

## Etude expérimentale du transfert du $^{90}\text{Sr}$ et du $^{137}\text{Cs}$ d'un sol de la région du Cap Vert à l'arachide

J. DELMAS, A. GRAUBY\*, R. PAULIN, C. RINALDI\*\*,  
R. NDOYE, S. SECKGASSAMA\*\*\*

(Manuscrit reçu le 20 mars 1987)

### RÉSUMÉ

Certaines caractéristiques d'un sol africain, représentatif des grandes régions arachidières de l'Ouest africain, favorisent le transfert à la graine d'arachide du  $^{90}\text{Sr}$  et du  $^{137}\text{Cs}$ . Le calcul du risque devrait tenir compte de ce phénomène, soit dans le cas d'un dépôt au sol consécutif à un accident nucléaire, soit dans le cas d'une irrigation avec une eau contenant des radionucléides.

### ABSTRACT

Some peculiarities of an African soil, typical of the earthnut-growing regions of West Africa, promote a transfer of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  to the earthnut seed. The risk assessment should take this process into account, either in the case of a deposition at ground level resulting from a nuclear accident, or in the case of irrigation using water labelled with radionuclides.

## 1. INTRODUCTION

Dans les pays tropicaux, qui ne sont pas à l'abri des retombées consécutives à un accident nucléaire, les projets et les réalisations dans la recherche nucléaire, l'industrie de l'uranium et de l'électronucléaire posent le problème de l'évaluation des conséquences radiologiques pour les populations locales et européennes à travers les échanges agro-alimentaires. En effet, les produits consommables de ces régions occupent une place non négligeable dans la ration alimentaire de leurs habitants et ceux de l'Europe occidentale. Ainsi, une enquête dans le département du Var a montré que

---

\* Commissariat à l'énergie atomique, Institut de protection et de sûreté nucléaire, DERS, Service d'études et recherches sur l'environnement, CEN-Cadarache, 13108 Saint-Paul-lez-Durance Cedex 147.

\*\* Institut des isotopes de la Faculté de médecine de Marseille (IRAMIR), 27, bd Jean Moulin, 13385 Marseille Cedex 5.

\*\*\* Faculté de médecine et de pharmacie de l'Université de Dakar, Sénégal.

les produits tropicaux constituaient 19 % des aliments liquides et 13 % des aliments solides consommés par la population.

Il faut distinguer les produits tropicaux depuis longtemps utilisés en Europe (sucre de canne, épices, thé, café, cacao, huile d'arachide) et ceux qui, avec l'amélioration des moyens de conservation et de transport, sont apparus depuis quelques années sur les marchés européens (fruits et légumes frais, poissons et crustacés surgelés). La consommation de la première catégorie de ces produits est stable et ancienne. La consommation de la deuxième catégorie semble, elle, en plein développement, car elle permet une diversification de la nourriture pendant la période hivernale et elle est, parfois, concurrentielle des produits européens de saison. La part des produits tropicaux, d'après cette enquête, semble en pleine croissance, d'autant plus que l'élargissement de la gamme des produits alimentaires s'accompagne d'une évolution des mentalités induite par le développement des communications internationales et des grands mouvements migratoires.

Cette importance des produits exotiques dans la ration alimentaire a entraîné le Service d'études et de recherches sur l'environnement (SERE) du Département d'études et recherches en sécurité de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire ainsi que l'Institut des isotopes de la Faculté de médecine de Marseille en collaboration avec l'Université de Dakar, à entreprendre l'étude des modalités de transfert des produits de fission dans les produits tropicaux en vue de connaître les conséquences sanitaires de la dispersion de ces radionucléides par les installations nucléaires.

Il n'existe pas actuellement d'études sur le transfert à partir du sol des produits de fission pour ce type de denrée. Aussi, des expérimentations ont-elles été entreprises à partir de 1984 en pots sur un terrain clôturé et balisé de la Faculté de médecine et de pharmacie de Dakar en collaboration avec le Laboratoire de biophysique et de médecine nucléaire. Elles ont pour but de fournir des taux de transfert pour l'arachide, la banane et l'ananas dans des conditions climatiques représentatives. Nous présentons ici, les résultats concernant le transfert de  $^{90}\text{Sr}$  et de  $^{137}\text{Cs}$  dans l'arachide à partir d'un sol de la région du Cap Vert au Sénégal. Le Sénégal est un des grands producteurs mondiaux de l'arachide avec l'Inde, la Chine continentale, le Nigeria et les Etats-Unis. L'arachide représente environ 90 % de la production des oléagineux africains.

L'arachide est une légumineuse annuelle. Son mode de fructification est particulier. Le fruit est enterré par le gynophore <sup>(1)</sup>. On distingue deux types : le type africain et le type asiatique. Il y a également des formes à durée de végétation courte et d'autres à durée de végétation longue. C'est une plante d'une extrême rusticité dont la majeure partie de la production provient de cultures pluviales traditionnelles. Elle sert à la préparation de l'huile : 2 858 milliers de tonnes d'huile d'arachide ont été produits annuellement entre 1962 et 1966. Il y a également toute une série de spécialités produites à partir de l'arachide : savon, beurre d'arachides grillées, séchées, enrobées de sucre, de chocolat, de caramel. Le tourteau est utilisé pour l'alimentation des animaux.

---

(1) Gynophore : partie du fruit lui-même qui s'allonge après la fécondation de l'ovaire, se dirige vers le sol dans lequel il pénètre. La gousse se développe après cette pénétration.

## 2. ORGANISATION DE L'EXPÉRIENCE

L'ensemble du projet comprend trois sols africains aux caractéristiques variées, adaptées aux différentes cultures envisagées. Ces trois sols ont été prélevés dans la région du Cap Vert : un sol hydromorphe prélevé dans la commune de Camberène, un sol volcanique prélevé dans la commune d'Ouakam et un sol ferrugineux tropical prélevé dans l'enceinte de la Faculté de Dakar-Fann. Ces trois sols sont dépourvus de calcaire total et actif (tableau I).

TABLEAU I

### Caractéristiques des sols

1 Sol hydromorphe - 2 Ferrugineux tropical - 3 Sol volcanique

		1	2	3	
Granulométrie de la terre fine % <sub>00</sub>	Sable grossier	461	483	181	
	Sable fin	388	494	295	
	Limon grossier	31	11	147	
	Limon fin	39	7	92	
	Argile	81	5	285	
Carbone	%	21	1,84	5,72	
Azote	% <sub>00</sub>	2,133	0,255	0,605	
Humidité équivalente		89	23	194	
pH	Eau	7,4	8,6	7,0	
	KCl	N/50	7,1	8,3	6,6
Calcaire	Total	% <sub>00</sub>	0	0	0
	Actif	% <sub>00</sub>	—	—	—
P	ppm	45	64	35	
Manganèse	ppm échangeable	2,5	3,3	8,5	
Fer libre	ppm	253	29	31	
Bore	ppm	2,28	1,46	2,08	
Bases échangeables	Ca	69,3	49,63*	100	
	Mg	31,8	4,57	56,12	
	K	2,8	1,45	2,75	
	Na	26,99	0,76	9,25	
Cap. tot. d'échange		80	6	148	
Conductivité mS		0,99	0,10	0,26	
CINa théorique à partir de la conductivité totale	% <sub>00</sub>	2,35	0,25	0,60	
CINa réel	% <sub>00</sub>	1,73	0,03	0,34	

\* Certains sols ferrugineux tropicaux ont, parfois, des teneurs en bases échangeables supérieures à la capacité totale d'échange. La différence est telle qu'elle nous semble douteuse. Elle sera vérifiée dans la prochaine étude.

Le sol ferrugineux tropical est représentatif des grandes régions arachidières de l'Ouest africain. Il est léger, clair, sableux, pauvre. Grâce à ses qualités, il est meuble, donc adapté au travail à la main, à la pénétration des gynophores et à l'arrachage lors de la récolte. Les sols argileux, donc lourds, ne sont pas adaptés à la culture villageoise. En effet, les opérations culturales sont exécutées manuellement. Dans le meilleur des cas, une petite mécanisation par traction animale ne permet pas, non plus, la mise en culture de sols lourds.

Le sol hydromorphe, sol de bas fond, est habituellement utilisé pour les cultures maraîchères ou le riz, cultures qui sont plus rémunératrices.

Le sol volcanique plus argileux est un sol typique du Cap Vert mais non caractéristique de la culture de l'arachide.

Nous avons donc choisi pour notre premier essai, le sol ferrugineux tropical (sol latéritique). La culture d'arachides sur sol ferrugineux tropical a été conduite avec 3 containers semi-sphériques de 1 m de diamètre et 40 cm de haut. Le 23 octobre 1984, le sol d'un des containers a été mélangé avec du  $^{90}\text{Sr}$  de façon à obtenir une activité homogène à raison de  $0,035 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Le sol d'un autre container a été mélangé avec du  $^{137}\text{Cs}$  à raison de  $0,042 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Un troisième enfin a servi de témoin. Chaque container contenait 160 kg de sol. Sur chacun de ces containers, des graines d'arachides ont été semées en novembre 1984. La variété utilisée est cultivée, habituellement, au Sénégal, pour la production d'huile. Les containers ont été laissés à l'air libre, exposés à l'action des éléments climatiques. La culture a duré 100 jours. L'arrosage a été pratiqué tous les 1 à 2 jours de façon à maintenir une teneur en eau voisine de la capacité au champ. 50 g par pots d'engrais minéral composé dont la formule exprime en N,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  est 10-5-12 ont été apportés en surface avant le semis.

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1. Transfert de $^{90}\text{Sr}$ dans l'arachide

Le facteur de transfert dans la graine d'arachide de  $^{90}\text{Sr}$  apporté au sol avant le semis et réparti de façon homogène dans ce sol est de 0,6 (tableau II). Ce facteur est environ 8 fois supérieur à la moyenne des facteurs de transfert dans les fruits observés dans 97 expérimentations effectuées par les chercheurs du SERE et par les membres de l'Union internationale des radioécologistes (tableau III).

Pour les expérimentations qui ont donné des facteurs de transfert du  $^{90}\text{Sr}$  relativement élevés, des explications ont été avancées par les expérimentateurs. Ces explications sont basées sur les caractéristiques des sols et la composition minérale des végétaux en particulier leur teneur en calcium (Ca). En ce qui concerne ce dernier point, la teneur en Ca de la graine d'arachide est moyenne. Elle est voisine de celle que l'on trouve habituellement dans les fruits charnus, mais elle est inférieure à celle des fruits secs comme l'amande, la noisette, le soja ou certains fruits comme l'olive.

TABLEAU II  
**Facteurs de transfert du  $^{90}\text{Sr}$  et du  $^{137}\text{Cs}$  du sol à l'arachide**  
 (Bq/kg végétal frais / Bq/kg sol sec)

	Feuille	Graine
$^{90}\text{Sr}$	3,6	0,6
$^{137}\text{Cs}$	2,6	1

TABLEAU III  
**Facteurs de transfert racinaire du radiostrontium et du radiocésium dans les végétaux suite à un apport précédant le semis et homogénéisé en volume**

(Bq/kg végétal frais / Bq/kg sol sec)

	Feuille			Fruit		
	m	$\sigma$	N	m	$\sigma$	N
Radiostrontium	$1,8 \text{ E}^{-1}$	13	55	$7,6 \text{ E}^{-2}$	12	97
Radiocésium	$1,7 \text{ E}^{-2}$	8,7	49	$3,0 \text{ E}^{-2}$	5,3	84

m Moyenne géométrique

$\sigma$  Ecart-type géométrique

N Nombre de valeurs expérimentales répertoriées

L'arachide semble donc avoir une affinité moyenne pour le Ca (tableau IV) bien que cet élément soit essentiel pour la formation des graines. Les gynophores jouent un rôle particulier, notamment dans l'absorption du calcium. En Afrique de l'Ouest où les sols à arachides ont des niveaux en calcium relativement bas, il n'a pas été possible de mettre en évidence des réponses systématiques au calcium pour les cultures traditionnelles concernant l'arachide d'huilerie (petites graines). Cependant, dans quelques situations particulières, l'usage du Ca est indispensable pour réaliser une culture correcte.

TABLEAU IV  
**Composition minérale de l'arachide, l'amande, la noisette, la noix, le soja, l'olive**  
 % de la partie comestible

	Eau	K	Ca
Cacahuète sèche	3,2	0,650	0,066
Amande sèche *	4,7	0,800	0,254
Noisette sèche *	3,5	0,600	0,200
Noix sèche *	3,3	0,600	0,080
Soja * grains entiers secs	7,5	1,83	0,280
Olive verte *	70	1,526	0,100

\* Tiré de «Tables de composition des aliments» L. Randoïn et al., Institut scientifique d'hygiène alimentaire, Paris: J. Lanore.

Les radioécologistes ont montré que la propriété qu'ont certaines plantes d'absorber plus particulièrement du calcium pouvait être étendue au strontium qui est un homologue sur le plan chimique. L'arachide devrait donc montrer une affinité moyenne pour le Sr, tout au moins pour les variétés utilisées dans notre expérimentation à petites graines. La teneur en Ca du fruit de l'arachide observée dans nos essais n'explique donc pas complètement ce facteur de transfert. Est-ce que le gynophore contribue à l'absorption du Sr ? Nos essais ne sont pas de nature à pouvoir mettre en évidence ce phénomène. Par contre, l'absence de calcium sous forme de calcaire total ou actif dans le sol peut contribuer à une baisse relative du calcaire sous forme échangeable dans le sol et donc contribuer à augmenter la mise en solution du Sr du fait des équilibres chimiques au niveau de la solution du sol. Cette augmentation du Sr dans la solution du sol pourrait être à l'origine de sa forte absorption relative par la plante. Celle-ci, en effet, bien qu'ayant une affinité moyenne pour le Ca et donc le Sr, a des besoins qui sont difficilement comblés par la faible teneur en Ca dans le sol considéré.

### 3.2. Transfert de $^{137}\text{Cs}$ dans l'arachide

Les facteurs de transfert de  $^{137}\text{Cs}$  dans la graine et la feuille de l'arachide sont respectivement 1 et 2,6 (tableau II). Ces facteurs sont élevés. Les moyennes observées sur 84 expérimentations (UIR et SERE) sur les légumes fruits donnent 0,03. Le facteur de transfert observé sur la graine d'arachide cultivée sur sol ferrugineux tropical est donc 30 à 35 fois plus élevé que celui observé sur les légumes cultivés habituellement en Europe.

Plusieurs explications ont été avancées pour expliquer les valeurs élevées des facteurs de concentration dans les végétaux. Elles ont pu être reliées aux teneurs en K des végétaux et aux caractéristiques des sols. Là aussi, les teneurs en K de l'arachide apparaissent comme moyennes et ne semblent pas être une explication suffisante, d'autant que les réponses de l'arachide à la potasse sont rares et que l'application de potassium sous forme de chlorure ou de sulfate a souvent un effet dépressif. Par contre, ces mêmes expérimentations ont montré qu'une faible teneur en argile et une faible capacité d'échange pouvait donner lieu à des facteurs de transfert élevés. C'est ce que nous constatons pour le sol utilisé.

## CONCLUSION

Les facteurs de transfert de  $^{90}\text{Sr}$  et de  $^{137}\text{Cs}$  aux graines d'arachide, obtenus expérimentalement en containers sur un sol africain ferrugineux tropical, sont plus élevés que les facteurs de transfert moyens observés sur des plantes et des sols européens. L'examen de la composition minérale des graines d'arachide montre une affinité moyenne de la plante pour Ca et K et n'explique donc pas les teneurs en Sr et Cs relativement importantes relevées dans les graines. Par contre, les caractéristiques du sol ferrugineux tropical, mis en œuvre, peuvent expliquer ces taux de transfert. En effet, dépourvus de calcium total et actif, les équilibres au niveau de la solution du sol peuvent permettre un transfert important de  $^{90}\text{Sr}$  du sol à la plante. La faible teneur en argile et la faible capacité d'échange peuvent expliquer le transfert élevé de  $^{137}\text{Cs}$ .

Ce sont justement ces caractéristiques qui favorisent le transfert des radioéléments du sol à la plante, légèreté et faible capacité d'échange, qui rendent ce sol, très répandu en Afrique, propre à la culture de l'arachide. Les trois sols africains présentés au début du rapport seront testés parallèlement ultérieurement à l'aide de l'arachide ou du mil.

Actuellement, la culture de l'arachide est réalisée à l'échelon individuel ou familial et ne met en œuvre que des techniques traditionnelles. Dans ce cadre, nos résultats peuvent contribuer au calcul du risque si l'on envisage les dépôts au sol suite à un rejet atmosphérique accidentel.

Notre étude montre, également, l'intérêt de prendre en compte, pour l'évaluation du risque, la nature du sol et le mode de consommation de la graine (huile ou arachide de bouche) dans l'éventualité d'une irrigation pratiquée avec de l'eau dans laquelle seraient introduits les rejets d'installations nucléaires. Ces premiers résultats mettent en évidence l'existence d'une différence entre les facteurs de transfert des radionucléides en zone tempérée et en zone tropicale. Afin de confirmer cette hypothèse et déterminer les incidences pour l'évaluation du risque radiologique, nous allons étendre nos expérimentations à d'autres produits exotiques, en particulier ceux qui entrent dans les 19 % de notre ration alimentaire.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] BOVARD P., DELMAS J., DISDIER R., GRAUBY A. Estimation de la contamination de la ration alimentaire. Etude du transfert du césium et du strontium à travers la plante jusqu'au produit consommable. Données expérimentales. In: Seminar on agricultural and public health aspects of environmental contamination by radioactive materials, Vienne (Autriche), 24-28 mars 1969. Vienne: AIEA, 1969, 113-124.
- [2] COLLE C., SICLET F., SAAS A. Principaux facteurs de transfert sol-plante obtenus en France pour des sols prélevés à proximité de sites PWR. In: Séminaire sur le transfert à l'homme des radionucléides libérés dans l'environnement par les installations nucléaires, Bruxelles (Belgique), 17-21 octobre 1983. Luxembourg: Communautés européennes, 1984, vol. 1, 371-387.
- [3] DELMAS J., DISDIER R., GRAUBY A., BOVARD P. Contamination expérimentale de quelques espèces cultivées soumises à l'irrigation par aspersion. In: 1<sup>er</sup> Symposium international de radioécologie, Cadarache (France), 8-12 septembre 1969, 707-729.
- [4] DELMAS J., GRAUBY A., DISDIER R. Transfert des radionucléides aux végétaux par l'eau d'irrigation. BIST, 1970, n° 151, 67-73.
- [5] DELMAS J., BOVARD P., GRAUBY A., DISDIER R. Radiocontamination expérimentale de quelques espèces cultivées à l'aide d'effluents d'origines diverses. In: Symposium international sur la radioécologie appliquée à la protection de l'homme et de son environnement, Rome (Italie), 7-10 septembre 1971, Luxembourg, Communautés européennes, 1972, vol. 2, 1103-1120 (EUR-4800).
- [6] DELMAS J., DISDIER R., GRAUBY A., BOVARD P. Etude expérimentale de la contamination du maïs par le radiocésium apporté par l'eau d'arrosage. Radioprotection, 1971, 6, 269-278.

- [7] DELMAS J., GRAUBY A., DISDIER R. Etudes expérimentales sur le transfert dans les cultures de quelques radionucléides présents dans les effluents des centrales électronucléaires. In: Environmental behaviour of radionuclides released in the nuclear industry, Aix-en-Provence (France), 14-18 mai 1973. Vienne: AIEA, 1973, 321-332.
- [8] DELMAS J., GRAUBY A., BLONDEL L., GUENNELON R. Contamination expérimentale de l'oranger par quelques radionucléides. *Fruits*, 1974, 29, 303-309.
- [9] GILLIER P., SILVESTRE P. L'arachide. In: Techniques agricoles et productions tropicales collectives (R. Coste, Dir.) Paris: G.P. Maisonneuve et Larose.
- [10] RANDOIN L. et al. Tables de composition des aliments. Paris: Jacques Lanore, 1960.
- [11] SAAS A., GRAUBY A. Mécanismes de transfert dans les sols cultivés de radionucléides rejetés par les centrales électronucléaires dans les fleuves sol irrigué, nappes. In: Environmental behaviour of radionuclides released in the nuclear industry, Aix-en-Provence (France), 14-18 mai 1973. Vienne: AIEA, 1973, 255-269.