

Détermination des éléments minéraux dans *Euphorbia heterophylla* (pakabe) d'Antalaha par la méthode d'analyse par fluorescence X à la réflexion totale

Frédéric ASIMANANA* et Bruno LEVASON

*Faculté des Sciences, Université d'Antsiranana, BP 0 201 Antsiranana, Madagascar
Institut National des Sciences et Technique Nucléaire (INSTN-MADAGASCAR),
BP 4279 101 Antananarivo, Madagascar*

* Correspondance, courriel : fredericasimanana@yahoo.fr

Résumé

L'*Euphorbia heterophylla* est une plante parmi les plantes médicinales et traditionnelles. Cette plante médicinale n'existe pas partout à Madagascar mais seulement dans la région Nord-Est de Madagascar. Il est précisément situé d'Antalaha. Dans ce cas, la méthode d'Analyse par fluorescence X à réflexion totale est appropriée pour étudier les oligoéléments. L'analyse fait au Laboratoire de l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (Madagascar—INSTN) a mis en évidence 13 éléments à l'état de trace. On observe que l'ensemble des éléments quantifiés par échantillon reste dans le cadre des éléments de faible teneur et ne dépasse pas 119874,47 ppb. Le potassium a en grande quantité, suivis du calcium et du fer en proportion intermédiaire. La faible concentration s'attribue au manganèse, titane, chrome, nickel, cuivre, zinc, brome, rubidium et le plomb. On a remarqué que dans la feuille, beaucoup de potassium et aussi le calcium par rapport à la racine et à la tige.

Mots-clés : *euphorbia, heterophylla, fluorescence X, éléments, concentration, échantillon.*

Abstract

Determination of mineral elements in *euphorbia heterophylla* (pakabe) of antalaha by fluorescence analysis method to the total reflection X

The *Euphorbia heterophylla* is a plant from medicinal and traditional plants. This medicinal plant is not found every where from Madagascar but only in the North east region of Madagascar. It is precisely located to Antalala. In this case, the method of analysis by XRF total reflection is appropriate to examine the trace elements. The analysis at the Laboratory of the National Institute of Nuclear Science and Technology (INSTN-Madagascar) highlighted 13 items to trace. It is observed that all the sample quantified elements remains within the elements of low and does not exceed 119,874.47 ppb. Potassium in large amounts, followed by calcium and iron in intermediate proportion. The low concentration is attributed manganese, titanium, chrome, nickel, zinc, brome, rubidium and Lead. It was noted that in the sheet, much potassium and calcium as compared to the root and the stem.

Keywords : *euphorbia, heterophylla, fluorescence X, elements, concentration, sample.*

1. Introduction

Il y a plusieurs maladies sont traiter traditionnellement par des plantes. Elles tiennent une grande place dans la vie de la population surtout dans les pays sous-développé. *Vues la culture, la baisse du pouvoir d'achat et l'accessibilité facile aux plantes médicinales, une grande partie de la population en Afrique comme Madagascar a tendance à pratiquer un traitement à l'aide des plantes médicinales sans évaluation scientifique* [1]. L'Euphorbia heterophylla (PAKABE) est une plante médicinale très intéressante sur la santé. Il existe beaucoup d'Euphorbia heterophylla dans le nord de Madagascar de la région SAVA (Sambava- Andapa-Vohemar-Antalaha) mais on prend l'Euphorbia heterophylla (PAKABE) d'Antalaha dans cette recherche.



Figure 1 : Feuille de PAKABE

Cette plante est traitée la maladie paralyser, connu sous le nom en malgache « KALEMY » qui est une maladie de très difficile à traiter qui se trouve dans la région SAVA au Province d'ANTSIRANANA-Madagascar. D'où la question qui se pose, quels sont les éléments qui contiennent dans cette plantes et comment fait-on utiliser ce plantes pour traiter cette maladie ? Dans la pratique, une automédication est très danger. D'après le Caraka Samhita : *« Même le poison peut être un remède s'il est employé d'une manière appropriée alors que les plantes médicinales peuvent agir comme un poison si elles sont employées d'une manière inappropriée »* [2]. Alors, ce travail permet de déterminer les éléments constitutifs dans la racine, la feuille, la tige et le mélange entre eux par la technique de fluorescence X et TXRF dans Madagascar-I.N.S.T.N (Institut National des Sciences et Technique Nucléaire). Elles sont utilisées pour une détermination qualitative et quantitative des différents éléments. La fluorescence X dispersive en énergie (ED-XRF) est une des méthodes analytiques les plus simples, les plus précises et les plus économiques pour la détermination de la composition chimique de nombreux types de matériaux. Cette méthode est non destructive et fiable et ne nécessite pas ou peu de préparation d'échantillon. Elle est adaptée aux échantillons liquides, solides et pulvérulents. Elle peut être utilisée pour la détermination d'un grand nombre d'éléments du sodium (11) à l'uranium (92), et offre des détections limites de l'ordre de la ppm mais peut également mesurer facilement et simultanément de fortes concentrations jusqu'à 100 %

2. Matériel et méthodes

La fluorescence X à réflexion totale (TXRF), est conçue spécialement pour l'analyse multiéléments en trace des échantillons liquides et dont le rayonnement X arrive sur l'échantillon. Les techniques d'analyse des éléments en trace est préférable lorsque les éléments dans l'échantillon ont des concentrations relativement faible.

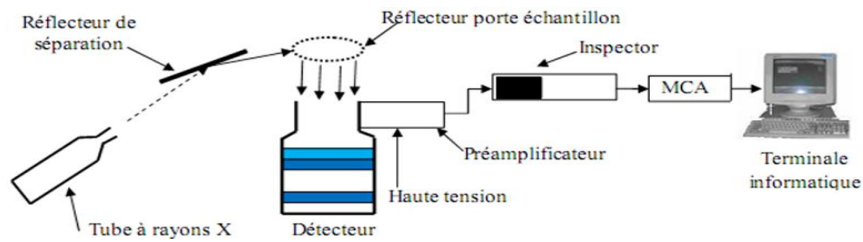


Figure 2 : Schéma simplifié de la chaîne d'analyse par fluorescence X à réflexion totale

L'analyse par fluorescence X à réflexion totale est une variante de la fluorescence X à énergie dispersive qui diffère de la fluorescence X conventionnelle en deux caractéristiques essentielles : d'abord, le rayon primaire tombe sur l'échantillon sous un angle d'incidence inférieur ou égal à l'angle critique dans lequel la réflexion totale des rayons X a eu lieu ; et ce rayon primaire tombe aussi également sur une surface plane et lisse sur laquelle le réflecteur porte échantillon ou l'échantillon lui-même doit être examiné. L'analyse au laboratoire comprend trois étapes : la préparation des échantillons, l'analyse par la chaîne de détection et le dépouillement par le logiciel. Avant de faire l'analyse des échantillons avec la méthode TXRF, d'abord, il faut régler la géométrie de la chaîne en faisant le test de performance. Ensuite, régler aussi l'étalonnage en énergie et sensibilité du système de mesure à propos de notre but de la détection du dosage. Enfin, la détection s'obtient de visualiser et de stocker dans l'ordinateur. Le signal vient de stocker se fait traiter avec le logiciel AXIL QXAS 3.6. Voici les étapes de la préparation des échantillons par la méthode d'analyse par fluorescence X à réflexion totale (TXRF) dans le laboratoire I.N.S.T.N.



Figure 3 : Etape de la préparation des échantillons

3. Résultats et discussion

3-1. Résultats sur l'euphorbia heterophylla

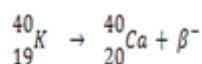
Neuf à Douze éléments minéraux sont détectées dans les sept échantillons d'Euphorbia heterophylla analysés par la méthode TXRF. Ces éléments sont le potassium, le calcium, le titane, le chrome, magnésium, le fer, le nickel, le cuivre, le zinc, le brome, le rubidium, le strontium et le plomb.

La plage d'étude concerne les éléments minéraux ayant les numéros atomiques Z allant de 19 à 38 plus l'élément lourd plomb 82. Une mesure sur l'échantillon donne la concentration contenue dans le **Tableau** suivant où la colonne indique l'échantillon et la ligne montre les éléments détectés. La teneur s'exprime en parti par billion (ppb). La **Figure** suivante aussi quant à elle donne la représentation graphique de ces concentrations.

Tableau 1 : Teneurs des éléments dans tous les échantillons

ELEMENT	ECHANTILLONS						
	Racine	Tige	Feuille	Racine et Tige	Racine et Feuille	Feuille et Tige	Racine, Feuille et Tige
K	7746,48	18915,08	119874,47	12240,71	29031,67	33926,65	26444,37
Ca	2278,16	1038,41	4805,76	854,30	2501,68	3239,87	1968,19
Ti	0	28,14	0	0	92,54	0	245,97
Cr	0	19,31	0	0	37,83	0	5,56
Mn	26,95	25,81	47,56	2,89	25,30	29,03	26,59
Fe	642,69	622,10	219,84	222,57	749,94	927,06	705,80
Ni	7,16	13,43	0	0	0	33,92	0
Cu	165,52	121,31	71,07	99,68	116,15	169,01	151,80
Zn	163,17	198,31	101,14	105,62	199,54	149,94	155,83
Br	41,93	26,16	29,91	32,55	30,71	41,87	23,78
Rb	0	19,54	281,89	14,45	31,34	60,83	34,08
Sr	0	0	56,12	0	0	27,04	21,77
Pb	38,23	5,88	19,73	38,72	34,98	73,64	26,19
TOTAL	11110,29	21033,49	125507,47	13611,49	32851,69	38678,85	29809,94

Le résultat montre en évidence la richesse en potassium dans tous les échantillons d'Euphorbia heterophylla. On constate aussi l'augmentation de concentration de potassium de la racine vers la feuille dont elle contient de 7746,48ppb de la racine et 119874,47ppb de la feuille. Cela veut dire que le potassium est transféré du sol vers la plante sous forme d'ion dans l'eau ou sous forme de composé. La quantité de calcium est abondante : 854,30 ppb pour Racine-Tige, 4805,76 ppb dans la feuille et les autres échantillons sont situés à l'intérieur. Elle vient de la désintégration du potassium par l'émission de β^- comme une réaction nucléaire suivante :



Les autres éléments que le potassium et le calcium sont des éléments de faibles quantités des concentrations.

3-2. Interprétation par élément minéral d'euphorbia heterophylla

On va distribuer les éléments sur la totalité des échantillons d'Euphorbia heterophylla.

3-2-1. Interprétation de concentration élevée

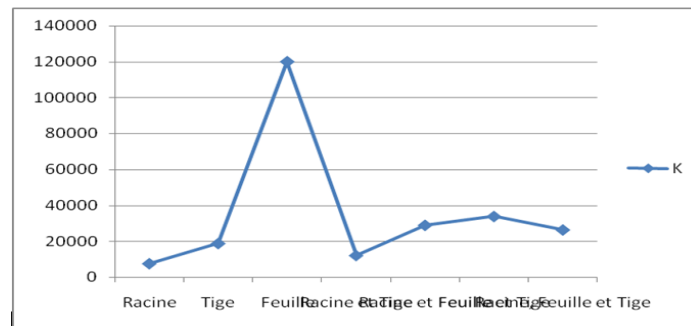


Figure 4 : Variation de concentration élevée

La **Figure 4** montre les variations de concentrations élevées. Le potassium, un seul élément a de concentration plus élevés par rapport autre éléments détectées. Il est le premier élément minéral présent sur la totalité des échantillons et ayant de très grandes concentration. Un teneur remarquablement élevée de 119874,47 ppb est observée sur l'échantillon Feuille suivi d'une autre quantité de 33926,65 ppb pour l'échantillon Feuille-Tige. Les autres échantillons renferment encore des quantités appréciable de potassium varient de 7746,48 ppb à 29031,67 ppb.

3-2-2. Interprétation de concentration intermédiaire

Deux éléments de concentration intermédiaire, à savoir le calcium et le fer.

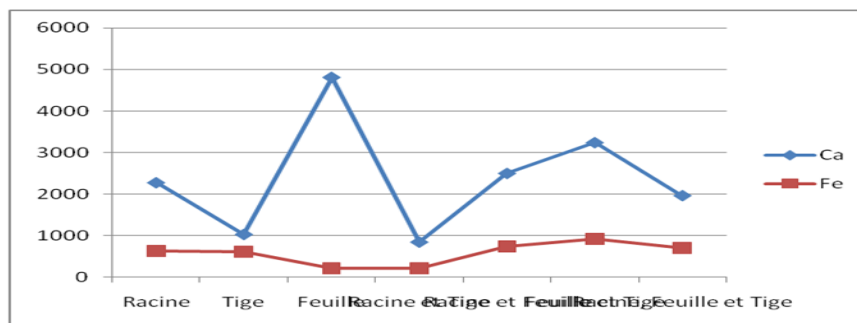


Figure 5 : Variation de concentration intermédiaire

On trouve quand même une quantité notable de 4805,76 ppb sur la feuille mais la teneur se situe en général entre 854,30 ppb et 3239,87 ppb constatée sur les échantillons Racine-Tige et feuille-Tige. Le fer est les troisièmes éléments forts dans tous échantillons analysés. La concentration du fer se disperse largement entre 219,84 ppb et 927,06 ppb sur les échantillons Feuille et Feuille-Tige. On remarque que le passage de calcium passe vite vers les feuille car après taux dans la racine est plus grand que dans la tige et sa monte beaucoup dans la feuille. Mais par contre dans le fer, le taux de concentration reste diminuée au niveau d'Euphorbia heterophylla car dans la racine, la concentration est plus élevée que dans la tige et dans les feuilles.

3-2-3. Interprétation de faible concentration

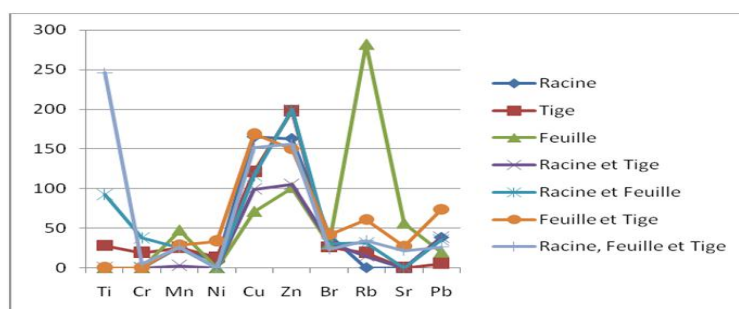


Figure 6 : Variation de faible concentration

Les éléments autres que le potassium, le calcium et le fer ont de faible concentration, tel que le titane, le chrome, le manganèse, le nickel, le cuivre, le zinc, le brome, le rubidium, le strontium et le plomb. Tous les échantillons contiennent de faible quantité de manganèse, cuivre, zinc, brome et plomb. L'ensemble des cinq échantillons sont toujours faible. Le manganèse existe toujours dans tous les échantillons de teneur compris entre 2,89 ppb et 29,03 ppb constatés sur Racine-Tige et Feuille-Tige. Le cuivre existe dans tous les échantillons de teneur compris entre le minimal de 71,07 ppb et la maximal 169,01 ppb constaté dans Feuille et Feuille-Tige sur la totalité des échantillons. Le zinc toujours éléments détectés dans cette échantillon avec la teneur se situe en générale entre 101,14 ppb et 199,54 ppb dans Feuille et Racine-Feuille. On a faible proportion de brome sur les échantillons d'Euphorbia heterophylla. Ces proportions se trouvent entre 23,78 ppb sur Racine-Feuille-Tige et 41,93 ppb sur Racine-Tige. Tous les échantillons contiennent du plomb de teneur compris entre la minimal de 5,88 ppb et le maximale 73,64 ppb mais encore faible par rapport autre éléments. Le titane, le nickel, le chrome, rubidium et strontium sont très faible quantité

3-3. Interprétation des éléments par l'échantillon

3-3-1. Racine

L'analyse de la racine a donné neuf (09) éléments détecté.

Tableau 2 : Distribution des éléments du Racine

ECHANTILLON DE RACINE			
Z	ELEMENT	CONCETRATION (ppb)	MINERAUX (%)
19	K	7746,48	69,72
20	Ca	2278,16	20,50
25	Mn	26,95	0,24
26	Fe	642,69	5,78
28	Ni	7,16	0,06
29	Cu	165,52	1,49
30	Zn	163,17	1,47
35	Br	41,93	0,38
82	Pb	38,23	0,34
	TOTAL	11110,29	100,00

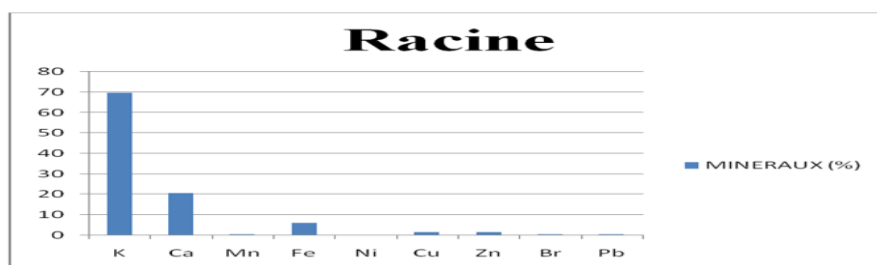


Figure 7 : Variation des éléments dans la racine

L'ensemble des éléments à l'état de trace représente 11110,29 ppb de l'échantillon Racine. La racine contient une forte quantité de potassium à raison de 7746,48 ppb, soit 69,72 % des éléments dosés. La teneur du calcium et le fer sont à peu près sur l'ordre de grandeur, 2278,16 ppb pour l'un et 642,69 ppb pour l'autre. Le cuivre, le zinc existent mais à faible concentration de 165,52 ppb l'une et l'autre 165,52 ppb. Le magnésium, le brome, le nickel et le plomb sont très faible concentrations.

3-3-2. Tige

Douze éléments détectés sur l'analyse de la tige.

Tableau 3 : Distribution des éléments du Tige

ECHANTILLON DE TIGE			
Z	ELEMENT	CONCETRATION (ppb)	MINERAUX (%)
19	K	18915,08	89,93
20	Ca	1038,41	4,94
22	Ti	28,14	0,13
24	Cr	19,31	0,09
25	Mn	25,81	0,12
26	Fe	622,10	2,96
28	Ni	13,43	0,06
29	Cu	121,31	0,58
30	Zn	198,31	0,94
35	Br	26,16	0,12
37	Rb	19,54	0,09
82	Pb	5,88	0,03
	TOTAL	21033,49	100,00

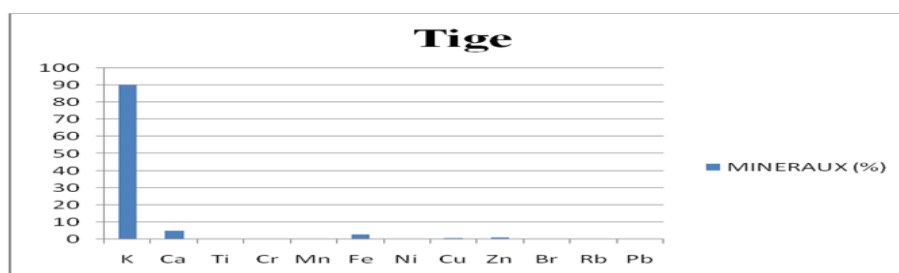


Figure 8 : Variation des éléments dans la tige

L'échantillon Tige contient un seul élément de forte proportion qui est le potassium à 18915,08 ppb. Il représente à seul 89,93 % de la quantité total qui est de 21033,49 ppb. Le calcium a une concentration intermédiaire de 4,94 ppb. Le cuivre, le zinc restent en dessous de 622,10 ppb. Sept éléments sont faible concentration qui est le titane, le Crome, le manganèse, le brome, le rubidium, le nickel et le plomb.

3-3-3. Feuille

Dix éléments sont détectés sur l'analyse de la feuille.

Tableau 4 : Distribution des éléments du Feuille

ECHANTILLON DE FEUILLE			
Z	ELEMENT	CONCETRATION (ppb)	MINERAUX (%)
19	K	119874,47	95,51
20	Ca	4805,76	3,83
25	Mn	47,56	0,04
26	Fe	219,84	0,18
29	Cu	71,07	0,06
30	Zn	101,14	0,08
35	Br	29,91	0,02
37	Rb	281,89	0,22
38	Sr	56,12	0,04
82	Pb	19,73	0,02
	TOTAL	125507,47	100,00

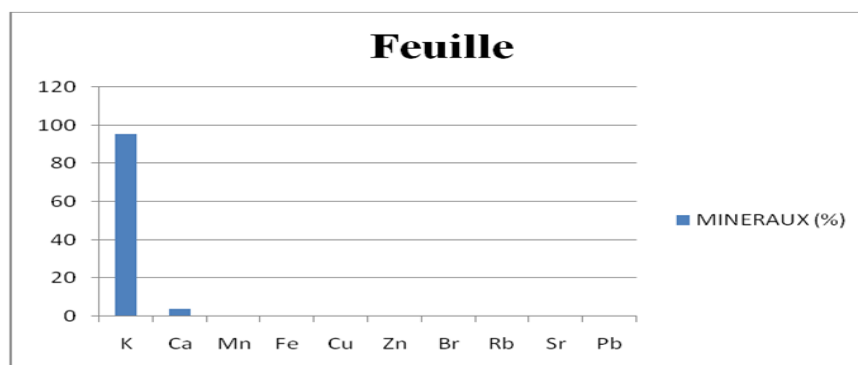


Figure 9 : Variation des éléments dans la feuille

Sur les dix éléments, c'est le potassium qui a la meilleure proportion de 119874,47 ppb. Au fait, le potassium et le calcium représentent 99,34 % des éléments mineurs de la feuille. Les autres éléments ont très faible concentration entre 19,73 ppb et 219,84 ppb, c'est-à-dire très faible quantité entre 0,01 % et 0,2 %. Ils sont le manganèse, le fer, le cuivre, le zinc, le brome, le rubidium, le strontium et le plomb.

3-3-4. Racine-tige

Les mélanges d'échantillon de la racine et de tige a donnée neufs éléments minéraux détectées.

Tableau 5 : Distribution des éléments du racine-tige

ECHANTILLON DE RACINE-TIGE			
Z	ELEMENT	CONCETRATION (ppb)	MINERAUX (%)
19	K	12240,71	89,93
20	Ca	854,30	6,28
25	Mn	2,89	0,02
26	Fe	222,57	1,64
29	Cu	99,68	0,73
30	Zn	105,62	0,78
35	Br	32,55	0,24
37	Rb	14,45	0,11
82	Pb	38,72	0,28
	TOTAL	13611,49	100,00

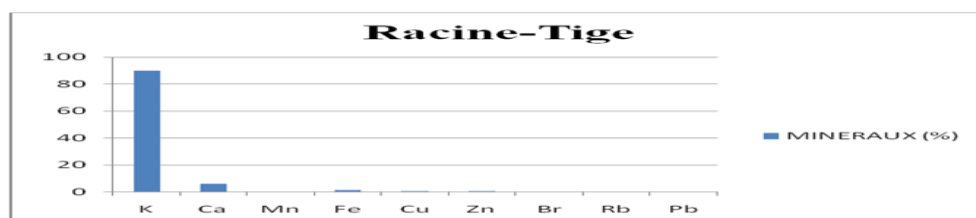


Figure 10 : Variation des éléments dans racine-tige

Le potassium tient la première place avec 12240,71 ppb, suivi du calcium à 854,30 ppb. L'ensemble des éléments minéraux constitue 13611,49 ppb du poids sec de Racine-Tige dont le potassium, le calcium et le fer représentent 97,85 %. Le zinc et le cuivre sont faible concentration en dessous de 222,57 ppb. Les autres éléments minéraux sont faible concentration comme le manganèse, le brome, le rubidium et le plomb.

3-3-5. Racine-feuille

On a onze éléments minéraux sont détectées dans le mélange d'échantillon de la racine et de la feuille.

Tableau 6 : Distribution des éléments du racine-feuille

ECHANTILLON DE RACINE-FEUILLE			
Z	ELEMENT	CONCETRATION (ppb)	MINERAUX(%)
19	K	29031,67	88,37
20	Ca	2501,68	7,62
22	Ti	92,54	0,28
24	Cr	37,83	0,12
25	Mn	25,30	0,08
26	Fe	749,94	2,28
29	Cu	116,15	0,35
30	Zn	199,54	0,61
35	Br	30,71	0,09
37	Rb	31,34	0,10
82	Pb	34,98	0,11
	TOTAL	32851,69	100,00

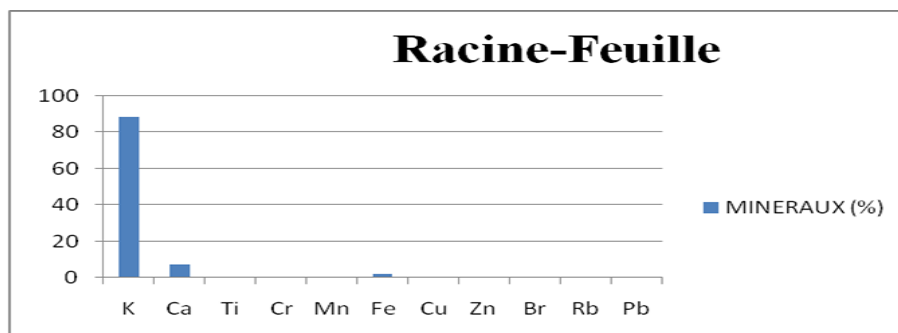


Figure 11 : *Variation des éléments dans racine-feuille*

Le potassium tient la première place avec 29031,67 ppb, suivi du calcium à 2501,68 ppb. L'ensemble des éléments minéraux constitue 32851,69 ppb du poids sec de Racine-Feuille dont le potassium, le calcium et le fer représentent 98,27 %. Le zinc et le cuivre sont faible concentration en dessous de 749,94 ppb. Voire indétectables le manganèse, le brome, le rubidium et le plomb.

3-3-6. Feuille-tige

On a onze éléments minéraux sont détectées dans le mélange d'échantillon de feuille et de tige.

Tableau 7 : *Distribution des éléments du feuille-tige*

ECHANTILLON DE FEUILLE-TIGE			
Z	ELEMENT	CONCETRATION (ppb)	MINÉRAUX(%)
19	K	33926,65	87,71
20	Ca	3239,87	8,38
25	Mn	29,03	0,08
26	Fe	927,06	2,40
28	Ni	33,92	0,09
29	Cu	169,01	0,44
30	Zn	149,94	0,39
35	Br	41,87	0,11
37	Rb	60,83	0,16
38	Sr	27,04	0,07
82	Pb	73,64	0,19
	TOTAL	38678,85	100,00

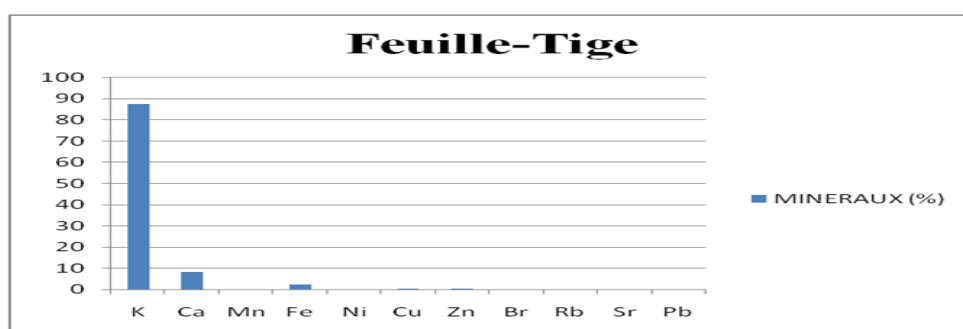


Figure 12 : *Variation des éléments dans feuille-tige*

L'échantillon Feuille-Tige contient une forte quantité de potassium à raison de 33926,65ppb, soit 87,71 % des éléments dosés. L'ensemble des éléments à l'état de trace représente 38678,85 ppb de poids sec dont le potassium, le calcium et le fer représentent 98,49 %. La teneur du calcium et le fer sont à peu près sur l'ordre de grandeur, 3239,87ppb pour l'un et 927,06 ppb pour l'autre. Le cuivre, le zinc existent mais à faible concentration de 149,94ppb l'une et l'autre 169,01ppb. Le magnésium, le brome, le nickel, le rubidium, le strontium et le plomb sont plus petite proportion des concentrations.

3-3-7. Racine-feuille-tige

On fait un mélange de racine, de feuille et de tige, douze éléments minéraux sont détectés dans l'échantillon Racine-Feuille-Tige.

Tableau 8 : Distribution des éléments du racine-feuille-tige

ECHANTILLON DE RACINE-FEUILLE-TIGE			
Z	ELEMENT	CONCENTRATION (ppb)	MINERAUX(%)
19	K	26444,37	88,71
20	Ca	1968,19	6,60
22	Ti	245,97	0,83
24	Cr	5,56	0,02
25	Mn	26,59	0,09
26	Fe	705,80	2,37
29	Cu	151,80	0,51
30	Zn	155,83	0,52
35	Br	23,78	0,08
37	Rb	34,08	0,11
38	Sr	21,77	0,07
82	Pb	26,19	0,09
	TOTAL	29809,94	100,00

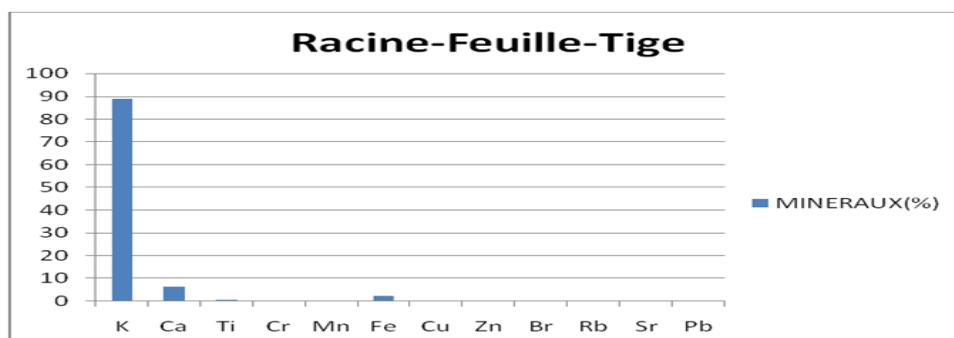


Figure 13 : Variation des éléments dans racine-feuille-tige

L'ensemble des éléments à l'état trace représente 29,809 mg/kg de poids sec de l'échantillon Racine-Feuille-Tige. Il contient une forte quantité de potassium de 26444,37 ppb, soit 88,71 % des éléments dosés. Le calcium, le fer, le zinc, le titane et le cuivre sont de faibles concentrations allant de 151,80ppb à 1968,19 ppb, soit 0,51 % à 6,60 %. Le Chrome, le manganèse, le brome, le rubidium, le strontium et le plomb sont très petit proportion de concentration en dessous 151,80 ppb.

4. Conclusion

La méthode d'analyse par fluorescence X à réflexion totale est déterminée des éléments minéraux dans l'*Euphorbia heterophylla*. Elle a identifié des éléments en utilisant une chaîne de détection en semi-conducteur de bonne résolution et le dosage par le logiciel AXIL après les étapes de préparation des échantillon en une très mince pellicule plane et homogène. La méthode TXRF ne demande qu'une faible quantité d'échantillon. Elle a l'avantage d'être rapide et très grande précision mais la probabilité d'émission des raies varie dans le même sens que le numéro atomique Z de l'élément cible. Ainsi l'analyse est restreinte aux éléments compris entre le Potassium ($Z = 19$) et le strontium ($Z = 38$) et plus le Plomb ($Z = 82$). Au cours de cette étude, on a identifié et dosé 13 éléments mineurs. Le potassium est abondants et représentent à 91,04 %, suivi le calcium à 6,12 % dans la moyenne d'*Euphorbia heterophylla*. Le résultat met en évidence le besoins en éléments minéraux d'*Euphorbia heterophylla* et que dans le cadre la quantité observée à la prévision sur le rôle oligoéléments. La quantité d'élément de potassium et de calcium est croissant au niveau du la racine jusqu'à la feuille.

Références

- [1] - JULIE MARIE-JOSEPHE DUTERTRE, « Enquête prospective au sein de la population consultant dans les cabinets de médecine générale sur l'île de la Réunion : à propos des plantes médicinales, utilisation, effets, innocuité et lien avec le médecin généraliste » Thèse pour l'obtention du DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR EN MEDECINE, Université Bordeaux 2 -Victor Segalen U.F.R des Sciences Médicales, (2011).
- [2] - FIHEVERA PASCAL MANOELA, « Etude de la correction entre la concentration du potassium dans l'extrait d'Aferontany et effet biologique sur un coeur isolé » Thèse de doctorat de 3è Cycle, Faculté des Sciences à l'Université d'Antananarivo, (2005).
- [3] - FATMA ZOHRA CHAKOU, KENZA MEDJOUDJA, « Etude bibliographique sur la phytochimie de la famille Zygophyllaceae pour aider à la détermination des principaux métabolites secondaires isolés des espèces les plus étudiées du genre Nitraria dont le but de la valorisation et l'identification des principes actifs de ce genre », Licence, Université kasdimerbah, ouargla Faculté des Sciences de la Nature et de la vie Département des Sciences Biologiques, (2014).
- [4] - HAFSA YAICHE ACHOUR, MUSTAPHA KHALI, « Composition physicochimique des miels algériens. Détermination des éléments traces et des éléments potentiellement toxiques », article Afrique SCIENCE, 10 (2) (2014) 127 – 136, <http://www.afriquescience.info>
- [5] - FIHEVERA P. MANOELA, « Etude de la teneur en éléments de quelques plantes médicinales Malagasy par la technique de la fluorescence-X à réflexion totale », Mémoire de DEA, Faculté des Sciences d'Antananarivo, (2000).
- [6] - M. RASOLOFONIRINA, « La détermination de la qualité élémentale des eaux de consommation de la ville d'Antananarivo et d'autres villes de Madagascar et des eaux embouteillées par la méthode d'analyse par fluorescence-X à réflexion totale », Thèse de doctorat de 3è Cycle, Faculté des Sciences à l'Université d'Antananarivo, (2000).
- [7] - CONNOLLY, R. JAMES, The iteration of X-Ray with Matter and Radiation Safety. Spiring: s.n., (2005).
- [8] - P. GALEZ, Spectrométrie de fluorescence atomique. S.I. : NET, (2011).