

ABSORPTION DU ^{226}Ra PAR LES PLANTES CULTIVÉES

R. KIRCHMANN, R. BOULENGER

Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire, Mol, Belgique

et A. LAFONTAINE

Institut d'Hygiène et d'Épidémiologie, Bruxelles, Belgique

Résumé—L'absorption de ^{226}Ra par plusieurs plantes cultivées (Ray-grass, trèfle violet, chou, carotte, pomme de terre, orge et betterave) a été examinée à travers les expériences effectuées en champs d'essais et en serre. La spectrométrie gamma a été utilisée pour la mesure des teneurs en ^{226}Ra des divers échantillons. Pendant les expériences effectuées en serre, on a examiné l'influence sur l'absorption de ^{226}Ra par les plantes des apports de Ca sous les formes hydroxydes et chlorures. Des comparaisons de l'absorption de ^{226}Ra par ray-grass de cinq divers sols, à deux niveaux de contamination ont été effectuées; les résultats ont montré qu'il y a une corrélation inverse entre le ^{226}Ra de la plante et la quantité de matériel sorptif du sol. Les résultats des expériences en champs d'essais réalisées durant trois années consécutives, dans un sol sablonneux dont la couche supérieure a été antérieurement soumise à la contamination artificielle aux différents niveaux par ^{226}Ra , sont donnés. Ces résultats ont révélé qu'il y a quelques différences entre l'absorption de ^{226}Ra parmi les espèces végétales étudiées; par ailleurs, la distribution de ^{226}Ra dans les plantes n'est pas uniforme. En général les valeurs O.R. ($(^{226}\text{Ra}/\text{Ca}) \text{ plante}/(^{226}\text{Ra}/\text{Ca}) \text{ sol} = \text{O.R.}$) montrent la présence d'une discrimination très forte contre ^{226}Ra dans le transfert entre le sol et la plante.

INTRODUCTION

La contamination, par les isotopes du radium, des aliments de l'homme, notamment des végétaux, est mentionnée dans la littérature. (1-5) Cependant il y a peu de données sur l'absorption de ^{226}Ra par des végétaux cultivés dans des conditions identiques, ainsi que sur les facteurs susceptibles d'influencer l'absorption de ce radionuclide par la plante. (6)

Le présent mémoire décrit des expériences, effectuées en champs d'essais et en serre, sur l'absorption de ^{226}Ra par divers végétaux cultivés des régions tempérées; l'influence de l'apport de calcium au sol, ainsi que l'influence du type de sol sont également examinées.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

A. Expériences en serres

1. *Étude de l'influence de l'apport de calcium au sol.* Les espèces végétales suivantes ont été mises

en expériences: pomme de terre, carotte, betterave, chou, ray-grass, trèfle violet et orge. La culture a été effectuée en pot contenant du sable tourbeux, sol de même nature que celui des champs d'essais contaminés. Le niveau de contamination du sol utilisé pour les expériences en serre était de $100 \mu\text{Ci } ^{226}\text{Ra}/\text{kg}$ de sol sec.

Le traitement appliqué consistait en apport de diverses doses de calcium (0 à $62,5 \text{ me Ca}/100 \text{ g}$ de sol). Deux formes chimiques ont été employées dans une étude parallèle: hydroxyde et chlorure. Chaque essai a été réalisé en répétition triple.

2. *Étude de l'influence du type de sol.* Nous avons employé comme plante-test le ray-grass, cultivé dans des pots contenant 1 kg de divers types de sols belges. Trois des caractéristiques de ces substrats sont données dans le tableau 1.

Tableau 1.

Type de sol	Matériel sorptif *	Ca total (%) (mg/100 g sol)	pH (H ₂ O)
Sablonneux I	29,0	160	6,0
Sablonneux II	22,0	190	6,75
Sol brun acide	69,2	410	6,55
Sol brun sur limon lœssique	51,5	500	7,20
Sol podzolique sur sable	10,0	83	6,4

* Teneur en matériel sorptif égale au pourcentage de la fraction 0-20 μ , plus deux fois le pourcentage d'humus.

Deux niveaux de contamination des sols étudiés ont été appliqués; ces niveaux étaient respectivement de 0,5 et de 5 μ Ci ²²⁶Ra/kg de sol sec.

B. Expériences en champs d'essais

—Principe de l'expérimentation: Nous avons appliqué la méthode dite du "carré latin" pour la disposition des parcelles. Le nombre total de parcelles était de 49 (7 végétaux \times 7 répétitions); chacune de ces parcelles avait une surface utile de 4 m².

Des plantes présentant un intérêt économique ont été choisies. Les espèces végétales étudiées sont les mêmes que celles utilisées pour l'expérience I en serre.

Dans chacune des parcelles, la zone de bordure et la zone médiane ont été récoltées séparément; seule cette dernière a été analysée car les plantes qui y ont poussé se sont trouvées dans des conditions de milieu comparables pour chacune d'elles. Les différentes organes à analyser sont séparées au moment de la récolte et constituent des échantillons distincts. Des échantillons de sol (sable tourbeux) ont aussi été prélevés sur chacune des parcelles.

C. Technique de mesures

La spectrométrie gamma a été utilisée pour la mesure des teneurs en ²²⁶Ra des divers échantillons. Le pic gamma de 610 KeV du ²¹⁴Bi, descendant du ²²⁶Ra, a été choisi pour effectuer la mesure. Comme, dans la chaîne de

désintégration, un déséquilibre apparaît toujours au niveau du radon-222 qui est gazeux et diffuse hors de l'échantillon, nous avons été amenés à sceller les flacons afin de rétablir l'équilibre de la chaîne radio-active jusqu'au niveau du ²¹⁴Bi. L'activité en ²¹⁴Bi est déterminée par planimétrie du pic, mesuré après un délai de 20 jours assurant une activité égale à plus de 97% de celle atteinte à l'équilibre, en comparaison avec celui d'un étalon pris dans les mêmes conditions.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

A. Expériences en serre

1. *Étude de l'influence de l'apport de calcium au sol.*
Les teneurs en ²²⁶Ra des organes végétaux observés pour des apports de calcium sous les formes hydroxydes et chlorures sont données dans le tableau 2.

L'analyse statistique, effectuée sur des séries de résultats dont l'examen permet d'envisager une influence éventuelle de l'apport de calcium, a montré que le traitement n'a pas eu d'influence significative ($P = 0,05$) sur la teneur en ²²⁶Ra de la matière sèche, tant du feuillage que des racines. Les valeurs du critère F* sont données dans le tableau 3.

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par K. B. Mistry⁽⁶⁾ d'après ses expériences sur divers végétaux, en aquiculture; selon cet au-

* Test de Fisher et Snedecor.

Tableau 2. Teneurs en ^{226}Ra des organes de diverses espèces végétales cultivées sur sol contaminé, amendé par différentes doses de Ca

Traitement me/100 g sol	Concentration en ^{226}Ra (cpm/g matière sèche)												
	Trèfle violet		Ray-grass		Orge		Betterave		Carotte		Pomme de terre		
	R	PA	R	PA	R	PA	R	PA	R	PA	R	PA	Tuber
CaCl_2													
0	3844*	2538	4804	5490	5208	964	6902	11983	9450	19272	5506	3473	301
12,5	(†)	—	—	2995	4595	616	6398	10290	14414	9003	4375	2061	337
37,5	—	—	4597	2629	4639	788	4461	11079	5598	14044	3816	978	256
62,5	—	—	4310	2570	2156	1028	7643	13026	8548	6227	4277	1354	335
$\text{Ca}(\text{OH})_2$													
0	2300	3279	3616	2735	3651	759	2731	9086	5097	9903			
12,5	1297	583	4448	1906	3129	342	2378	4444	2722	2979			
37,5	1006	799	4766	1325	4179	455	2436	3003	3963	1770			
62,5	2501	942	5192	922	3914	254	4666	1929	2989	1800			

* Valeur moyenne \bar{x} pour 3 répétitions ($n = 3$). La probabilité P que la valeur vraie soit extérieure à l'intervalle $\bar{x} \pm t_p s_{\bar{x}}$ est de 0,05; t_p est le fractile de la loi de Student ($t_p = 4,303$ pour $P = 0,05$) avec $2DL$ (nombre de degrés de liberté = $n-1$).

† Plantes mortes, toxicité due au chlorure.

R = Racine.

PA = Partie aérienne (tige + feuille).

 Tableau 3. Valeurs du critère F relatives à l'apport de calcium au sol

Traite- ment	Plante	Organe	F (calculé)	F (tables) pour	
				$P = 0,05$	$P = 0,01$
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Trèfle violet	Partie aérienne	4,6	5,99	13,74
	Ray-grass	id.	1,10	id.	id.
	Orge	id.	< 0	id.	id.
	Betterave	id.	3,21	id.	id.
CaCl_2	Pomme de terre	id.	0,20	id.	id.

teur, bien que l'absorption du radium soit déprimée par l'addition de calcium à la solution nutritive, il n'y a pas de relation étroite entre les deux ions. D'autre part cet auteur a observé que l'absorption de ^{226}Ra est quelque peu réduite lorsque le pH passe de 4 à 6.

L'examen du tableau 2 montre une diminution de teneurs en ^{226}Ra des organes des plantes cultivées sur sol traité par $\text{Ca}(\text{OH})_2$; cependant, cette diminution est statistiquement non significative ($P = 0,05$) (voir tableau 3). Cette tendance à la diminution pourrait être rapprochée de l'élévation du pH consécutive à l'apport de calcium sous forme hydroxyde, ainsi que le montre le tableau 4.

Tableau 4. Effet de l'apport de calcium sur le pH du sol

Forme chimique	Traitement me Ca/100 g sol	pH
CaCl_2	0	5,95
	12,5	5,80
	37,5	5,25
	62,5	5,10
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	0	5,90
	12,5	7,20
	37,5	8,25
	62,5	8,55

A. J. Andersen⁽⁷⁾ a étudié l'influence de l'apport de CaCO_3 (2 me/100 g sol) sur l'absorption de ^{89}Sr par le ray-grass et le trèfle violet; il n'a pas constaté, pour la plupart des types de sol utilisés, de réduction significative d'absorption consécutive à cet apport. Cependant, si l'apport augmente, une réduction de ^{89}Sr dans la plante est constatée. Cet auteur a aussi observé une baisse considérable de rendement lorsque la forme chlorure est employée, le trèfle violet étant plus sensible à cet effet toxique que le ray-grass. Une constatation similaire a été faite au cours de nos essais.

2. *Étude de l'influence du type de sol.* Quelques caractéristiques des cinq sols utilisés sont mentionnées dans le tableau 1.

Les rendements en matière sèche et les

teneurs en ^{226}Ra des organes du ray-grass, employé comme plante-test, figurent dans le tableau 5.

Une corrélation inverse entre les teneurs en ^{226}Ra des organes végétaux et la quantité de matériel sorptif du sol est observée. Les valeurs des coefficients de régression, calculées à partir des résultats du tableau 5, sont respectivement de: $-0,014 \pm 0,003$ et $-0,005 \pm 0,003$ ($P < 0,01$) pour les parties aérienne et racinaire du ray-grass.

Lors d'une étude⁽⁸⁾ sur la contamination de certains sols par ^{226}Ra , la détermination des coefficients de distribution a indiqué que la tourbe avait une capacité de sorption dix fois plus forte que le sable environnant (Tourbe: Kd variant de 1500 à 3000; Sable: Kd variant de 150 à 200).

3. *Facteurs de concentration observés.* Les expériences sur substrats uniformément contaminés (sol et aquiculture) permettent le calcul des facteurs de concentration donnés par la relation

$$F C =$$

$$\frac{^{226}\text{Ra}/\text{g matière sèche végétale}}{^{226}\text{Ra}/\text{g substrat (sol ou solution nutritive)}}$$

Les valeurs calculées pour les diverses espèces végétales étudiées sont données dans le tableau 6.

L'examen du tableau 6 montre que, dans le cas de culture sur sol, les facteurs de concentration sont du même ordre de grandeur (unité ou inférieur). Quelques valeurs F C intéressantes sont à noter: de très faibles valeurs pour les tubercules de pomme de terre et les épis d'orge; les valeurs les plus élevées sont observées pour le feuillage des betteraves, pommes de terre et carottes; la valeur relativement élevée pour la gousse du pois est également à souligner.

La culture sur solution nutritive donne des valeurs F C beaucoup plus élevées pour les racines, de deux ordres de grandeur par rapport au feuillage. Une constatation analogue a été faite par K. B. Mistry⁽⁶⁾ pour l'orge, le pois, le maïs et la tomate.

Cette différence dans le niveau de contamination des organes végétaux selon le substrat de culture est probablement due au degré élevé de rétention du radium sur les surfaces

Tableau 5. Rendement et teneurs en ^{226}Ra du ray-grass cultivé sur divers types de sol

Sols (Type)	Apport de ^{226}Ra ($\mu\text{Ci/kg}$ sol)	Répét.	Racine		Partie aérienne (2ème coupe)	
			Rendem. g ms/pot	^{226}Ra (pCi/g ms)	Rendem. g ms/pot	^{226}Ra (pCi/g ms)
Sablonneux I	0	1	4,13	3,6	1,02	65
		2	3,07	3,2	0,45	< 20
	0,5	1	4,36	252	0,63	175
		2	5,83	171	0,64	119
	5	1	5,80	4135	0,87	1374
		2	4,57	3285	0,83	915
Sablonneux II	0	1	7,37	1,5	1,24	± 10
		2	7,87	1,5	1,24	± 12
	0,5	1	12,37	178	1,25	136
		2	8,55	152	1,35	88
	5	1	12,12	2558	1,58	1010
		2	10,77	1858	1,85	1299
Brun acide	0	1	11,16	2	4,34	$\leq 2,5$
		2	6,76	4	2,79	< 3,5
	0,5	1	9,70	—	3,83	29
		2	8,94	93	3,18	28
	5	1	8,37	1195	3,05	361
		2	8,53	1407	3,89	334
Brun sur limon lössique	0	1	3,98	10	1,43	14
		2	4,26	5	0,90	18
	0,5	1	4,14	186	0,90	61
		2	3,78	167	1,02	48
	5	1	5,59	2685	1,34	576
		2	3,87	2586	1,00	700
Podzolique sur sable	0	1	2,54	12	0,51	< 2
		2	2,59	6	0,31	< 3
	0,5	1	2,64	268	0,34	133
		2	1,81	287	0,39	253
	5	1	2,72	3642	0,30	2479
		2	3,33	3906	0,53	3018

du sol. Ce qui a pour conséquence, comme le souligne K. B. Mistry,⁽⁶⁾ que dans les sols la disponibilité du radium pour les plantes est considérablement plus faible que celle du strontium et du calcium.

B. Expériences en champs d'essais

Les résultats de ces expériences, réalisées durant trois années consécutives, nous ont permis de calculer les facteurs de concentration

ainsi que le rapport observé (O.R.). Pour ces calculs, le sol pris en considération est la couche explorée par les racines.

Le tableau 7 permet de comparer l'absorption du ^{226}Ra par différentes espèces végétales placées dans les mêmes conditions de milieu; les valeurs F C moyennes, minimales et maximales observées sont indiquées.

Ce tableau, qui donne les valeurs de l'O.R. (organe/sol) permet aussi de comparer le trans-

Tableau 6. Facteurs de concentration (F.C.) pour ^{226}Ra chez des plantes cultivées sur substrat contaminé d'une façon homogène

Espèces	Organe	F.C.	
		Culture sur sol	Solution nutrit.
Ray-grass	Racine	0,63	2190
	Feuillage: 1ère coupe	0,71	67
Trèfle violet	2ème coupe	0,53	67
	Racine	0,54	—
Orge	Feuillage: 1ère coupe	0,48	68
	2ème coupe	0,32	—
Chou	Racine	0,32	35
	Paille	0,83	0,31
	Épi	0,07	0,16
Carotte	Racine	0,39	—
	Tige	0,31	—
	Feuille	0,75	—
Betterave	Racine	0,29	—
	Feuillage	1,02	—
Pomme de terre	Racine	0,21	—
	Feuillage	1,38	—
	Tubercule	0,57	—
Pois	Racine	1,07	—
	Feuillage	0,024	—
Haricot	Racine	1,8	2750
	Gousse	0,60	30
	Racine	3,1	88
Haricot	Feuillage	—	710
	Gousse	0,36	22
		<0,1	2,3

fert du radium et du calcium, du substrat au sein du végétal.

On remarque qu'il y a une forte discrimination contre le ^{226}Ra dans le transfert du sol à la plante. Nos expériences en aquiculture⁽⁹⁾ et celles de K. B. Mistry⁽⁶⁾ ont permis de faire la même constatation en ce qui concerne la partie aérienne des végétaux étudiés.

L'O.R. varie selon les espèces et selon les organes.

L'analyse statistique des résultats des trois années de culture a montré notamment que:

(1) Le teneur en ^{226}Ra du feuillage du ray-grass

est significativement plus élevée ($P = 0,05$) que celle du feuillage du chou et de l'orge.

(2) Le rapport des concentrations en ^{226}Ra dans l'épi d'orge et la paille est de $0,41 \pm 0,13$ ($P = 0,05$).

(3) La valeur du facteur de concentration pour le ^{226}Ra dans le tubercule de pomme de terre est de $0,016 \pm 0,0024$ ($P = 0,05$).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Messieurs L. Schotsmans et O. Van der Borcht pour l'aide appréciée apportée dans l'analyse statistique des

Tableau 7. Facteurs de concentration (F.C.) et rapport observé (O.R.) pour Ra-226 chez des plantes cultivées en champs d'essais contaminés superficiellement (1961)

Espèce	Organe	F.C.			O.R. (Ra/Ca) organe (Ra/Ca) sol
		Moyen	Minim.	Maxim.	
Ray-grass	Racine	0,58	0,34	1,01	—
	Feuillage	0,08	0,02	0,19	0,051
Trèfle violet	Racine	—	—	—	—
	Feuillage	0,27	0,08	0,44	0,046
Orge	Racine	0,63	0,39	0,88	—
	Paille	0,05	0,01	0,15	0,028
	Épi	0,015	0,005	0,03	—
Chou moëllier	Racine	0,28	0,14	0,55	0,015
	Tige	0,57	0,02	0,99	0,06
Carotte	Feuille	0,40	0,03	1,00	0,03
	Racine	0,09	0,07	0,10	0,12
Betterave	Feuillage	0,09	0,08	0,10	—
	Racine	0,045	0,04	0,05	—
Pomme de terre	Feuillage	0,09	0,03	0,16	—
	Racine	0,55	0,25	0,85	—
	Feuillage	0,25	0,08	0,57	—
	Tubercule	0,016	0,011	0,038	—

résultats. Leurs remerciements vont également à Monsieur J. Colard et à ses collaborateurs qui ont effectué les mesures spectrométriques des échantillons.

RÉFÉRENCES

1. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. Rept. Gen. Assembly, United Nations, New York (1962).
2. W. V. MAYNEORD et C. R. HILL. *Nature* **184**, 667-669 (1959).
3. F. X. ROSER. *Annals. Acad. Brasil. Ciencias* **30**, 24-25 (1958).
4. M. EISENBUD, H. PETROW, R. T. DREW F. X. ROSER, G. KEGEL et T. L. CULLEN. *The Natural Radiation Environment*. A. S. Adams and W. M. Cowder, Editors, Univ. Chicago Press, Chicago, Ill., 837-854 (1964).
5. R. C. TURNER, J. M. RADLEY et W. V. MAYNEORD. *Health Phys.* **1**, 268-273 (1958).
6. K. B. MISTRY. ARCL 10, 86-89. H.M. Stationery Office, London (1963).
7. A. J. ANDERSEN. *Soil Science* **95**, 52-59 (1963).
8. L. BAETSLE. Communication personnelle.
9. R. KIRCHMANN, R. RONCUCCI et J. M. MOUSNY. Isotopes and radiation in soil plant nutrition studies, 277-300, Seminar I.A.E.A., Vienna (1965).