 60 qx de foin sec par ha, selon la pluie tombée et la saison.

2° Les valeurs de  $c$  sont plus grandes sur les parcelles périodiquement arrosées que sur celles contaminées une fois pour toutes au début, en raison du dépôt de radioélément sur les feuilles ou sur la base des tiges dans le premier cas. Mais la différence s'atténue peu à peu, au fur et à mesure de l'accumulation de radioélément dans le sol par les arrosages périodiques antérieurs.

3° Les valeurs de  $c$  ont varié d'une coupe à l'autre, régulièrement.

En ce qui concerne Sr, elles augmentent avec le rang de la coupe dans le cas de l'apport unique; l'infiltration progressive de  $^{90}\text{Sr}$  dans la couche superficielle du sol semble donc favoriser son absorption par les racines de l'herbe. C'est le contraire qui s'observe dans le cas des apports périodiques (diminution de l'importance relative du dépôt direct sur les plantes). Les valeurs enregistrées à la 4ème coupe sont voisines pour les deux traitements; 1 kg de foin sec contient autant de  $^{90}\text{Sr}$  que 0,03 m<sup>2</sup> de sol environ.

En ce qui concerne le césium, les valeurs de  $c$  vont en diminuant pour les deux traitements (Cs à la propriété de pénétrer peu à peu dans les espaces inter-feuillets des argiles).

TABLEAU II

PRAIRIE - VERSAILLES 1960

	Césium 137		Strontium 90			
	Fraction dans la récolte totale 4)	c 5)	fraction dans la récolte totale	c 5)		
<u>1° - Apport initial unique</u>						
1ère coupe 29/4/60 6)	-	-	-	-		
2ème - 6/7/60	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$1,34 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$		
3ème - 31/8/60	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$2,15 \cdot 10^{-2}$		
4ème - 18/10/60	$1,55 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$3,75 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$		
<u>2° Apports périodiques</u>						
	apports coupes	Pluies entre apport et coupe				
1er	1/4 29/4	16,9 mm	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$8,6 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$4,75 \cdot 10^{-2}$
2ème	17/6 6/7	29,3	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$
3ème	6/7 31/8	155	$6,2 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$
4ème	13/10 18/10	traces	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$
<u>3° Apports combinés</u>						
1er 6)	-	-	-	-	-	-
2ème	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$		
3ème	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$		
4ème	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$		

4) Rapport du radioélément présent dans ou sur l'herbe au radioélément appliqué depuis le début jusqu'à la coupe considérée incluse (déduction faite des prélèvements antérieurs, d'ailleurs minimes).

5) 1 kg de foin complètement sec contient autant de radioélément que  $c \text{ m}^2$  de sol.

6) La première coupe apport unique n'a pas été analysée, son échantillonnage pouvant présenter des dangers sérieux pour le personnel. On a admis que cette coupe a prélevé le même pourcentage de radioélément que la 1ère coupe des épandages périodiques, les deux traitements ayant été identiques, à la concentration près des solutions.

4° Les valeurs de  $c$  à la 4ème coupe, exprimées en  $m^2$  de sol par kg de foin sec, sont de l'ordre de 1 à  $3 \cdot 10^{-3}$  pour Cs, et de  $3,0 \cdot 10^{-2}$  pour Sr. Rapportées à une herbe fraîche contenant 10 pour cent de matière sèche, ces valeurs se rapprochent de celles observées pour les organes végétatifs d'autres plantes dans le même sol.

5° Le quotient des rapports  $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$  dans les plantes et dans le sol n'a pas grand sens lorsque la distribution de  $^{90}\text{Sr}$  est verticalement hétérogène, surtout si l'on ne connaît pas l'épaisseur de sol sur laquelle s'alimentent les racines. La valeur de ce quotient a été trouvée égale à 2,2 (une seule détermination) pour une épaisseur de sol de 8 cm (voir discussion).

### 3. POMMES DE TERRE - BORDEAUX (Tableau III)

Comme en 1959, Sr a été beaucoup plus absorbé que Cs par les plantes entières; mais, contrairement à Cs, Sr a très peu migré des parties aériennes aux tubercules, de sorte que la fraction du radioélément du milieu contenue dans les tubercules est très petite, aussi bien pour Sr que pour Cs.

L'absorption de Cs par les pommes de terre, comparée à celle de 1959, a fortement diminué en 1960 (en raison peut-être de la fixation de Cs par les argiles). L'absorption de Sr a relativement peu diminué de 1959 à 1960 (comparer les  $c$  des fanes); mais la migration de Sr des fanes aux tubercules a été particulièrement limitée en 1960.

Le quotient des rapports  $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$  dans les plantes et dans la couche labourée du sol oscille de part et d'autre de l'unité. Il ne s'est pas confirmé (voir rapport 1959) que les tubercules aient un pouvoir sélectif pour Sr plus élevé que celui des fanes, puisque c'est le contraire qui a été observé cette année.

### 4. SALADE

Dans le tableau IV, les données relatives à l'apport initial unique de césium 137 au sol sont imprécises, la différence entre les radioactivités moyennes des plantes traitées et des plantes témoins n'étant pas assez grande par rapport à l'écart type entre échantillons. Quoi qu'il en soit, l'indice  $c$  (Cs) n'atteint une valeur relativement élevée ( $\geq 5 \cdot 10^{-3}$ ) qu'en cas de contamination directe du feuillage par aspersion de salades plus ou moins pommées (4 aspersion en cours de végétation à Toulouse, 3 à Bordeaux, 1 à Versailles).

Il en va de même pour  $^{90}\text{Sr}$ .  $c$  ne dépasse  $4 \cdot 10^{-3}$  environ qu'en cas d'aspersion répétées des salades.

TABLEAU III

POMMES DE TERRE - BORDEAUX 1960

f = fraction, dans la récolte totale, du radioélément présent dans le milieu à la récolte

c = 1 kg de tubercules supposés à 20 pour cent de matière sèche, ou de fanes supposées à 10 pour cent de matière sèche, contient autant de radioélément que  $c \text{ m}^2$  de sol.

	Césium 137		Strontium 90	
	Apport unique	Apports périodiques	Apport unique	Apports périodiques
	<u>1° Tubercules</u>			
f	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$1,95 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$
c	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$1,41 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$4,35 \cdot 10^{-4}$
<u><math>^{90}\text{Sr}/\text{Ca}</math> (tubercules)</u>			0,85	0,67
$^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$ (couche labourée)				
	<u>2° Fanés</u>			
f	$8,1 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,76 \cdot 10^{-2}$
c	$8,5 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
<u><math>^{90}\text{Sr}/\text{Ca}</math> (fanés)</u>			1,16	1,28
$^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$ (couche labourée)				
	<u>Répartition du radioélément pour cent</u>			
Tubercules	50	38	4	3
Fanés	50	62	96	97
	<u>Pour mémoire : résultats de 1959</u>			
c tubercules	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$2,05 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
c fanés	$9,3 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$

A Avignon, l'aspersion n'a pas beaucoup plus contaminé les salades que l'application des radioéléments au sol, du fait que les radioéléments sont dilués dans la totalité de l'eau d'irrigation, alors que dans les autres stations, les radioéléments périodiquement appliqués sont concentrés dans une fraction seulement de l'eau d'arrosage. Par ailleurs, l'expérience d'Avignon est plus ancienne, et le dépôt de radioélément sur les feuilles par aspersion est relativement moins important.

En ce qui concerne  $^{90}\text{Sr}$ , les valeurs de  $c$  et corrélativement du quotient des rapports  $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$  dans les plantes et dans le sol sont particulièrement basses dans le sol calcaire d'Avignon.

La valeur anormalement élevée du quotient des rapports  $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$  observée à Toulouse (apports périodiques) indique que des aspersions répétées au moyen d'eau radioactive en cours de végétation, peuvent laisser une fraction relativement importante du radioélément sur le feuillage, surtout lorsqu'il s'agit de chicorée frisée comme c'était le cas à Toulouse. La quantité de  $^{90}\text{Sr}$  retenue par 1 kg de chicorée fraîche après 4 aspersions est approximativement égale à celle contenue dans 0,3 litre de solution.

## 5. TOMATE

Le tableau V confirme les résultats de 1959, qualitativement,  $^{90}\text{Sr}$  a été bien absorbé par les plantes entières (2,5 pour cent env. ron) dans le sol sablonneux de Bordeaux, mais a très peu migré dans les fruits :  $c$  est environ 60 fois plus petit dans les fruits que dans les fanes.

La valeur de  $c$  ( $^{90}\text{Sr}$ ) dans les fruits murs est plus petite qu'en 1959 ( $2,3 \cdot 10^{-4}$  contre 3,2 ou  $6,8 \cdot 10^{-4}$ ). C'est surtout dans le cas des aspersions périodiques que cette valeur s'est abaissée, ce qui se comprend puisque  $^{90}\text{Sr}$  s'est accumulé dans le sol.

Quant à  $^{137}\text{Cs}$ , il a été peu absorbé par la plante entière, mais a mieux migré dans les fruits que  $^{90}\text{Sr}$  (comme en 1959). Comparées à celles de 1959, les valeurs de  $c$  relatives à  $^{137}\text{Cs}$  se sont fortement abaissées dans le cas de l'apport unique (éventuellement en raison d'une fixation lente de  $^{137}\text{Cs}$  dans des argiles).

## 6. POIREAUX

D'après le tableau VI, l'écart relatif des contaminations par aspersion en cours de végétation et par apport initial au sol est plus grand pour Cs que pour Sr - comme nous l'avons déjà constaté plusieurs fois - du fait que Cs du sol est moins absorbé par les plantes que Sr, et que, éventuellement, Cs déposé sur les feuilles migre mieux dans la plante que Sr. En raison de la richesse du sol de Toulouse en Ca échangeable, le taux d'absorption de Sr par les poireaux est particulièrement bas, mais le quotient des rapports  $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$  dans les plantes et dans le sol reste voisin de l'unité.

TABLEAU IV  
SALADE 1960

	Cesium		Strontium	
	Apport unique	Apports périodiques	Apport unique	Apports périodiques
		<u>Versailles</u> - Laitue		
f	$3,6 \cdot 10^{-5}$ <sup>7)</sup>	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,94 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$
c	$2,6 \cdot 10^{-5}$ <sup>7)</sup>	$2,05 \cdot 10^{-3}$	$1,48 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$
$\frac{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (plante)}}{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (couche labourée)}}$			0,92	1,95
		<u>Toulouse</u> (chicorée frisée) (hiver 59-60)		
f	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$1,76 \cdot 10^{-3}$	$2,65 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
c	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,29 \cdot 10^{-2}$	$1,94 \cdot 10^{-3}$	$1,92 \cdot 10^{-2}$
$\frac{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (plante)}}{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (couche labourée)}}$			2,6	25,5
		<u>Bordeaux</u> (Laitue)		
f	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$3,65 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$1,21 \cdot 10^{-3}$
c	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$1,26 \cdot 10^{-2}$
$\frac{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (plante)}}{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (couche labourée)}}$			1,36	3,9

Avignon (laitue)

Mode d'irrigation	Césium			Strontium		
	Raie	Sout	Aspers	Raie	Sout	Aspers
f	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$2,07 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$
c	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$4,25 \cdot 10^{-4}$	$1,41 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$
r <sup>8)</sup>	0,38	0,20	0,34	0,18	0,15	0,21
$\frac{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (laitue)}}{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (couche labourée)}}$				0,053		0,1

7) Voir tableau III la signification des lettres f et c.

c en m<sup>2</sup> par kg de salade supposée à 10 pour cent de matière sèche différence avec le témoin non significative.

8) 1 kg de laitue supposée à 10 pour cent de matière sèche contient autant de radioélément que r litres d'eau d'irrigation initiale (voir appendice)

TABLEAU V

TOMATE - BORDEAUX 1960

	Cesium 137		Strontium 90	
	Apport unique	Apports périodiques	Apport unique	Apports périodiques
		<u>Fruits murs</u>		
f	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$
c (6 pour cent de matière sèche)	$9,7 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$
$\frac{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (plante)}}{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (sol)}}$			0,52	0,51
		<u>Fanes</u>		
f	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$2,45 \cdot 10^{-2}$
c (10 pour cent de matière sèche)	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,45 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
$\frac{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (plante)}}{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (sol)}}$			0,65	0,63
		<u>Fruits verts</u>		
f	$9,3 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
c (6 pour cent de matière sèche)	$5,9 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
$\frac{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (plante)}}{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (sol)}}$			0,47	0,29

Voir tableau III la signification des lettres f et c

TABLEAU VI

POIREAUX - TOULOUSE 1960

	Césium 137		Strontium 90	
	Apport unique	Apports périodiques	Apport unique	Apports périodiques
f	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$
c (10 pour cent de matière sèche)	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$2,05 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$
$\frac{{}^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (plante)}}{{}^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (sol)}}$			0,72	0,84

### 7. CHOU-FLEUR

Les résultats de 1959-60 (tableau VII) confirment ceux des années précédentes, en ce sens que les valeurs de c restent basses, toujours inférieures à  $1 \cdot 10^{-3}$  (dans la matière fraîche supposée à 10 pour cent de matière sèche) même dans le cas de l'aspersion. L'effet de l'aspersion, comparée à l'irrigation par rigoles, est plus marqué pour Cs que pour Sr, comme on l'a déjà observé à plusieurs reprises.

### 8. HARICOTS

Les valeurs de c observées en 1960 sont voisines de celles de 1959 (pour un même taux de matière sèche), aussi bien pour Cs (légère baisse moyenne en 1960) que pour Sr (légère hausse pour les fanes dans certains cas). Dans les gousses vertes, c reste inférieur à  $3,5 \cdot 10^{-4}$ , aussi bien pour Sr que pour Cs.

Le quotient des rapports  ${}^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$  dans les plantes et dans la couche labourée est relativement bas, probablement du fait de l'attaque du calcaire par les racines.

---

Voir tableau III signification des lettres f et c

TABLEAU VII

CHOU-FLEUR - AVIGNON 1959-1960

mode d'irrigation	Césium 137			Strontium 90		
	Raie	Sout.	Aspersion	Raie	Sout.	Aspersion
			<u>Pommes</u>			
f	-10)	-	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$
c (10 pour cent de matière sèche) <sup>9)</sup>	-	-	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$3,15 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
$\frac{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} (\text{plante})}{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} (\text{sol})}$				1,02		2,4
r			0,43	0,37	0,23	0,54
			<u>Feuilles</u>			
f	$9,5 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$9,9 \cdot 10^{-4}$	$1,65 \cdot 10^{-3}$
c (10 pour cent de matière sèche)	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$
$\frac{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} (\text{plante})}{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} (\text{sol})}$				0,24		0,39

9) voir tableau III et IV la signification de f, de c et de r.

10) différences avec le témoin légèrement négatives

TABLEAU VIII

HARICOTS - AVIGNON 1960

mode d'irrigation	Césium 137			Strontium 90		
	Raie	Sout.	Aspers.	Raie	Sout.	Aspers.
	<u>Gousses</u>					
f	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$
c (10 pour cent de matière sèche)	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$
r (10 pour cent de matière sèche)	0,04	0,23	0,26	0,23	0,27	0,25
$\frac{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (plante)}}{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (sol)}}$				0,35		0,62
	<u>Fanes</u>					
f	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
c (10 pour cent de matière sèche)	$1,55 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
r (10 pour cent de matière sèche)	0,23	0,33	0,91	1,5	1,1	1,5
$\frac{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (plante)}}{^{90}\text{Sr}/\text{Ca} \text{ (sol)}}$				0,18		0,3

Voir tableaux III et IV la signification des lettres c et r

## DISCUSSION

1. Les expériences poursuivies depuis 2 ou 4 ans par diverses stations agromomiques de l'I.N.R.A. et par le Département de la Protection Sanitaire du C.E.A., sur l'absorption de radioéléments du sol par différentes plantes cultivées, en sols, variés, dans les conditions de la pratique, ont montré que les parties comestibles de divers légumes ne contiennent qu'une petite fraction du strontium et du césium radioactifs incorporés dans le sol.

D'après l'ensemble des observations sur pommes de terre, salades vertes, tomates, haricots verts, poireaux, choux-fleurs (tableau résumé IX) 1 kg de légumes frais renferme en moyenne autant de  $^{90}\text{Sr}$  que 7 cm<sup>2</sup> de sol, et autant de  $^{137}\text{Cs}$  que 2,3 cm<sup>2</sup> de sol (valeurs désignées par c); une récolte de 2 kg de légumes par m<sup>2</sup> préleverait donc 1,4 pour mille du strontium du sol, et 4,6 pour dix mille du césium. Ce sont là des moyennes non pondérées, ne tenant pas compte de l'importance relative de chaque légume dans l'alimentation, ni de la surface relative de chaque type de sol. Ces valeurs concernent le cas d'un radioélément mélangé au sol par des labours, sans aspersion du feuillage par une solution radioactive.

2. En cas d'arrosages répétés du feuillage avec une solution du radioélément, le taux de radioélément des plantes a été en général plus élevé que dans le cas de la seule contamination du sol, surtout dans les expériences qui n'en sont qu'à leur deuxième année. Par exemple, une chicorée frisée arrosée 4 fois avec une solution radioactive, contient ou a retenu, par kg, autant de radioélément qu'en renferme 0,3 litre environ de cette solution, alors que le sol n'en a fourni - la 2<sup>ème</sup> année des apports - qu'autant qu'en renferme 0,006 l de la même solution pour Cs, ou 0,04 l environ pour Sr (estimation d'après la valeur de c correspondant à l'apport initial au sol). Et pourtant, la contamination du feuillage par l'eau d'arrosage est de minime importance, comparée à celle qui résultera à long terme de l'accumulation du radioélément dans le sol par une irrigation continue au moyen d'une eau régulièrement contaminée. A la limite d'accumulation, 1 kg de chicorée pourra prélever sur le sol autant de radioélément qu'en contiennent 20 litres d'eau d'irrigation (pour une hauteur annuelle d'irrigation de 400 mm par an). C'est donc le taux de prélèvement du radioélément du sol par les racines qui constitue la donnée fondamentale de l'hygiène atomique des cultures (pour des éléments de longue période bien entendu, et sans envisager ici le cas d'une récolte accidentellement contaminée).

3. L'expérience sur prairie est trop récente pour apporter un enseignement solide. Les valeurs de  $c$  ont varié régulièrement au cours des coupes successives de la 1ère année. Celles relatives au strontium appliqué une seule fois au début ont augmenté, peut-être par suite de l'infiltration progressive du radioélément épanché en surface. Celles relatives au strontium appliqué périodiquement par arrosage ont diminué et tendent vers la même valeur que les précédentes. Les valeurs de  $c$  du césium ont toutes diminué. D'après le tableau X, cette prairie ne semble pas devoir absorber beaucoup plus de chaque radioélément que les organes végétatifs d'autres plantes dans des sols analogues.

4. Le jus de raisin d'une vigne adulte en sol argilo-calcaire contient une fraction particulièrement petite de chaque radioélément appliqué au sol sept mois plus tôt.

TABLEAU IX

RESUME DES OBSERVATIONS DE 1960

Apport initial unique (ou apports périodiques au sol à AVIGNON).  
1 kg de légumes frais contient autant de radioélément que  $c \text{ m}^2$  de sol.

	Matière sèche pour cent	Cesium 137	Strontium 90
		$c \text{ m}^2/\text{kg}$	$c \text{ m}^2/\text{kg}$
Pommes de terre	23	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$
Salades vertes (moyenne)	9,5	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,905 \cdot 10^{-3}$
Tomates	6	$9,7 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$
Haricots verts	21	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$5,35 \cdot 10^{-4}$
Poireaux	12	$3,95 \cdot 10^{-5}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$
Choux-fleurs	9	$5 \cdot 10^{-5}$ <sup>11)</sup>	$3,15 \cdot 10^{-4}$
Moyenne ..		$2,3 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$

11) Estimation d'après les résultats antérieurs.

TABLEAU X

Comparaison d'une prairie de fétuque avec d'autres plantes cultivées  
c en m<sup>2</sup> par kg de denrée supposée à 10 pour cent de matière sèche

		Apport initial unique	
		Cesium 137	Strontium 90
Sols limono-argileux (- - - - -)	Foin de fétuque - Versailles 1ère année	9,0.10 <sup>-5</sup>	2,8 .10 <sup>-3</sup>
	Laitue - Versailles 2ème année	?	1,5 .10 <sup>-3</sup>
	Fanes de pommes de terre Versailles - 1ère année	6,8.10 <sup>-5</sup>	3,6 .10 <sup>-3</sup>
	Chicorée - Toulouse 1ère année	3,0.10 <sup>-4</sup>	1,94.10 <sup>-3</sup>
	Fanes de tomates - Toulouse 1ère année	1,2.10 <sup>-4</sup>	3,7 .10 <sup>-3</sup>
Sol sableux (- - - - -)	Fanes de pommes de terre Bordeaux - 2ème année	8,5.10 <sup>-4</sup>	1,8 .10 <sup>-2</sup>
	Fanes de tomates Bordeaux - 2ème année	2,8.10 <sup>-4</sup>	1,45.10 <sup>-2</sup>

5. La moyenne générale brute des valeurs du quotient q :

$$q = \frac{\frac{^{90}\text{Sr}}{\text{Ca}} \text{ (plante)}}{\frac{^{90}\text{Sr}}{\text{Ca échangeable}} \text{ (couche labourée)}}$$

observées la deuxième année des expériences (la 4ème année à Avignon) - prairie et vigne exclues - en l'absence de contamination du feuillage par aspersion, est :

$$\text{moyenne } q = 0,95$$

Ce quotient s'est parfois abaissé à des valeurs inférieures à 0,1 dans la terre calcaire d'Avignon

Les variations observées d'une espèce végétale à une autre ne doivent pas nécessairement être attribuées à des différences du pouvoir sélectif des plantes pour Sr ou pour Ca; elles peuvent être dues au fait que différentes espèces s'alimentent plus ou moins en sous-sol, ou attaquent plus ou moins le calcaire. Pour préciser la question, plutôt que de chercher à évaluer le terme Ca (sol) d'après des hypothèses

non contrôlées, il vaudrait mieux procéder de façon inverse: on déterminerait q dans des conditions telles que le rapport

$$\frac{{}^{90}\text{Sr du sol}}{\text{Ca diffusible (échangeable) du sol}}$$

ait une valeur précise bien connue, donc par une expérimentation en milieu limité, en vases, sur terre non calcaire, en prenant les précautions nécessaires pour que le mélange de  ${}^{90}\text{Sr}$  avec Ca diffusible soit homogène (éviter que  ${}^{90}\text{Sr}$  reste plus ou moins concentré à la surface de mottes dures et compactes, ce qui conduirait à une *divaluation* de q). Partant de la valeur de q ainsi déterminée avec précision, les écarts observés après addition de calcaire en vases, ou sur sol en place non calcaire après homogénéisation de la couche labourée, renseigneraient sur l'attaque du calcaire par les racines, ou sur le rôle du sous-sol, ce qui serait pour le moins utile à l'agronome.

#### CONCLUSIONS

Les données expérimentales semblent maintenant suffisamment nombreuses pour permettre d'aborder la solution quantitative du problème posé, ou tout au moins d'orienter la recherche d'une telle solution.

Le taux d'absorption du césium par les plantes a en général diminué de 1959 à 1960. Celui du strontium a relativement peu varié (sauf un cas de forte diminution en terre calcaire). Le quotient des rapports  ${}^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$  dans les plantes et dans le sol a également peu varié (moyenne des laitues, pommes de terre et tomates à Bordeaux : 1,04 en 1959; 0,91 en 1960). On peut donc tabler sur les observations de 1960 sans grand risque d'aboutir à des normes trop peu sévères, ni trop sévères pour  ${}^{90}\text{Sr}$ .

D'après les valeurs moyennes de c indiquées au tableau IX, 1 kg de légumes frais contiendrait, à la limite d'accumulation dans le sol, autant de  ${}^{137}\text{Cs}$  ou de  ${}^{90}\text{Sr}$  que les volumes d'eau en litres indiqués au tableau XI : ce sont les limites de la grandeur désignée ci-dessus par r et calculées d'après la formule :

$$\text{limite de r} = \frac{c d}{\lambda + \varphi}$$

r : en litres/kg

c : en  $\text{m}^2/\text{kg}$

d : hauteur d'irrigation en mm/an ou en litres/ $\text{m}^2/\text{an}$

$\lambda$  : coefficient de décroissance en  $\text{an}^{-1}$

$\varphi$  : fraction du radioélément perdue par infiltration, en  $\text{an}^{-1}$

La concentration moyenne de l'eau d'irrigation en radioélément est bien entendu supposée constante au cours des années.

TABLEAU XI

VALEURS CALCULEES DE LA LIMITE DE r

1 kg de légumes frais contiendra en moyenne, à la limite d'accumulation, autant de radioélément que r litres d'eau d'irrigation.

	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
moyenne c m <sup>2</sup> /kg	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$
$\varphi \text{ an}^{-1}$	0,005	0,02
irrigation en mm/an	limite de r en litres/kg	
300	2,25	4,7
400	3,0	6,25
600	4,5	9,5

Le point le plus criticable de ce calcul est l'évaluation de  $\varphi$  en ce qui concerne  $^{90}\text{Sr}$ . La valeur admise,  $0,02 \text{ an}^{-1}$ , est basée sur la quantité de Ca qui s'infiltré annuellement à la base de la couche labourée d'un sol neutre essentiellement calcique, d'une bonne capacité d'échange (150 millieq. par kg) sous un climat modérément pluvieux. Dans les cases lysimétriques de Versailles (drainage : 146 mm par an), le calcium infiltré annuellement est environ 0,016 pour 1 du calcium de la couche arable (30 cm), pour la moyenne 1932-1949 <sup>1)</sup>.  $\varphi$  pourrait être plus petit, si le coefficient de sélectivité du sol pour Sr par rapport à Ca est supérieur à l'unité - il n'est pas sûr qu'il en soit ainsi dans la généralité des sols -.  $\varphi$  serait plus grand en cas d'apports de sels solubles (autres que des bicarbonates) par l'eau d'irrigation ou les engrais, pour une même hauteur d'eau drainée (l'irrigation n'augmente pas le drainage, en principe, puisqu'elle est destinée à combler le déficit du bilan de l'eau). Mais il serait imprudent de tabler sur des valeurs de  $\varphi$  nettement supérieures à celle déduite des données lysimétriques, car la fraction de  $^{90}\text{Sr}$  qui s'infiltré peu à peu en dessous de la couche labourée n'échappe pas, avant longtemps, à l'absorption par les racines. En définitive, il n'apparaît pas que le tableau XI surestime la limite de r par une sous évaluation de  $\varphi$ . Au surplus, une erreur sur  $\varphi$  de  $\pm 0,01 \text{ an}^{-1}$  n'affecterait nos prévisions que de

<sup>1)</sup> BASTISSE E. - 18 années d'études lysimétriques appliquées à l'agronomie. Ann. Agron. Serie A, 1951, 727, 781

$\pm 22$  pour cent ( $\lambda \text{ }^{90}\text{Sr} = 0,025 \text{ an}^{-1}$ ). Il n'y a pas lieu d'établir des prévisions en fonction de  $\varphi$  pour une valeur moyenne de  $c$ , puisque la principale cause de variation de ces paramètres, la capacité d'échange du sol, influence chacun d'eux dans le même sens.

On pourrait encore objecter que les valeurs de  $c$  ont été établies en rapportant la radioactivité des plantes à la radioactivité totale appliquée, sans déduire de celle-ci les pertes par infiltration, et que ces ~~ces~~ valeurs de  $c$  seraient sous évaluées de ce fait. Mais il est exclu qu'en deux ans, une fraction importante de  $^{90}\text{Sr}$  ait pu s'infiltrer jusqu'à un horizon faiblement exploité par les racines.

Quant à Cs, qui est très fortement retenu dans le sol,  $\varphi$  est de toute façon petit par rapport à  $\lambda$  ( $0,026 \text{ an}^{-1}$ ). Le coefficient de sélectivité des sols naturels pour Cs par rapport à Ca étant en général de plusieurs dizaines d'unités, la valeur admise,  $0,005 \text{ an}^{-1}$ , dépasse probablement la réalité.

Voyons maintenant comment utiliser ces données pour la solution quantitative du problème. En l'absence de bases valables pour la détermination des concentrations maximales en radioéléments admissibles dans les substances alimentaires, il est seulement possible d'étudier les conséquences de l'irrigation avec de l'eau qui serait à la concentration maximale admissible pour l'eau de boisson.

Les concentrations maximales admissibles fixées par la Commission Internationale de Protection Radiologique et adoptées par la Commission compétente de la Communauté Européenne de l'Energie Atomique, ont été déterminées pour une absorption journalière de  $2200 \text{ cm}^3$ , dont 1000 correspondent à l'eau contenue dans les aliments, et en considérant que l'eau est le seul vecteur des radioéléments parvenant jusqu'à l'homme. Il en résulte que l'apport des radioéléments par l'alimentation, l'eau de boisson exceptée, ne doit pas dépasser les quantités maximales admissibles dans  $1000 \text{ cm}^3$  d'eau.

D'après les données que l'on possède sur l'alimentation moyenne française et les teneurs en eau des différents aliments, on peut calculer que, sur une année, au moins 50 pour cent de l'apport d'eau par les aliments est fourni par les divers fruits et légumes consommés frais.

En supposant, par hypothèse, que tous les aliments autres que les végétaux consommés frais sont indemnes de toute contamination radioactive, on pourrait au plus admettre que l'apport de radionuclides par la ration journalière de végétaux (correspondant à  $500 \text{ cm}^3$  d'eau), soit équivalent à celui contenu dans un litre d'eau à la concentration maximale admissible.

Or, il est bien établi que les plantes concentrent dans leurs tissus la plupart des ions de la phase liquide du milieu. Le taux de la concentration des radioéléments dans les plantes n'atteindra assurément pas le rapport de l'eau d'irrigation apportée à la substance végétale élaborée, étant donné que la concentration des radioéléments de l'eau dans les colloïdes du sol n'approchera de sa limite qu'après une série de décennies pendant lesquelles les radioéléments décroissent et sont partiellement sequestrés dans les couches profondes du sol du fait de l'infiltration.

Cependant, d'après les résultats de nos expériences, le taux de la concentration dans les plantes du  $^{90}\text{Sr}$  ou du  $^{137}\text{Cs}$  contenu dans l'eau d'irrigation dépassera assez souvent, à la limite d'accumulation, le rapport de 10 à 1, et peut approcher dans certains cas et pour certains légumes 30 à 1.

Ces nombres sont plausibles, puisque les plantes doivent évaporer 30 à 60 litres d'eau pour former 1 kg de substance végétale (tous organes compris) supposée à 10 pour cent de matière sèche. Une irrigation de 400 mm/an correspond à 57 litres d'eau par kg de légume consommable pour une production de 7 kg/m<sup>2</sup>/an. Encore l'irrigation devra-t-elle être souvent plus abondante sous climat chaud et sec en été (climat méditerranéen français par exemple).

Or les normes de l'hygiène atomique dans le domaine agricole doivent être établies non pour un cas moyen, mais dans l'éventualité de conditions sinon tout à fait extrêmes, du moins choisies parmi les moins favorables en ce qui concerne le pouvoir inhibiteur du sol, la sécheresse du climat qui augmente le besoin d'irrigation, la nature des végétaux cultivés et leur participation à un régime alimentaire plus ou moins végétarien ou lacté.

Si un facteur de concentration de 2 entre l'eau d'irrigation et la substance des végétaux peut être considéré comme sans danger d'après le raisonnement précédent, un facteur de concentration de 10 conduirait à une ingestion journalière égale à 2,8 fois  $(1,2 + 5)/2,2$  la quantité maximale ingérable.

Pour éviter ce risque la concentration de l'eau d'irrigation en  $^{90}\text{Sr}$  ne devrait pas dépasser le 1/5ème de celle indiquée par les normes. Il s'agit là d'un maximum, car le mode de calcul adopté néglige la contamination due aux autres types d'aliments. Les risques d'insalubrité deviendraient minimes en abaissant la concentration maximale permise dans l'eau d'irrigation au 1/10ème de la concentration indiquée par la C.I.P.R.

Pour  $^{137}\text{Cs}$ , il suffirait d'abaisser la concentration au 1/5ème.

Ces conclusions chiffrées ne sont encore que provisoires; elles ne tiennent pas compte de l'irrigation des prairies. Néanmoins, il apparaît certain que les concentrations maximales admissibles doivent être plus sévères pour l'eau d'irrigation que pour l'eau telle qu'elle est considérée par la Commission Internationale de Protection Radiologique. Ce point doit être bien souligné et présent à l'esprit de tous ceux qui sont appelés à prendre des décisions en matière de rejet d'effluents radioactifs, à une époque où les besoins alimentaires d'une population mondiale croissante ne pourront être satisfaits qu'en utilisant au maximum l'eau disponible pour l'irrigation, et où des projets pour le développement intensif de l'irrigation sont à l'étude, même sous des climats non arides comme celui de la moitié nord de la France.

APPENDICE

Correction de r dans l'expérience d'AVIGNON

Dans une expérience du type d'Avignon, c'est en principe la même solution mère de radioélément qui sert indéfiniment, après dilution, à la fois pour les arrosages et comme étalon pour les comptages. Soit  $i_0$  la concentration initiale de la solution d'arrosage en radioélément, par litre.

Après  $t$  années, la quantité de radioélément appliquée au sol par  $m^2$  a pour valeur actuelle :

$$N = t d i_0 e^{-\lambda t}$$

$d$  = hauteur de l'arrosage, en mm par an, ou en litres/ $m^2$ /an.

La quantité de radioélément absorbée par 1 kg de plante (dans des conditions données) est :

$$c t d i_0 e^{-\lambda t} \quad c \text{ en } m^2/kg$$

qui correspond à  $r = c t d$  litres de solution actuelle par kg de plante.

Or le problème de l'accumulation des radioéléments, tel qu'il est posé, suppose que l'on applique indéfiniment une solution de concentration  $i_0$  : au temps  $t$ , la quantité  $N'$  de radioélément présente est définie par la relation :

$$d i_0 - \lambda N' = d i_0 e^{-\lambda t}$$

$$\text{ou } N' = \frac{d i_0 (1 - e^{-\lambda t})}{\lambda}$$

soit par kg de plante :

$$\frac{c d i_0 (1 - e^{-\lambda t})}{\lambda}$$

correspondant à =

$$r' = \frac{c d (1 - e^{-\lambda t})}{\lambda} \quad \text{litres de solution } i_0 \text{ par kg de plante}$$

$$r' = r \frac{d'où}{1 - e^{-\lambda t}} \frac{\lambda t}{\lambda t}$$

Au bout de 4 ans, le facteur de correction est voisin de 0,95 pour  $^{90}\text{Sr}$  et  $^{137}\text{Cs}$ .

**FIN**