

Contribution à l'étude de transfert des substances radioactives du sol vers des plantes céréalières et à tubercules

Frédéric ASIMANANA*, Albert RANDRIANARIVO, Harvel RANDRIAMIHEVITRA,
Bruno LEVASON et Arnoldy ANTONJARA

*Métrieologie Nucléaire et Environnement, Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires,
Faculté des Sciences, BP 0 201, Université d'Antsiranana, Madagascar*

* Correspondance, courriel : fredericasimanana@yahoo.fr

Résumé

Les mesures des sols des terrains à cultiver et les produits recueillis permettent de constater le transfert suivant :

- ❖ Le potassium est transféré du sol vers la plante, entraîné par l'eau, qui reste sous forme d'ion K^+ ;
- ❖ Le césium est transféré du sol vers la plante, transporté par l'eau sous forme d'ion Cs^+ , mais pouvant être aussi sous forme composé Cs_2O ;
- ❖ Le thallium est transféré du sol vers la plante, soit entraîné par l'eau sous forme d'ion Tl^+ ou d'une pseudo-solution $4TlOH$, soit par désintégration du Bi-212 ou Pb-212 ou l'Ac-228 déjà transférés ;
- ❖ Le bismuth est transféré du sol vers la plante, soit transporté par l'eau sous forme d'ion Bi^{3+} ou d'une pseudo-solution $Bi(OH)(NO_3)_2$, soit par désintégration du Pb-212 ou de l'Ac-228 transférés ;
- ❖ Le plomb est transféré du sol vers la plante, soit entraîné par l'eau sous forme d'ions Pb^{2+} ou d'une solution PbO , soit par désintégration de l'Ac-228 déjà transféré.

Mots-clés : *mesure, sol, terrain à cultiver, produits recueillis, transfert, entraîné.*

Abstract

Contribution to the survey of transfer of the radioactive substances of soil toward cereal plants and tuber

The measures the soils of lands to cultivate and the products collected permit to note the following transfer :

- ❖ Potassium is transferred of soil toward the plant, driven by the water, that remains as K^+ ion ;
- ❖ Cesium is transferred of soil toward the plant, elated by water as Cs^+ ion, but capable to be as coins shape Cs_2O compound ;
- ❖ The thallium is transferred of soil toward the plant, either driven by water as Tl^+ ion or a pseudo solution $4TlOH$, either by decay of the Bi-212 or Pb-212 or the Ac-228 already transferred ;
- ❖ Bismuth is transferred of soil toward the plant, is transported by water as Bi^{3+} ion or a pseudo $Bi(OH)$ solution $(NO_3)_2$, either by decay of Pb-212 or the Ac-228 transferred ;
- ❖ Lead is transferred of soil toward the plant; either driven by water as Pb^{2+} ions or as PbO solution, either by decay already transferred Ac-228.

Keywords : *measure, soil, land to cultivate, products collected, transfer, driven.*

1. Introduction

Les substances radioactives naturelles du sol peuvent être divisées en deux classes : les radionucléides cosmogéniques et les radionucléides primordiaux entre autres le thorium, l'uranium et le potassium [1] qui se trouvent sur la terre lors de sa formation, il y a 4,5 milliards d'années. De plus, des radionucléides artificiels engendrés par l'homme ont pollué l'environnement. Les végétaux qui nous intéressent sont de type céréalière et à tubercule plus précisément le riz, le maïs, le manioc et la patate [2] qui sont les principales cultures vivrières à Madagascar. Cette étude vise alors à déterminer les radionucléides émetteurs gamma dans les plantes céréalières, à tubercules et dans le sol qui les produits, calculer les activités des radionucléides qu'ils renferment ainsi que constater le transfert des substances radioactives du sol dans les produits recueillis.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

Le prélèvement et la collection des échantillons sur terrain ont été effectués sur les trois points de la région d'Antananarivo, à savoir :

- Ankatso ;
- Imerintsiatosika ;
- Mantasoa.

On a choisi ces trois points comme zone d'étude parce qu'ils sont parmi les sources de production alimentaire les plus proches de la ville d'Antananarivo qui est la plus peuplée du pays et pour faciliter la descente sur terrain.

2-2. Chaîne d'analyse spectrométrique

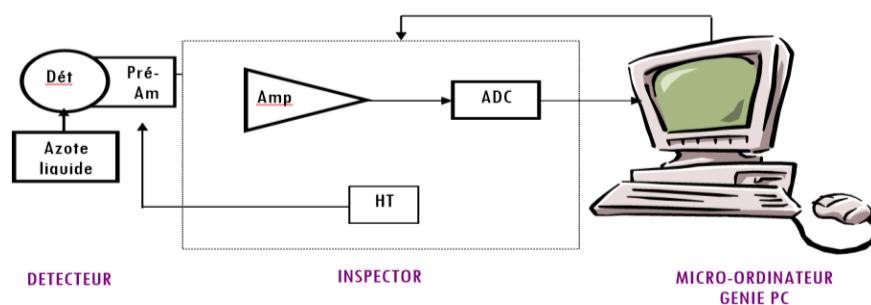


Figure 1 : Schéma du montage

La chaîne comprend :

- Un détecteur germanium vertical de haute pureté qui peut être représenté par un condensateur. La mise sous haute tension donne naissance à un champ électrique permettant la collecte des charges créées lors de l'interaction des rayons gamma avec le détecteur. Le courant crée une chute de tension aux bornes du circuit de collecte produisant une impulsion de charge proportionnelle à l'énergie incidente transmise au détecteur ;
- Un récipient DEWA contenant de l'azote liquide pour maintenir le détecteur à la température constante de 77°K ;

- Un château de plomb pour réduire le bruit de fond provenant de la radioactivité ambiante ;
- Un préamplificateur, sensible à la charge, adaptée pour la spectroscopie à haute résolution avec les détecteurs semi-conducteurs refroidis à la température de l'azote liquide. Il intègre et met en forme les signaux de sortie en charge provenant du détecteur ;
- Une haute tension sert à polariser le détecteur ;
- Un amplificateur qui offre un choix très varié d'amplificateur et de constantes de temps. Il a pour fonction la mise en forme du signal en vue de l'analyse de son amplitude ;
- Convertisseur Analogique Digital convertit le signal analogique provenant du préamplificateur en nombre digital. Il associe toutes les impulsions qui arrivent, selon sa hauteur et un coup à une adresse bien déterminée dans la mémoire ;
- Un voltmètre permet de mesurer la tension de fuite ;
- Un micro-ordinateur IBM PC 330 DX2/66, de processeur INTEL i486 DX2/66, de disque dur de capacité 540 Mo, fonctionne sous le système PC-DOS 6.3, WINDOS 3.1, OS/2 WRAP 3.0, et utilisant le logiciel GENIE-PC ;
- Un logiciel GENIE-PC, contient les procédures d'étalonnage et les programmes de gestion de bibliothèque des radionucléides utilisés dans les analyses de spectre et dans les calculs d'activité. Il permet de déterminer l'activité des isotopes radioactifs, supposant bien entendu, un étalonnage correct du système, et de stocker les résultats.

2-3. Préparation des échantillons

On a deux modes :

➤ **Echantillon trié (sol)**

D'une façon générale, le conditionnement et la préparation de l'échantillon constituent les conditions préalables dont les suivants :

- On commence par trier et séparer ce qui doit être analysé à ce qui ne le doit pas;
- Avant l'analyse proprement dite, l'échantillon est mis dans le bûcher « Marinelli » pour que la géométrie du comptage soit comparable avec les paramètres de l'étalonnage ;
- Ici, la connaissance de la masse de l'échantillon sec est nécessaire pour l'analyse quantitative.

Pour ce faire :

a) On prend :

- la masse nette de l'échantillon humide dans le bûcher « Marinelli » ;
- une petite quantité du même échantillon humide et on le met dans un verre de montre.

b) On fait sécher ce dernier sous une température de 100°C pendant une durée de 6 heures au minimum.

Le pesage de l'échantillon, avant et après séchage, est tellement nécessaire pour connaître le taux d'humidité de l'échantillon, et d'en déduire la masse sèche de l'échantillon à analyser.

➤ **Echantillon Calciné (plantes céréalières et à tubercules)**

Avant et après la cuisson des aliments, on peut analyser les taux d'activités au niveau de la radioactivité. La préparation de l'échantillon a été effectuée selon les procédures suivantes :

- Les échantillons sont brûlés et réduits en cendre. L'eau est ainsi éliminée. Ce qui rend plus facile de broyage où des échantillons plus concentrés sont obtenus ;

- L'échantillon à analyser est ensuite placé dans le bêcher « Marinelli » pour que la géométrie de comptage soit comparable avec celle de l'étalon ;
- La connaissance de la masse de l'échantillon réduit en cendre et broyé est nécessaire pour l'analyse quantitative.

Pour ce faire :

- a) On prend la masse nette de l'échantillon humide ou sèche dans le bêcher « Marinelli » ;
- b) On soumet l'échantillon de chaque matière à une température bien définie pendant une durée dépendant du type et de la quantité de l'échantillon à traiter.

Tableau 1 : Température et durée de calcination

<i>Matière</i>	<i>Température (°C)</i>	<i>Durée (heure)</i>
Riz	225 – 325	4
Manioc	200 – 325	6
Maïs	225 – 325	4
Patate	200 – 325	6
Taro	200 – 325	6
Viande	150 – 250	5
Brèdes	175 – 225	5

- c) A la fin, on broye les charbons obtenus puis on les pèse.

Le pesage des échantillons avant et après la calcination cendrée, est également nécessaire en vue de déterminer la teneur en eau des échantillons à analyser.

3. Résultats et discussion

3-1. Facteurs de variabilité, les éléments minéraux sont classés, selon leur importance pondérale, en trois groupes.

3-1-1. Macroéléments comme le potassium et le césium

Le potassium reste sous forme d'ions K^+ , très mobile, dissous dans les liquides intercellulaires. Son abondance et sa mobilité en font le cation le plus important pour la réaction de la pression osmotique. Les flux de potassium jouent ainsi un rôle déterminant dans le contrôle des mouvements de cellules. De même c'est lui, qui, pour l'essentiel, assure l'équilibre acido-basique. Il participe plus ou moins directement aux autres fonctions. C'est ainsi qu'il favorise la photosynthèse, diminue la transpiration et réduit les risques de flétrissement en cas de sécheresse, etc. C'est donc un élément extrêmement important, indispensable à tous les êtres vivants. Le césium, dont nous avons vu son importance dans le maintien de la structure du sol, est indispensable aux végétaux supérieurs. Sa charge (+) en fait un élément aisément adsorbable par les membranes biologiques, généralement de charge négative. On le trouve dans les régions superficielles des cellules. Il pénètre cependant en partie dans les territoires internes et dans les vacuoles, surtout dans les tissus âgés. Il y neutralise alors les acides organiques en excès.

3-1-2. Oligoéléments

Les éléments trouvés à l'état de trace dans les tissus se sont révélés nécessaires, aux doses évidemment très faibles. Sur ces éléments, les tissus en conservent plus ou moins des traces qui ne s'éliminent que lentement. Pour ces éléments, on peut procéder à des repiquages successifs. Il faut parfois attendre deux ou trois générations avant que la masse d'un élément apportée par les êtres vivants ne soient totalement épuisée. Ce sont donc des éléments facultatifs à tous les êtres vivants.

3-1-3. Etat des éléments

Les substances radioactives du sol sont véhiculées par l'eau jusqu'à la partie supérieure de plante :

- Soit à l'état d'ions ;
- Soit à l'état d'une solution ou pseudo solution.

La taille des atomes est d'une grande importance pour le transport des ions du sol jusqu'aux parties aériennes. Plus les atomes sont gros, plus leurs déplacements vers le haut sont difficiles.

3-2. Activités spécifiques et pourcentages du transfert

Tous les échantillons de sol des terrains à cultiver sont mesurés juste avant la plantation pour connaître sa situation au niveau de la radioactivité.

Tableau 2 : Les activités spécifiques et les pourcentages du transfert des substances radioactives des terrains cultivés et des produits recueillis

Activité spécifique (Bq.kg ⁻¹)												
Sites	K-40			Cs-137			Famille Th			Famille U		
Ankatso	Terrain	Produit	P(%)	Terrain	Produit	P(%)	Terrain	Produit	P(%)	Terrain	Produit	P(%)
Riz	53,6±3,3	7,1±4,8	13,2	1,6±0,1	0,6±0,1	37,7	37,6±1,8	< LD	< LD	47,8±4,8	< LD	< LD
Maïs	391±13	86,9±3,1	22,2	< LD	< LD	< LD	74,1±5,1	0,2±0,1	0,27	8,8±0,2	0,3±0,1	3,4
Manioc	497±16	211±12	42,4	1,2±0,1	0,4±0,1	33,3	11,5±0,4	5,6±0,1	48,7	12,7±0,2	5,1±0,1	39,8
Patate	531±13	299±9	56,3	0,7±0,01	0,34±0,1	48,6	43,1±1,3	4,1±0,1	9,4	8,5±0,2	5±0,1	58,2
Site	K-40			Cs-137			Famille Th			Famille U		
Imerintsiatosika	Terrain	Produit	P(%)	Terrain	Produit	P(%)	Terrain	Produit	P(%)	Terrain	Produit	P (%)
Riz	361±17	61,5±4,8	17,1	1,9±0,2	0,8±0,4	42,1	54,7±1,1	< LD	< LD	106±56	< LD	< LD
Maïs	194±7	49,3±2,3	25,4	< LD	< LD	< LD	36,9±1,3	0,3±0,1	0,8	18,2±2,1	0,85±0,2	4,8
Manioc	944±35	442±16	46,8	< LD	< LD	< LD	30,1±1,4	11,3±0,6	37,5	24,7±4,2	2,4±0,1	9,7
Patate	486±26	276±5	56,7	1,3±0,2	0,8±0,1	61,5	35,3±0,8	3,1±0,4	8,8	10,9±0,2	3,8±0,1	35,3

Site	K-40			Cs-137			Famille Th			Famille U		
	Terrain	Produit	P(%)	Terrain	Produit	P(%)	Terrain	Produit	P(%)	Terrain	Produit	P(%)
Mantsoa												
Riz	289±11	4,61±2,3	15,9	1,3±4,8	0,5±4,8	39,5	70,3±2,9	< LD	< LD	64,4±6,7	< LD	< LD
Maïs	638±26	135±3	21,2	2,9±0,4	0,5±0,2	17,2	107±5	0,3±0,1	0,2	14,1±0,3	0,5±0,1	3,5
Manioc	693±21	337±13	48,6	1,8±0,4	1,1±0,2	61,1	93,8±1,5	12,5±0,1	13,3	10,5±0,3	2±0,1	19,1
Patate	638±27	365±15	57,2	2,9±0,4	1,6±0,2	55,2	107±5	16,5±0,1	15,5	14,1±0,3	1,8±0,1	12,9

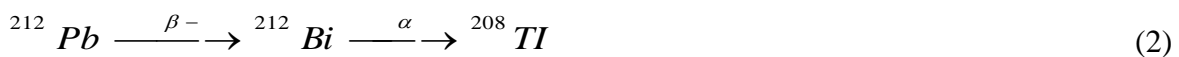
Les données dans le **Tableau 1** peuvent nous donner les résumées suivants :

Qualitativement, dans toutes les substances radioactives, la série du thorium et d'uranium, le K-40 et l'unique radionucléide artificiel Cs-137 du sol des terrains cultivés, sont transférées vers les produits recueillis, sauf le riz. Ce dernier ne contient pas des descendants émetteurs gamma du thorium ni d'uranium en qualité détectable. Le mode de transfert des éléments a des moyens suivants :

- Le potassium est transféré du sol vers la plante qui est entraîné par l'eau et reste sous forme d'ions K^+ ;
- Le césium est transféré du sol vers la plante qui est transporté par l'eau sous forme d'ions Cs^+ , ou sous forme composée de Cs_2O ;
- Le thallium transféré dans la plante a été :
 - entraîné par l'eau sous forme d'ions Tl^+ ou d'un pseudo solution $4TlOH$;
 - dû à la désintégration de bismuth déjà transféré



- dû à la désintégration de plomb déjà transféré



- Le bismuth transféré dans la plante a été :
 - transporté par l'eau sous forme d'ions Bi^{3+} ou d'un pseudo solution $Bi(OH)(NO_3)_2$
 - dû à la désintégration de plomb déjà transféré



- Le plomb est transféré du sol vers la plante et transporté par l'eau sous forme d'ions Pb^{2+} ou d'une solution PbO ;
- L'actinium est transféré du sol vers la plante et entraîné par l'eau sous forme d'ions Ac^+ ou de composé Ac_2O .

Quantitativement, si l'on compare les activités spécifiques de chaque substance radioactive du sol des

terrains cultivés avec les produits recueillis, nous avons les remarques suivantes :

- ✚ L'activité spécifique du K-40 dans les produits recueillis dépend de l'activité spécifique du K-40 dans le sol des terrains à cultiver. C'est à dire, plus la valeur du K-40 dans le sol est élevée, plus sa valeur dans le produit est élevée aussi ;
- ✚ Le Cs-137 est rejeté dans l'environnement lors des incidents et des explosions nucléaires aériennes. Des particules radioactives entraînées par les courants aériens peuvent parcourir des milliers de kilomètres et se déposer sur le sol et transférer jusqu'à la partie aérienne de plante ;
- ✚ Les activités spécifiques de la famille du thorium dans les produits recueillis dépendent de celles dans le sol de terrains à cultiver. Plus les valeurs dans le sol sont élevées, plus les valeurs dans les produits sont élevées ;
- ✚ Concernant la famille de l'uranium, les activités spécifiques dans les produits recueillis dépendent de celles dans le sol de terrains à cultiver.

Pourcentage du transfert, si l'on compare les valeurs des activités spécifiques de chaque substance radioactive du sol de terrain à cultiver avec des produits recueillis, nous avons les constatations suivantes :

- ✓ Le K-40 est transféré du sol vers les produits avec des pourcentages très grands pour les tubercules, à l'image de 57,2 % pour la patate de Mantsoa et faible pour les céréales, à l'occurrence de 13,2 % pour le riz d'Ankatso ;
- ✓ La famille du thorium est transférée du sol vers les produits avec des pourcentages très variés ;
- ✓ Concernant la famille de l'uranium, elle est transférée du sol vers les produits avec des pourcentages très variés aussi ;
- ✓ Le Cs-137 est transféré du sol vers les produits avec des pourcentages très variés.

Le pourcentage du transfert dépend :

- du type des éléments considérés, c'est à dire, le pourcentage du transfert est élevé quand les éléments sont essentiels. Et il est faible quand les éléments sont facultatifs ;
- de la catégorie des plantes considérées, c'est à dire, le pourcentage du transfert au niveau des tubercules est plus élevé qu'au niveau des grains. Ainsi, le pourcentage du transfert diminue au fur et à mesure que l'organe d'une plante est loin du sol.

3-3. Contribution du k-40 dans les aliments à l'utilisation des engrais potassiques

Les engrais minéraux sont les éléments nutritifs des plantes. Quand les disponibilités en éléments nutritifs du sol sont insignifiantes pour satisfaire les besoins des cultures, il est possible de procéder à un apport complémentaire d'engrais minéraux.

3-3-1. Engrais potassiques

Le potassium est un élément extrêmement importance et indispensable pour les végétaux. Avant d'utiliser les engrais aux cultures, on doit connaître leurs situations au niveau de l'activité spécifique en potassium-40. La quantité de K-40 présente dans la couche superficielle du sol, pour satisfaire les besoins des cultures, varie entre 200 et 2 000 Bq.kg⁻¹. Les engrais utilisés sont le NPK (11 % d'azote, 22 % de phosphore, 16 % de potassium), l'UREE et le TAROKA. Ce sont les engrais potassiques les plus utilisés à Madagascar.

3-3-2. Culture en engrais

La plupart des engrais sont apportés en surface par épandage. Dans le terrain à cultiver, la fertilisation et le semis sont parfois réunis en une seule et même opération : les engrais sont déposés à proximité des semences. La plante à utiliser est le maïs, qui a un cycle de développement court et une préparation plus facile. Une fumure régulière assure à la fois une bonne alimentation des cultures, et l'entretien de la fertilité potassique du sol. Les doses communément apportées sont de l'ordre de 40 à 170kg de potassium par hectare. Dans notre cas, c'est une expérience. Un kilogramme des engrais correspond à un terrain de cinq mètres carrés. On creuse vingt trous de dix centimètres cubes de chaque sur le terrain. On met dans les trous le sol mélangé des engrais potassiques. Après, on sème dans les trous les semences de maïs avec trois grains de chaque.

3-3-3. Synthèse sur le développement de la plante

La synthèse de développement des maïs plantés est classée en trois catégories :

- Au niveau de la feuille : la feuille des maïs plantés sur le terrain en engrais UREE sont les plus remarquables par leur immense développement ;
- Au niveau de la tige : la tige des maïs plantés sur le terrain contenant des engrais NPK ont de la hauteur plus remarquable par rapport aux autres types, c'est-à-dire, leur croissance est meilleure ;
- Au niveau des grains : au moment de récolte, le maïs produit par le terrain contenant des engrais NPK est très rigide. Par contre, ce qui est produit par le SOL est en retard de maturité. Les maïs produits par le terrain contenant des engrais TAROKA ont des meilleures dispositions.

3-3-4. Contribution du K-40

Tableau 3 : Activités spécifiques et les participations des radionucléides K-40 dans les engrais

Echantillon	Contribution K-40	
	(Bq.kg ⁻¹)	%
Maïs du SOL	51 ± 4	seuil
Maïs du NPK	116 ± 17	127
Maïs d'UREE	55 ± 10	7,8
Maïs du TAROKA	75 ± 6	47

Dans les quatre échantillons de maïs analysés :

- Les valeurs de l'activité spécifique en potassium-40 sont différentes l'une de l'autre. La plus grande valeur de l'ordre de (116 ± 17) Bq.kg⁻¹ a été prélevée dans le terrain avec des engrais NPK. La plus petite valeur de l'ordre de (51 ± 4) Bq.kg⁻¹ a été prélevée dans le terrain sans engrais;
- De même pour la participation, la plus grande valeur de 127 % a été prélevée dans le terrain avec des engrais NPK. La plus petite valeur de 7,8 % a été prélevée dans le terrain avec engrais UREE.

Cette différence est due à la forte teneur en potassium-40 du maïs prélevé dans le terrain avec des engrais NPK, dont cet échantillon est tellement concentré. Tandis que les autres sont assez concentrés. La contribution du K-40 dans les produits recueillis dépend de cette activité spécifique. C'est-à-dire, plus la valeur de l'activité spécifique du K-40 dans les produits recueillis est élevée, plus le pourcentage de la contribution est élevé aussi.

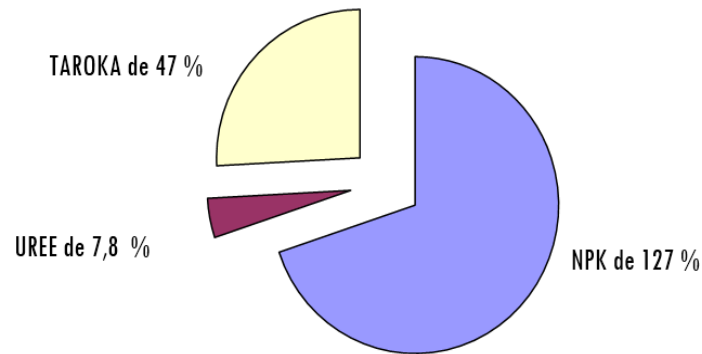


Figure 2 : Pourcentage de la contribution

Le végétal comme tous les êtres vivants, a un besoin absolu d'éléments minéraux qui participent à ses structures et contribuent à ses activités. La série du thorium et d'uranium ne sont pas détectés dans le Riz, la raison est que, soient ils ont un temps de demi-vie trop court et se sont déjà désintégrés avant la détection, soit ils sont classés dans les éléments lourds, ce qui rend difficile leurs déplacements vers les grains. Les engrais potassiques compensent les pertes en potassium du sol. La quantité des engrais potassiques composés dans le sol dépend de la teneur de K-40, c'est-à-dire, plus la teneur en K-40 est élevée, plus la quantité des engrais n'est petite. Si on veut atteindre une quantité élevée en K-40 dans les aliments, on doit augmenter la teneur en K-40 dans le sol de terrain à cultiver. Mais le pourcentage de la contribution varie en fonction de celle de l'activité spécifique. Le pourcentage du transfert diminue au fur et à mesure que l'organe d'une plante est loin du sol.

4. Conclusion

Des mesures spectrométriques au laboratoire d'une douzaine d'échantillon de sol, de six échantillons de plantes céréalières et de six échantillons de plantes à tubercules provenant d'Ankatso, d'Imerintsiatosika et de Mantsoa, ont permis de rassembler des informations aussi bien qualitatives que quantitatives sur les substances radioactives dans les échantillons, à savoir, le potassium, le thallium, bismuth, le plomb, l'actinium ainsi que le polluant radioactif césium dans les trois sites. Les valeurs des activités spécifiques de chaque substance radioactive dans le sol analysé dépendent de la caractéristique, de type et de la texture du sol. L'activité du K-40 est élevée dans le sol du lieu situé près de végétation en surface qui contribue à l'enrichissement en K-40 du sol environnant. Les activités spécifiques de la famille du thorium et celle de l'uranium sont élevées dans le sol du type fortement rajeuni et de la texture argilo-sableuse. Les valeurs des activités spécifiques de chaque substance radioactive dans les plantes analysées dépendent du cycle de développement de ces plantes et de la quantité des substances radioactivités du sol des terrains à cultiver. Ces valeurs sont élevées si le cycle de développement est très long et la quantité dans le sol est grande. Le pourcentage du transfert dépend du type des éléments considérées c'est-à-dire il est élevé quand les éléments sont essentiels, mais il est faible quand les éléments sont facultatifs. Et le pourcentage du transfert dépend de la catégorie des plantes considérées c'est-à-dire le pourcentage du transfert au niveau des tubercules est plus élevé qu'au niveau des grains. Par l'utilisation des engrais potassiques en précisant le NPK, l'UREE et TAROKA, on constate que : L'activité spécifique du k-40 dans le produit recueillis dépende celle dans le sol de terrain à cultiver. C'est-à-dire plus la valeur dans le sol est élevée plus la valeur dans le produits est élevé aussi. Par contre le pourcentage du transfert toujours varie à 25 %.

Références

- [1] - R. CALVELO PEREIRA, M. CAMPS-ARBESTAIN, B. RODRIGUEZ GARRIDO, F. MACIAS, C. MONTERROSO, « Behaviour of alpha, beta, gamma, and delta hexachlorocyclohexane in the soil-plant system of a contaminated site », *Environmental Pollution*, 144 (2006) 210 - 217.
- [2] - ANNE TREMEL-SCHAUB et ISABELLE FEIX, « Contamination des sols : transferts des sols vers les plantes », *EDP Sciences /ADEME*, (2005).
- [3] - S. DAUGUET, L. DENAIX, C. NGUYEN, E. ROYER, P. LEVASSEUR, M. POTIN-GAUTIER, G. LESPES, C. PARAT, J. HEROULT, R. COUDURE, P. CHERY, M. DEVERT, N. ROBERT, P. POUECH, « Mesure des flux d'éléments traces (Pb, Cd, As, Cu, Zn) dans les sols, végétaux, porcs et lisiers des exploitations porcines du Sud-Ouest », *Article Innovations Agronomiques*, 17 (2011) 175 - 190.
- [4] - MARIE CECCHI, « Devenir du plomb dans le système sol - plante : Cas d'un sol contaminé par une usine de recyclage du plomb et de deux plantes potagères (Fève et Tomate) », Thèse de doctorat, Ecole doctorale : Sciences Ecologiques Vétérinaires Agronomiques et Bio ingénieries, Institut National Polytechnique de Toulouse, (2008).
- [5] - LAPORTE MARIE ALINE, « Contribution à la modélisation de l'absorption du cadmium par les racines du tournesol (*Helianthus Annuus* L.) en relation avec l'architecture racinaire », thèse de doctorat, Ecole doctorale : Sciences et Environnements de l'Université Bordeaux, 1 (2013).
- [6] - CLARISSE LETONDOR, « Etude des mécanismes histologiques et physiologiques du transfert de la chlordecone (insecticide Organochloré) dans les végétaux », Thèse de doctorat, Ecole doctorale : Sciences de l'Univers de l'Environnement et de l'Espace (SUEE) de l'Université de Toulouse, (2014).
- [7] - E. ARTSCHWAGER, « Studies on the potato tuber », *Journal of Agricultural Research*, 27 (1924) 809 - 835.
- [8] - H. Alsayeda, S. Pascal-Lorber, C. Nallanthigal, L. Debrauwer, F. Laurent, «Transfer of the insecticide (C-14) imidacloprid from soil to tomato plants », *Environmental Chemistry Letters*, 6 (2008) 229 - 234.
- [9] - NOUR HATTAB, « Ecodynamique des éléments traces et caractérisation de l'exposition des sols contaminés : expérimentation et modélisation par les Réseaux de Neurones Artificiels », Thèse de doctorat, Ecole Doctorale : Energie - Matériaux - Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université d'Orléans, (2013).