

note technique

Etude expérimentale du transfert du ^{137}Cs et du ^{90}Sr à l'ananas à partir de sols tropicaux

J. DELMAS*, C. COLLE*, R. PAULIN**, R. NDOYE***
S. SECKGASSAMA***

(Manuscrit reçu le 5 juin 1992)

RÉSUMÉ

Le but de cette étude est de déterminer, dans le cas de conditions climatiques tropicales, les facteurs de transfert sol-plantes du ^{137}Cs et du ^{90}Sr pour l'ananas à partir de trois types de sols. Les résultats montrent que, dans le cas du ^{90}Sr , les valeurs des facteurs de transfert sont semblables à celles obtenues pour des productions végétales de type européen, cultivées sous climat tempéré. En revanche, dans le cas du ^{137}Cs , un de ces sols induit une absorption racinaire dix fois supérieure à celle observée sur les deux autres sols. Ce sol est très courant dans les zones tropicales et largement utilisé pour l'agriculture. Ceci montre la nécessité d'adapter les valeurs des paramètres de transfert aux conditions locales.

ABSTRACT

The aim of the study was to give some soil-to-plant transfer factors for ^{137}Cs and ^{90}Sr to pineapple grown on three different soils, under tropical climatic conditions. For ^{90}Sr , the values of soil-to-plant transfer factors are similar to the usual values found for european crops cultivated under temperate climatic conditions. On the opposite, in the case of ^{137}Cs , one of these soils causes a noticeable increase of root uptake: one order of magnitude higher than the values obtained on the other two soils. This typical soil is very common in tropical areas and widely used for agriculture. The values of transfer parameters should therefore be adapted to local conditions.

* Commissariat à l'énergie atomique, Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN), Département de protection de l'environnement et des installations, Service d'études et de recherches sur les transferts dans l'environnement (DPEI/SERE), 13108 Saint-Paul-Lez-Durance, Cedex.

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

*** Faculté de médecine et de pharmacie, Université de Dakar, Sénégal.

1. Introduction

Devant les réalisations et les projets de développement de l'énergie nucléaire dans les pays tropicaux, il est apparu nécessaire de chercher à évaluer l'impact radiologique pouvant résulter de ce type d'activité sur la chaîne alimentaire.

Ces investigations intéressent en premier lieu les populations locales, mais également les populations européennes par le biais des échanges agro-alimentaires, les productions agricoles de ces régions représentant une part importante et sans cesse croissante de la ration alimentaire de ces populations. Il faut distinguer les produits tropicaux depuis longtemps utilisés en Europe, tels que 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 seulement sur les marchés européens (fruits et légumes frais).

Cette importance des produits exotiques dans la ration alimentaire a conduit le Service d'études et de recherches sur les transferts dans l'environnement (SERE) et l'Institut de recherches et d'applications médicales des isotopes radioactifs (IRAMIR) de la Faculté de médecine de Marseille en collaboration avec l'Université de Dakar, à entreprendre l'étude des modalités de transfert des radionucléides dans les produits tropicaux en vue de connaître les conséquences sanitaires de la dispersion de ces éléments par les installations nucléaires.

Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de données relatives au transfert des radioisotopes pour ce type de denrée. Pour pallier cette carence, des cultures en lysimètres et en pots ont donc été mises en place à partir de 1984 sur un terrain clôturé et balisé de la Faculté de médecine et de pharmacie de Dakar dans le cadre d'une 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 à partir de cultures effectuées en milieu tropical.

Nous présentons dans ce rapport les résultats relatifs au transfert du ^{90}Sr et du ^{137}Cs dans l'ananas à partir de trois types de sols de la région du Cap Vert au Sénégal.

2. Organisation de l'expérience

2.1 Le végétal

L'ananas est une plante herbacée, pérenne, à enracinement superficiel. Sa tige, à entre-nœuds très rapprochés, porte des feuilles épaisses en forme de gouttières groupées en rosette d'où émerge l'inflorescence portée par un pédoncule. La plante est essentiellement cultivée pour son fruit qui est riche en vitamines A et B. Sa consommation se fait soit à l'état frais soit sous forme de produits transformés : conserves en boîte,

tranches séchées, compotes ou jus. Le jus d'ananas est consommé à l'état pur ou sous forme de sirop ; il entre dans la fabrication de boissons gazeuses, de liqueurs et il est utilisé pour l'extraction d'acide citrique et de certains produits pharmaceutiques.

Dans les zones de cultures, les feuilles hachées à l'état frais sont souvent employées pour la nourriture des animaux et les plantes entières, réduites en farine, entrent dans la composition d'aliments du bétail. On en extrait également de l'amidon, des acides organiques, de la cire, des stérols et un mélange d'enzymes, la bromélaïne, qui possède des propriétés digestives.

Sa zone de culture est grossièrement comprise entre les tropiques du Cancer et du Capricorne à l'exception des massifs montagneux trop froids et des zones désertiques trop sèches. Le Cap Vert et le Sénégal ne sont pas des zones de production intensive de l'ananas. Cependant, ces régions possèdent certaines caractéristiques des zones tropicales où est produit l'ananas, en particulier pour ce qui est des sols et du régime climatique (présence de deux saisons tranchées : saison des pluies et saison sèche).

2.2 Les sols

L'ensemble du projet met en œuvre trois types de sols africains aux caractéristiques variées et adaptées aux différentes cultures envisagées.

Ces sols ont des caractéristiques particulières. Ils sont dépourvus de carbonate de calcium et de calcaire actif. Ils ont des teneurs en argile très variables. Leurs spécificités viennent de leur mode de formation [3, 5]. En effet, le climat et la végétation ont une action prépondérante sur la pédogénèse. On distingue en Afrique cinq zones climatiques principales [4] : la zone équatoriale, la zone guinéenne, la zone tropicale humide, la zone soudanienne (ou tropicale), la zone subdésertique (ou sahélienne).

Chacune de ces zones a des sols qui lui sont propres. Ils se distinguent tous nettement des sols des régions tempérées. Or, jusqu'à présent, ce sont surtout les sols des régions tempérées qui ont été étudiés en radioécologie. Il existe très peu d'informations et de données sur les transferts des éléments radioactifs aux plantes exotiques.

Plusieurs de ces régions typiques de l'Afrique, avec les types de sol correspondants, sont présentes au Sénégal [5] : les régions sahéliennes caractérisées par la présence de sols sub-arides, les zones soudanaises caractérisées par des sols ferrugineux et les régions guinéennes avec des sols ferrallitiques. Les sols utilisés dans cette expérience proviennent de la région du Cap vert (Tab. I). Il s'agit d'un sol hydromorphe originaire de la commune de Camberène, d'un sol volcanique issu de la région d'Ouakam et d'un sol ferrugineux tropical prélevé dans l'enceinte de la Faculté de Dakar-Hann. Le sol ferrugineux tropical est représentatif des grandes régions arachidières de l'Ouest africain ; il est léger, sableux et pauvre. Le sol volcanique, plus argileux, est typique du Cap Vert. Quant

au sol hydromorphe, il est localisé dans les zones dépressionnaires et il est habituellement utilisé pour les cultures maraîchères ou la riziculture.

La gamme des sols utilisés pour la production de l'ananas est assez large. Cette plante exige des terres meubles, légères, bien aérées et perméables. Du point de vue chimique les sols acides lui sont très favorables, le pH optimal se situant entre 4,5 et 5,5 [6].

A l'exception des conditions d'acidité, le sol hydromorphe utilisé dans notre essai correspond bien aux exigences de l'ananas et les cultures ont pu être conduites de façon satisfaisante.

TABLEAU I
Principales caractéristiques physico-chimiques des sols utilisés
Main physico-chemical characteristics of the soils

		Sol hydromorphe	Sol ferrugineux	Sol volcanique
Granulométrie de la terre fine %	Sable grossier	46,1	48,3	18,1
	Sable fin	38,8	49,4	29,5
	Limon grossier	3,1	1,1	14,7
	Limon fin	3,9	0,7	9,2
	Argile	8,1	0,5	28,5
Carbone (%)		21	1,8	5,7
Azote (%)		2,13	0,26	0,61
pH eau		7,4	8,6	7,0
pH KCl		7,1	8,3	6,6
Calcaire total		0	0	0
Calcaire actif		—	—	—
Phosphore (ppm)		45	64	35
Manganèse (ppm)		2,5	3,3	8,5
Fer libre (ppm)		253	29	31
Bore (ppm)		2,3	1,5	2,1
Bases échangeables	Ca (még · kg ⁻¹)*	69,3	49,6	100
	Mg (még · kg ⁻¹)*	31,8	4,6	56,1
	K (még · kg ⁻¹)*	2,8	1,5	2,8
	Na (még · kg ⁻¹)*	27	0,8	9,3
Capacité totale d'échange (még · kg ⁻¹)*		80	6	148

* (Még · kg⁻¹) : milliéquivalents par kilogramme de terre fine.

2.3 Le dispositif expérimental

Les cultures ont été réalisées dans des lysimètres et des conteneurs.

Les lysimètres, de forme cylindrique (diamètre : 65 cm, hauteur : 80 cm), contenaient chacun 350 kg de sol. Dans ces dispositifs seul le sol hydromorphe a été expérimenté et les cultures s'y sont développées de façon correcte jusqu'à l'obtention de fruits à maturité. Sur les trois lysimètres mis en œuvre, l'un a été utilisé comme témoin, un autre a reçu 25 kBq de ^{90}Sr par kg de sol et dans le dernier du ^{137}Cs a été incorporé à raison de 30 kBq par kg de sol.

Pour ce qui est des conteneurs, leur capacité était de 160 kg, et ils ont été employés pour expérimenter les trois types de sol. Les apports de radioéléments ont été respectivement de 35 kBq par kg de sol pour le strontium et de 42 kBq pour le césium. Dans ces conteneurs il n'a pas été possible d'obtenir des fruits, et seul le transfert aux feuilles a pu être évalué.

Dans tous les cas, les radionucléides ont été mélangés de façon homogène au sol. Une plante d'ananas a été repiquée dans chaque lysimètre et conteneur. Les quantités d'engrais suivantes ont été apportées annuellement pendant toute la durée de l'expérimentation pour chaque lysimètre et conteneur : N : 15 g, P_2O_5 : 5 g, K_2O : 20 g, MgO : 3 g. Cette fumure correspond aux quantités annuelles maximales apportées, par plante, dans les cultures de plein champ.

En ce qui concerne l'irrigation, l'eau a été distribuée selon les besoins des plantes, mais de façon à éviter les pertes par infiltrations.

Chaque année, 100 g de feuilles ont été prélevés sur les plantes des conteneurs afin d'être analysées. La deuxième année, un ananas a été récolté sur chaque lysimètre. Ces fruits pesaient de 1,1 à 1,3 kg. Il n'y a pas eu de deuxième récolte.

Les analyses ont été effectuées par spectrométrie gamma GeLi pour ce qui concerne le césium 137. Le strontium 90 a été mesuré grâce à un compteur proportionnel à circulation de gaz après traitement radiochimique des échantillons.

3. Résultats et discussions

3.1 Transfert à l'ananas du ^{90}Sr et du ^{137}Cs à partir du sol hydromorphe

a) Transfert du ^{90}Sr du sol à l'ananas

Les facteurs de transfert du strontium à l'ananas ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ de végétal frais / $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ de sol sec) sont de 0,2 pour les feuilles et de 0,08 pour la chair du fruit. Ces valeurs ne sont pas très différentes de la moyenne des facteurs de transfert mesurés dans les fruits charnus des

espèces cultivées dans les régions tempérées (Tab. II). Ce résultat est cohérent avec les observations relatives au calcium, élément dont les propriétés chimiques et le comportement dans les relations sol-plantes sont proches de ceux du strontium : en effet, si l'on considère la teneur en calcium mesurée dans la chair de l'ananas, elle est de 220 mg par kg de fruit frais et elle se situe dans la moyenne des teneurs rencontrées dans les fruits charnus (60 à 400 mg par kg de fruit frais) [7].

TABLEAU II

Facteurs de transfert racinaire ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ de végétal frais / $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ de sol sec) du radiostrontium et du radiocésium dans les végétaux d'espèces diverses suite à un apport précédent le semis pour des sols de régions tempérées (CEA-EDF. – Manuel de radioécologie. Paris : EDF, 1984).

Radiostrontium and radiocaesium root transfer factors ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ fresh plant / $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ dry soil) in various plant species following deposition prior to sowing for soils in temperate climates

	Feuilles			Fruits		
	m	σ	N	m	σ	N
Radiostrontium	0,18	13	65	0,076	12	97
Radiocésium	0,017	8,7	49	0,03	5,3	84

m : moyenne géométrique.

σ : écart-type géométrique.

N : nombre de valeurs expérimentales répertoriées.

b) Transfert du ^{137}CS du sol à l'ananas

Les facteurs de transfert sont respectivement de 0,02 et 0,03 pour les feuilles et les fruits. Ces valeurs sont identiques aux moyennes obtenus dans le cadre d'expérimentations portant sur d'autres espèces produisant des fruits (Tab. II). Dans le cas du césium, les facteurs de transferts sont analysés habituellement par rapport aux caractéristiques des sols et aux teneurs en potassium des végétaux. Les caractéristiques des sols connues pour avoir une influence sur le transfert par voie racinaire du radiocésium sont le taux et le type d'argile, la teneur en potassium (total et échangeable) ainsi que la capacité d'échange du sol. Dans le cas du sol hydromorphe utilisé pour cette expérimentation, tous ces caractères sont semblables à ceux rencontrés dans beaucoup de sols des régions tempérées. Quant à la teneur en potassium de l'ananas, elle est de 2,3 g par kg de fruit frais et constitue une valeur moyenne par rapport aux teneurs mesurées dans la plupart des fruits charnus, lesquelles sont comprises entre 1,3 et 3 g par kg de matière fraîche [7].

Finalement, bien qu'il y ait sur le plan écologique de grandes différences entre la production de l'ananas dans la région du Cap Vert au climat tropical et la production de fruits charnus en Europe occidentale au

climat tempéré, les facteurs de transfert racinaire du césium et du strontium mesurés dans ces deux types de situation sont voisins dans le cas d'un sol africain aux caractéristiques physico-chimiques proches de celles des sols des régions tempérées.

3.2 Influence du type de sol sur le transfert du ^{90}Sr et du ^{137}Cs à l'ananas

Le tableau III présente les résultats des facteurs de transfert, exprimés par rapport au poids sec, pour les feuilles d'ananas dans le cas des trois types de sol étudiés.

TABLEAU III
Facteurs de transfert racinaire du radiostrontium et du radiocésium aux feuilles d'ananas ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ de végétal sec / $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ de sol sec).
Radiostrontium and radiocaesium root transfer factors to pineapple leaves ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ dry plant / $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ dry soil)

	^{90}Sr	^{137}Cs
Sol alluvial hydromorphe	0,34	0,01
Sol ferrugineux tropical	0,92	0,1
Sol volcanique	0,84	0,005

Les résultats montrent que, dans le cas du strontium, le facteur de transfert correspondant au sol hydromorphe se différencie de celui obtenu sur les deux autres sols, mais dans une proportion relativement faible (2 à 3). Il est possible d'expliquer ce résultat de la façon suivante : ces sols ont des teneurs peu différentes et modérées en calcium échangeable. Ils sont tous trois dépourvus de carbonate de calcium et de calcaire actif. L'ananas préfère les sols acides et a des besoins limités en calcium et donc probablement en strontium. Il est normal dans ces conditions qu'il n'y ait pas de grands écarts d'absorption du strontium par les plantes pour ces trois sols.

Par contre, dans le cas du césium, il apparaît que sur le sol ferrugineux tropical les facteurs de transfert sont 10 à 20 fois supérieurs à ceux observés sur les deux autres sols. Parmi les paramètres qui influent sur le transfert du césium il y a : le cycle de l'eau, le taux de matière organique, la teneur en argiles, la nature des argiles, la capacité d'échange, le pH et la teneur en potassium échangeable ; seule ici la très faible teneur en argiles du sol ferrugineux tropical, comparativement à celle des deux autres sols, peut expliquer cette différence.

Les facteurs de transfert, au moins dans le cas du radiocésium, peuvent varier de façon notable avec certaines caractéristiques du sol et notamment avec la teneur en argile comme dans le cas de cette expérience. D'autres caractéristiques peuvent avoir également une influence

sur le transfert. C'est vraisemblablement aussi le cas du pH, car on sait que les pH acides contribuent à accroître le transfert du césium et que l'ananas préfère les sols acides.

L'ananas est connu aussi pour avoir des besoins importants en potassium [6]. Les sols convenant bien à cette plante sont rarement pourvus de façon suffisante en cet élément, ce qui peut influencer le transfert du césium. Le transfert pourrait alors être corrigé par des fumures potassiques [1].

4. Conclusion : radioécologie et milieu tropical

Malgré la nature exotique du produit et les conditions tropicales dans lesquelles se sont déroulés les essais, les facteurs de transfert du ^{137}Cs et du ^{90}Sr au fruit de l'ananas cultivé sur le sol hydromorphe sont semblables à ceux issus des expérimentations réalisées sur les fruits dans les pays au climat tempéré. C'est là une observation intéressante, car ce type de sol à forte teneur en matière organique bien humidifiée et pourvu d'un bon régime hydrique est d'un grand intérêt pour la production agricole. Bien que couvrant des superficies relativement réduites dans les contrées voisines de Dakar, il a permis, en particulier, un large développement des cultures vivrières. Pour l'évaluation du risque provoqué par une absorption racinaire de ces deux radioéléments, en première approximation et sur ce type de sol, les transferts pourraient être calculés sur la base des valeurs issues des travaux expérimentaux réalisées sur les espèces fruitières cultivées dans les régions tempérées.

Il n'en est pas de même apparemment pour tous les sols tropicaux, et en particulier pour le sol ferrugineux, sol qui couvre des superficies importantes en Afrique. Des observations précédentes sur l'arachide [2] avaient montré des facteurs de transfert pour le césium plus élevés sur ce sol que pour des plantes et des sols européens. Dans le cas du sol ferrugineux tropical, le transfert du césium à l'ananas est dix fois supérieur à celui observé sur le sol hydromorphe. Ainsi, il serait souhaitable de poursuivre des investigations sur ces différents types de sol afin de tester la validité de nos connaissances dans ces conditions différentes des milieux tempérés, qui ont fait l'objet principal des études des radioécologistes jusqu'à présent, et de pouvoir répondre à d'éventuelles demandes d'études d'impact d'installations nucléaires en régions tropicales. □

RÉFÉRENCES

- [1] COLLE C., GROUZELLE C., DUCOUSSO R., GRAUBY A. – La fumure potassique : approche d'une contre-mesure applicable au transfert du césium 137 à partir de sols ferrallitiques. *In* : Impact des accidents d'origine nucléaire sur l'environnement, 4. Symposium international de radioécologie, Cadarache, 14-18 mars 1988. Cadarache : CEA/SERE, tome 1, D 210-D 215.

- [2] DELMAS J., GRAUBY A., PAULIN R., RINALDI C., NDOYE R., SECKGASSAMA S. – Etude expérimentale du transfert du ^{90}Sr et du ^{137}Cs d'un sol de la région du Cap Vert à l'arachide. *Radioprotection*, 1987, 22 (4), 333-340.
- [3] DUCHAUFOR Ph. – Pédologie. Tome 1 : Pédogénèse et classification, 2^e éd., Paris : Masson, 1983.
- [4] FRANCE. Ministère de la Coopération. – Mémento de l'agronome, techniques rurales en Afrique, 1974.
- [5] MAIGNIEN R. – Carte pédologique du Sénégal. Centre de Dakar-Hann : ORSTOM, 1965.
- [6] PY Cl., LACOEUILHE J.J., TEISSON Cl. – L'ananas, sa culture, ses produit. *In* : Techniques agricoles et productions tropicales. Paris : G.P. Maisonneuve et Larose, 1984.
- [7] RANDOIN L. LE GALLIC P., DUPUY Y. – Tables de composition des aliments. Paris : Lanore, 1960.