

Investigation des éléments minéraux traces et actifs dans le *Khat* par la technique de fluorescence X à énergie dispersive (EDXRF)

**Rufin RATONGASOANDRAZANA^{1*}, Aristide Sylvain RAJAONA TSIRINJARA¹
et Raelina ANDRIAMBOLOLONA²**

¹ *Université d'Antsiranana, Faculté des Sciences, Antsiranana, Madagascar*

² *Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires, Antananarivo, Madagascar*

* Correspondance, courriel : ratongasoandrazana@yahoo.fr

Résumé

Le présent travail porte sur la détermination des éléments minéraux traces et actifs dans les feuilles de *Khat*, qui est une plante cultivée et très consommée dans la région Nord de Madagascar grâce à son effet stimulant et euphorisant. Huit (08) échantillons, collectés dans trois endroits différents du Nord de Madagascar (Diego ville, Joffre ville et Antsalaka) ont été analysés par la méthode de Fluorescence X à énergie dispersive (EDXRF). Les résultats d'analyse ont montré la présence des éléments minéraux tels que le potassium (K), le calcium (Ca), le chrome (Cr), le manganèse (Mn), le fer (Fe), le cobalt (Co), le nickel (Ni), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le sélénium (Se), le brome (Br), le rubidium (Rb), le strontium (Sr), l'yttrium (Y), le plomb (Pb). Les teneurs de ces éléments varient en fonction des lieux de collecte. Ces résultats obtenus montrent que les feuilles de *Khat* contiennent des éléments très toxiques comme le brome (Br), le plomb (Pb), le chrome (Cr). Mais elles contiennent aussi des oligo-éléments tels que le potassium (K), le calcium (Ca), le fer (Fe), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) qui sont nécessaires à l'homme pour sa survie.

Mots-clés : *Khat, EDXRF, oligo-éléments, toxique, maladie, consommation, Madagascar.*

Abstract

Investigating of the elements mineral traces and active in the *Khat* by the technique of X fluorescence to energy dispersive (EDXRF)

The present work carries on the determination of the elements mineral traces and active in the leaves of *Khat*, plant that are cultivated and very consumed in the North region of Madagascar due to its stimulating effect and antidepressant. Eight (08) samples, collected in three different places from the North of Madagascar (Diego city, Joffre city and Antsalaka) have been analyzed by the method of Fluorescence X to energy dispersive (EDXRF). The results of analysis showed the presence of the mineral elements as potassium (K), the calcium (Ca), the chromium (Cr), the manganese (Mn), the iron (Fe), the cobalt (Co), the nickel (Ni), the copper (Cu), zinc (Zn), the selenium (Se), the bromine (Br), the rubidium (Rb), the strontium (Sr), the yttrium (Y) and the lead (Pb). The contents of these elements vary according to the places of collection. These gotten results show that the leaves of *Khat* contain very toxic elements as the bromine (Br), the lead (Pb), the chromium (Cr). But they also contain some trace elements as potassium (K), the calcium (Ca), the iron (Fe), the copper (Cu) and the zinc (Zn) that are necessary to the man for its survival.

Keywords : *Khat, EDXRF, trace elements, toxic, illness, consumption, Madagascar.*

1. Introduction

Le Khat est un arbuste de la famille des célastracées, originaire d'Éthiopie dont la culture s'est étendue dans la corne de l'Afrique (Éthiopie, Somalie, Kenya), le Sud de l'Afrique (Tanzanie, Ouganda, Malawi, Mozambique, Zambie, Zimbabwe, Afrique du sud), le sud de l'Arabie (Arabie Saoudite, Oman et Yémen) et Madagascar. Elle pousse à une altitude comprise entre 1670 m et 2590 m en fonction des propriétés du sol et des conditions climatiques. Son nom scientifique est *Catha edulis*. Cette plante est consommée, frais, à cause de la sensation d'euphorie et un effet aphrodisiaque qu'elle donne. C'est un produit stimulant. Afin de conserver leurs propriétés stimulantes, il faut consommer ces plantes rapidement après la cueillette, soit dans les trois jours au maximum. Mais pourquoi en consommer ? "Sans ce produit, nous serions très faibles. Il nous procure une sensation de bien être, tout en apportant de la force, de la puissance et surtout de la concentration. Nous ne pouvons rien faire sans en avoir consommé. La consommation apporte un sort de paix intérieure et plus de stimulation. Ce qui nous permet d'effectuer des travaux d'Hercule chaque fois que nous en mangeons", témoigne un consommateur de Khat à Madagascar. Et d'autre vont jusqu'à dire que "le Khat a un effet aphrodisiaque." Ajoute pour sa part un autre consommateur. Alors à ce sujet, qu'en est-il des femmes? "Nous avons plus de forces quand nous en mangeons" confie pour sa part une consommatrice de Khat à Madagascar [1].

L'intérêt de ce travail est la découverte des éléments minéraux, majeurs, mineurs et en traces contenus dans les feuilles de Khat, ainsi que leurs teneurs respectives. Les résultats des analyses qui ont été effectués montrent que les feuilles de Khat contiennent des éléments toxiques. De nombreux articles ont déjà parlés que le Khat contient des substances toxiques et sa consommation en excès et à long terme augmente le risque d'Accident Cardio-Vasculaire (AVC), l'infarctus des myocards (l'artère du cœur qui se bouche), l'hypertension artérielle, etc. [2]. Plusieurs pays d'Europe interdisent la consommation de Khat chez eux, mais à Madagascar, ni la production, ni la commercialisation, ni la consommation n'ont jamais été interdites. Ce qui limite les engagements pouvant être menés par les différents organes de prévention et de lutte contre cette plante. Ainsi tout le monde, appartenant à toutes les couches sociales, incluant les femmes et les enfants, en consomme en toute tranquillité parce que le Khat, parait-il, apporte une sensation de « bien-être ». On est face à une recrudescence de la consommation du Khat à Madagascar [1]. J'espère que cet article arrive à convaincre les autorités Malgaches de prendre des mesures sérieuses (interdire ou diminuer la consommation de Khat) afin de préserver la santé publique. L'objectif de ce travail est de montrer la toxicité légère du Khat, mais dangereux pour une consommation excessive et à long terme (pendant des années).

2. Méthodologie

2-1. Description du Khat

2-1-1. Description générale

Le khat est un arbuste ou arbrisseau (une sorte de fusain) de la famille des Célastracées, originaire d'Éthiopie, dont la culture s'est étendue à l'Arabie (surtout au Yémen) vers le XV^e siècle. Il est consommé par les habitants de ces régions qui en mâchent longuement les feuilles pour leur effet stimulant et euphorisant. Son nom scientifique est *Cathaedulis* (Vahl) Forssk. ex Endl. (Synonyme : *Celastrus edulis* Vahl). Ses noms vernaculaires sont appelés al-qât au Yémen (le Nord Yémen en particulier), tchat en Éthiopie, kat à Djibouti et Katy à Madagascar. On trouve ailleurs catha, gat, khat, qat, kus-es-salahin, miraa, tohai. Étymologiquement, le terme « khat » vient d'un mot arabe qui signifie « arbuste ».



Figure 1 : Feuille de khat

2-1-2. Étude botanique du Khat

C'est un arbuste qui peut mesurer de un à dix mètres de haut au Yémen, et jusqu'à dix-huit mètres dans les hautes terres éthiopiennes. L'écorce grise est rugueuse et souvent craquelée. Les feuilles, persistantes et coriaces, sont opposées à un limbe grossièrement denté de forme elliptique lancéolée, en général de dix cm de long sur cinq de large, de couleur vert brillant à la face supérieure, plus pâle à la face inférieure. Le pétiole très court est rosâtre. Les fleurs, minuscules, groupées en grappes, ont une corolle formée de cinq pétales blancs. Le fruit est une capsule à trois lobes, brun rougeâtre à maturité, de 10 mm de long environ qui contient des graines ailées.

2-1-3. Classification systématique du Khat

Règne	Planta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Celastrales
Famille	Celastraceae
Genre	Catha
Nom binominal	<i>Catha edulis</i> (Vahl) Forssk. ex Endl.

2-1-4. Écologie du Khat

L'aire de répartition naturelle de cette espèce s'étend dans la Corne de l'Afrique (Éthiopie, Somalie, Kenya), le Sud-Est de l'Afrique (Tanzanie, Ouganda, Malawi, Mozambique, Zambie, Zimbabwe, Afrique du Sud), le Sud de l'Arabie (Arabie saoudite, Oman et Yémen) et Madagascar. Elle pousse à une altitude comprise entre 1670 m et 2590 m en fonction des propriétés du sol et des conditions climatiques.

2-1-5. Usage du Khat

Le *khat* est utilisé depuis longtemps, ses feuilles fraîches sont mastiquées. Elles ont un effet astringent et une odeur aromatique. C'est un produit excitant, on l'appelle aussi drogue douce et sa consommation est interdite

dans plusieurs pays d'Europe. Cet usage est principalement répandu à Djibouti, en Somalie, au Yémen, à Oman, en Éthiopie et au Nord de Madagascar. Il est parfois consommé sous forme d'infusion (thé arabe, thé abyssin, thé somalien).

2-1-6. Effets et conséquences de la consommation du Khat

- L'effet de la consommation du khat est de soulager la faim et la fatigue ;
- Ses conséquences sont l'accélération du rythme cardiaque, l'hypertension, l'accélération de la respiration et l'hyperthermie [13] ;
- A long terme des modifications de l'humeur, des délires, des troubles du sommeil, des troubles de l'appareil digestif et troubles sexuels sont signalés [7].

2-2. Sites de prélèvement

- Huit (08) échantillons, à l'état frais, ont été collectés dans trois (03) endroits différents de la région Nord de Madagascar (Diego ville, Joffre Ville et Antsalaka). Diego-Suarez, ex-province, se situe à l'extrême Nord de Madagascar, tandis que Joffre et Antsalaka sont deux petites villes qui se situent respectivement à 12 km et à 60 km au Sud de Diego-Suarez (sur la route nationale Diego-Tananarive) ;
- Ces échantillons frais ont été transportés immédiatement au laboratoire INSTN-Madagascar (Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires) qui se trouve à Tananarive (Capital du pays) pour être analysés qualitativement et quantitativement.

2-3. Les matériels de préparation des échantillons

- Four électrique: séchage des échantillons (pendant 24 heures, à la température 60°C)
- Broyeur: pour transformer les échantillons secs en poudre
- Presseur: pour mettre les échantillons en poudre sous forme de pastilles
- Balance de précision: pour peser les échantillons



Figure 2 : Four électrique de marque SANYO [19]



Figure3 : Balance de précision Toledo [19]



Figure 4 : Presseur [19]



Figure 5 : Pastille [19]

2-4. Analyse des échantillons

La première étape de l'analyse est de mettre la chaîne sous tension. Ensuite, on règle les paramètres d'analyse :

- Tension : 45kV ;
- Intensité : 20 mA ;
- Temps de comptage : 1000 s ;
- Source excitatrice : Molybdène.

Au bout d'une heure de temps, la chaîne est prête et on place l'échantillon à analyser sur le porte échantillon de la chaîne. On obtient des résultats sous forme de spectres et on les décortique à l'aide d'un logiciel spécial appelé AXIL pour avoir des résultats numériques (fitting spectre).

2-5. Chaîne de spectrométrie X

La chaîne de spectrométrie X à énergie dispersive à réflexion classique permet d'analyser simultanément plusieurs éléments. Elle comprend :

- Un générateur de haute tension ;
- Une source excitatrice ;
- Un collimateur ;
- Un réflecteur de séparation ;
- Un réflecteur porte échantillon ;
- Un détecteur qui transforme l'énergie des photons en des impulsions électriques ;
- Un préamplificateur ;
- Un amplificateur ;
- Un analyseur multi canal (MCA) qui a pour rôle de mesurer l'amplitude des impulsions. Le MCA, par l'intermédiaire d'un microprocesseur, permet de faire des opérations simples au cours du dépouillement des spectres ;
- Une haute tension pour la polarisation du détecteur ;
- Un terminal informatique qui comprend un micro-ordinateur et une imprimante. Il permet d'enregistrer et de stocker les données. Il traite aussi les spectres à l'aide du logiciel AXIL.



Figure 6 : Chaîne d'analyse par la spectrométrie de fluorescence X à réflexion classique [16]

2-5-1. Préamplificateur

Le préamplificateur a pour rôle de collecter les charges électriques venant des bornes du détecteur et de les convertir en des impulsions de tension dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie des photons X incidents [18].

2-5-2. Amplificateur

L'amplificateur a pour rôle de capter les impulsions de tension à la sortie du préamplificateur afin de les amplifier pour adopter son amplitude à la gamme de tension analysable du système de traitement (exemple : amplitudes de 0 à 10 V). Il faut aussi régler le gain pour assurer la mise en forme optimum pour le traitement du spectre. Ce gain peut être linéaire ou logarithmique. [18]

2-5-3. Analyseur multi canal (MCA)

L'analyseur multi canal possède 4096 Canaux utilisables par touche de 1024. Il a pour rôle de classer les différentes impulsions sortant de l'amplificateur selon leurs énergies dans les différents canaux par l'intermédiaire d'un Convertisseur Analogique-Digital (ADC). Un flux de raie X caractéristique provoque une accumulation du nombre de coups dans un canal donné formant ainsi un pic. Le nombre de coups d'un pic considérés est proportionnel à l'intensité de la raie X donnée [20].

2-5-4. Source de haute tension

Source de haute tension qui peut fournir une différence de potentiel négative variant de 0 à 500V, en servant à polariser le détecteur.

2-5-5. Le terminal informatique

Le terminal informatique est un microordinateur qui sert à stocker et à traiter les données des spectres. L'imprimante est utilisée pour faire sortir les résultats. En plus, deux micro-ordinateurs sont utilisés dont l'un est équipé du logiciel MCA S100 pour la visualisation des spectres et autre contient le logiciel AXIL qui permet de faire le traitement et le stockage des données : dépouillement et lissage des spectres [9]. La **Figure 7** ci-dessous montre l'ensemble du module de traitement de données.

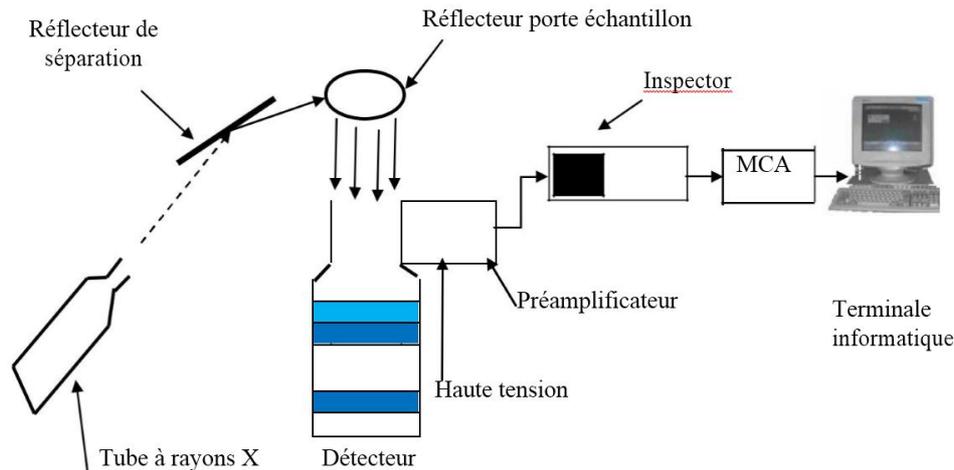


Figure 7 : Terminal informatique avec le logiciel MCA S 100 et le logiciel AXIL [9]

2-5-6. Étalonnage de la chaîne de détection

Le calibrage de la chaîne se divise en trois étapes : l’optimisation géométrique, l’étalonnage en énergie et l’étalonnage en sensibilité. On procède toujours à la mise au point de la chaîne de détection afin d’avoir un résultat fiable [9].

2-5-6-1. Optimisation de la chaîne de détection

Avant de faire une série de mesure, on procède à l’optimisation car la géométrie de la chaîne peut changer au cours d’une analyse ou au fil du temps. La mise au point et le contrôle se fait lors d’une analyse d’un échantillon standard par l’ajustage de l’intensité des raies X. Les conditions d’optimisation sont regroupées dans le **Tableau 1** [9].

2-5-6-2. Étalonnage en énergie

L’étalonnage en énergie consiste à établir la relation entre l’énergie E des raies et le nombre de canal C en irradiant des étalons. La plage d’énergie se situe entre 0 et 17,4 KeV qu’on subdivise en 1024 canaux. Comme il y a une linéarité entre l’énergie E et le canal N, l’étalonnage permet de déterminer le gain (a) et l’énergie offset (b) de la relation :

$$E = aN + b [eV] \tag{1}$$

Expérimentalement, on trouve que l’énergie générée par un élément correspond à :

$$E = 18,3. N + 6,25 [eV] \tag{2}$$

$$\text{Gain} = a = 18,3 \text{ eV/ch} ; \text{Energie offset} = b = 6,25 \text{ eV}$$

Tableau 1 : Conditions de test d'optimisation de la chaîne XRF

Tension de détecteur	500 V
Tension du tube à RX	45 V
Courant d'excitation	25 mA
Cible secondaire	Molybdène Mo
Temps d'optimisation	100 s
Intensité du standard	2,4 cps / ng pour le Cobalt (2400 cps / 100 s) 3,3 cps / ng pour le Sélénium (3300 cps / 100 s)

2-5-6-3. Étalonnage en sensibilité

L'étalonnage en sensibilité consiste à chercher la relation entre la sensibilité relative S_k (pour les raies K ou L) du système et le numéro atomique Z.

$$S_k(Z) = A_0 + A_1 Z + A_2 Z^2 + A_3 Z^3 \quad (3)$$

La détermination des coefficients A_0 , A_1 , A_2 et A_3 se fait à l'aide du logiciel AXIL [9].

3. Résultats et discussion

3-1. Résultats d'analyses

Nous avons analysés huit (08) échantillons pris dans des endroits différents. Les résultats de ces analyses par la méthode de fluorescence X à excitation directe, à réflexion classique nous permettent de dire que les Khats (feuille ou tige) contiennent les éléments suivants : Potassium (K), Calcium (Ca), Chrome (Cr), Manganèse (Mn), Fer (Fe), Cobalt (Co), Nickel (Ni), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Sélénium (Se), Brome (Br.), Rubidium (Rb), Strontium (Sr), Yttrium (Y), Plomb (Pb).

Tableau 2 : Résultat d'analyse de l'échantillon 1, feuilles, Pris à Joffre ville

Elément	Symbole	Concentration [mg / kg]
Potassium (K_{α})	K	1. 78 ± 0. 036%
Calcium (K_{α})	Ca	7499. 75 ± 170. 119
Chrome (K_{α})	Cr	2. 14 ± 0. 613
Manganèse (K_{α})	Mn	33. 06 ± 4. 920
Fer (K_{α})	Fe	101. 70 ± 4. 846
Cobalt (K_{α})	Co	< 1. 58
Nickel (K_{α})	Ni	0
Cuivre (K_{α})	Cu	16. 11 ± 0. 850
Zinc (K_{α})	Zn	52. 69 ± 1. 258
Sélénium (K_{α})	Se	< 0. 19
Brome (K_{α})	Br	53. 56 ± 0. 675
Rubidium (K_{α})	Rb	49. 59 ± 0. 566
Strontium (K_{α})	Sr	50. 45 ± 0. 416
Yttrium (K_{α})	Y	< 0. 14
Plomb (L_{α})	Pb	< 1. 38

Tableau 3 : Résultat d'analyse de l'échantillon 2, feuilles, Prise à Antsalaka

Elément	Symbole	Concentration [mg / kg]
Potassium (K_{α})	K	6214. 83 ± 298. 428
Calcium (K_{α})	Ca	9474. 64 ± 131. 225
Chrome (K_{α})	Cr	2. 35 ± 0. 623
Manganèse (K_{α})	Mn	35. 44 ± 5. 074
Fer (K_{α})	Fe	114. 69 ± 4. 978
Cobalt (K_{α})	Co	0
Nickel (K_{α})	Ni	6. 59 ± 1. 072
Cuivre (K_{α})	Cu	12. 60 ± 0. 829
Zinc (K_{α})	Zn	37. 46 ± 1. 161
Sélénium (K_{α})	Se	< 0. 20
Brome (K_{α})	Br	56. 85 ± 0. 692
Rubidium (K_{α})	Rb	23. 19 ± 0. 458
Strontium (K_{α})	Sr	103. 61 ± 0. 542
Yttrium (K_{α})	Y	< 0. 14
Plomb (L_{α})	Pb	1. 98 ± 0. 473

Tableau 4 : Résultat d'analyse de l'échantillon 3, feuilles, Pris à Diego Ville

Elément	Symbole	Concentration [mg / kg]
Potassium (K _α)	K	4031.37 ± 288.797
Calcium (K _α)	Ca	1.18 ± 0.012 %
Chrome (K _α)	Cr	2.92 ± 0.623
Manganèse (K _α)	Mn	25.81 ± 4.916
Fer (K _α)	Fe	212.09 ± 5.643
Cobalt (K _α)	Co	< 1.60
Nickel	Ni	0
Cuivre (K _α)	Cu	10.00 ± 0.784
Zinc (K _α)	Zn	19.76 ± 1.002
Sélénium (K _α)	Se	0.19 ± 0.062
Brome (K _α)	Br	54.24 ± 0.663
Rubidium (K _α)	Rb	7.69 ± 0.358
Strontium (K _α)	Sr	123.93 ± 0.566
Yttrium (K _α)	Y	0.20 ± 0.042
Plomb (L _α)	Pb	1.62 ± 0.448

Tableau 5 : Résultat d'analyse de l'échantillon 4, feuilles, Prise à Antsalaka

Elément	Symbole	Concentration [mg / kg]
Potassium (K _α)	K	1.28 ± 0.34 %
Calcium (K _α)	Ca	5577.48 ± 159.394
Chrome (K _α)	Cr	3.32 ± 0.622
Manganèse (K _α)	Mn	30.57 ± 4.916
Fer (K _α)	Fe	84.61 ± 4.708
Cobalt (K _α)	Co	0
Nickel (K _α)	Ni	3.82 ± 1.033
Cuivre (K _α)	Cu	15.83 ± 0.850
Zinc (K _α)	Zn	37.97 ± 1.171
Sélénium (K _α)	Se	< 0.20
Brome (K _α)	Br	38.24 ± 0.606
Rubidium (K _α)	Rb	51.45 ± 0.572
Strontium (K _α)	Sr	60.31 ± 0.448
Yttrium (K _α)	Y	< 0.15
Plomb (L _α)	Pb	< 1.36

Tableau 6 : Résultat d'analyse de l'échantillon 5, feuilles, Pris à Antsalaka

Elément	Symbole	Concentration [mg / kg]
Potassium (K _α)	K	1.13 ± 0.033 %
Calcium (K _α)	Ca	6606.58 ± 155.039
Chrome (K _α)	Cr	< 1.81
Manganèse (K _α)	Mn	20.88 ± 4.837
Fer (K _α)	Fe	111.44 ± 4.906
Cobalt (K _α)	Co	< 1.60
Nickel	Ni	0
Cuivre (K _α)	Cu	11.99 ± 0.827
Zinc (K _α)	Zn	35.55 ± 1.143
Sélénium (K _α)	Se	< 0.19
Brome (K _α)	Br	66.79 ± 0.734
Rubidium (K _α)	Rb	74.43 ± 0.655
Strontium (K _α)	Sr	58.04 ± 0.441
Yttrium (K _α)	Y	< 0.15
Plomb (L _α)	Pb	1.88 ± 0.471

Tableau 7 : Résultat d'analyse de l'échantillon 6, feuilles, Pris à Joffre ville

Elément	Symbole	Concentration [mg / kg]
Potassium (K _α)	K	1.5 ± 0.022 %
Calcium (K _α)	Ca	6733.54 ± 102.322
Chrome (K _α)	Cr	2.10 ± 0.412
Manganèse (K _α)	Mn	28.96 ± 3.303
Fer (K _α)	Fe	87.29 ± 3.228
Cobalt (K _α)	Co	< 0.99
Nickel (K _α)	Ni	< 1.94
Cuivre (K _α)	Cu	16.27 ± 0.579
Zinc (K _α)	Zn	45.45 ± 0.844
Sélénium (K _α)	Se	0
Brome (K _α)	Br	66.80 ± 0.514
Rubidium (K _α)	Rb	55.95 ± 0.397
Strontium (K _α)	Sr	56.51 ± 0.287
Yttrium (K _α)	Y	< 0.09
Plomb (L _α)	Pb	1.31 ± 0.308

Tableau 8 : Résultat d'analyse de l'échantillon 7, feuilles, Pris à Diego ville

Elément	Symbole	Concentration [mg / kg]
Potassium (K _a)	K	2006. 55 ± 293. 641
Calcium (K _a)	Ca	1. 03 ± 0. 010 %
Chrome (K _a)	Cr	2. 27 ± 0. 635
Manganèse (K _a)	Mn	30. 88 ± 5. 173
Fer (K _a)	Fe	328. 55 ± 6. 520
Cobalt (K _a)	Co	0
Nickel	Ni	0
Cuivre (K _a)	Cu	7. 61 ± 0. 804
Zinc (K _a)	Zn	23. 33 ± 1. 073
Sélénium (K _a)	Se	< 0. 20
Brome (K _a)	Br	72. 73 ± 0. 762
Rubidium (K _a)	Rb	12. 90 ± 0. 423
Strontium (K _a)	Sr	128. 23 ± 0. 595
Yttrium (K _a)	Y	0. 97 ± 0. 052
Plomb (L _a)	Pb	< 1. 44

Tableau 9 : Résultat d'analyse de l'échantillon 8, feuilles, Pris à Antsalaka

Elément	Symbole	Concentration [mg / kg]
Potassium (K _a)	K	1. 07 ± 0. 010 %
Calcium (K _a)	Ca	6471. 96 ± 44. 141
Chrome (K _a)	Cr	2. 58 ± 0. 183
Manganèse (K _a)	Mn	32. 51 ± 1. 457
Fer (K _a)	Fe	99. 38 ± 1. 477
Cobalt (K _a)	Co	0
Nickel	Ni	< 0. 89
Cuivre (K _a)	Cu	13. 21 ± 0. 247
Zinc (K _a)	Zn	54. 65 ± 0. 386
Sélénium (K _a)	Se	0. 22 ± 0. 020
Brome (K _a)	Br	76. 99 ± 0. 241
Rubidium (K _a)	Rb	39. 07 ± 0. 156
Strontium (K _a)	Sr	171. 68 ± 0. 202
Yttrium (K _a)	Y	< 0. 04
Plomb (L _a)	Pb	0. 61 ± 0. 138

3-2. Discussion

Ces résultats montrent que le khat est une plante riche en calcium (Ca), donc elle peut remplacer les fruits tels que le citron, l'orange, etc. Mais la présence de l'élément brome (Br), qui est très toxique à une teneur non négligeable lui fait défaut. La consommation d'une quantité importante des feuilles de khat est dangereuse [4]. Les effets du brome sur la santé sont :

- Dysfonctionnement du système nerveux ;
- Perturbation des matériels génétiques ;
- Dommages du foie, des reins, des poumons, de l'estomac et du système gastro-intestinal.

Malgré tous les arguments des consommateurs de khat, les médecins ne sont pas du tout du même avis qu'eux. Le Docteur MIARINTSOA Andriamiarinarivo médecin addictologie, non moins une consultante en alcoologie et toxicomanie, donne son avis. "A force de toujours en manger, la personne devient entièrement dépendant. La consommation du khat déforme alors le visage du consommateur. Puis le produit est néfaste pour la santé, surtout, à long terme. C'est l'appareil digestif qui est attaqué en premier, à cause de la salive toujours pleine de résidus. Ce qui pourrait amener au cancer si la consommation dure trop longtemps, des années. Sans oublier ses effets néfastes sur les reins" [1]. Le khat aggrave le risque d'accident vasculaire cérébral (AVC) et l'infarctus du myocarde [5]. Le khat peut entraîner des hépatites aiguës [6]. Les métaux lourds plombs (Pb) et chrome (Cr) sont présents dans le khat mais à l'état de trace. Les métaux «lourds» sont aussi qualifiés du fait de leur densité élevée. Les métaux lourds sont classés en deux catégories : les «indiscernables» et les «toxiques». Pour les métaux lourds indésirables, le corps humain en a besoin dans une limite acceptable. Il faut une limite maximale qu'on ne doit pas dépasser, mais il faut également une limite minimale respectée sinon la carence peut engendrer des problèmes sanitaires. On cite le fer, le zinc et le cuivre. Par contre, quand aux métaux lourds toxiques à savoir le plomb, le cadmium, le mercure, l'arsenic, et le chrome, leur pénétration dans l'organisme humain même à l'état de traces peut y provoquer des troubles majeurs [17]. Les présences des oligo-éléments tels que le potassium, le calcium, le manganèse sont nécessaires à l'homme pour sa survie.

3-2-1. L'élément potassium (K)

Les résultats de ces analyses montrent que les feuilles de Khat contiennent l'élément potassium mais en faible quantité. Or le potassium est un élément indispensable à la survie de l'homme (oligo-élément). Le potassium joue un rôle majeur dans notre organisme. Il permet la transmission d'impulsions nerveuses, la contraction musculaire, le bon fonctionnement de la fonction rénale. Ce minérale occupe ainsi une place essentielle au sein de notre organisme. Donc ce n'est pas un élément toxique. Il ne présente pas de danger pour les consommateurs de Khat.

3-2-2. L'élément calcium (Ca)

Les résultats de ces analyses montrent que les feuilles de Khat contiennent environ 6000 mg de calcium par kilogramme. Cette plante est très riche en Calcium, qui est un élément indispensable à la survie de l'homme, mais sa consommation excessive a pour conséquence : « le cancer de prostate et l'accident cardio-vasculaire aiguë (AVC) ». L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande une consommation journalière en calcium de l'ordre de 500 mg. En conclusion, vue la concentration de l'élément calcium dans les feuilles de Khat, on estime que les gros consommateurs de Khat ont un excès de calcium, car ils en accumulent déjà dans les repas qu'ils mangent chaque jour.

3-2-3. L'élément Chrome (Cr)

Les résultats de ces analyses montrent que les feuilles de Khat contiennent environ 2mg de Chrome par Kilogramme. Le Chrome est un métal toxique pour l'homme, notamment le chrome (IV). Sa toxicité est fortement dépendante de sa forme : particule, nanoparticule, oxyde, ion, hydroxyde, valence etc. Il est bio accumulé dans certains organismes, comme des végétaux alimentaires. De ce fait, il peut altérer la santé humaine. Il est à l'état de trace, mais dangereux à cause de la bioaccumulation dans les organismes. Une intoxication aiguë peut provoquer une tubulonéphrite : blocage rénal. Une intoxication chronique entraîne des lésions cutanées et muqueuses avec atteinte respiratoire allant jusqu'au cancer broncho-pulmonaire. L'organisation mondiale de la santé (OMS) a fixé à 0,050 mg par litre la concentration de Chrome (VI) à ne pas dépasser dans les eaux. Donc la consommation excessive de Khat entraîne l'accumulation de Chrome dans le sang.

3-2-4. L'élément manganèse (Mn)

Les résultats de ces analyses montrent que les feuilles de Khat contiennent environ 30 mg de manganèse par kilogramme. Le manganèse est un oligoélément (nécessaire à l'homme pour survivre); la carence en manganèse (moins de 2 à 3 mg / jour pour un adulte) conduit à des troubles de la reproduction pour les deux sexes, des malformations osseuses, des dépigmentations, une ataxie et une alternation du système nerveux central. Le manganèse est toxique quand il est présent en excès : ingéré au-delà de quelques mg par jour, il devient neurotoxique, induisant des troubles éventuellement graves et irréversibles du système nerveux et neuromoteur. La limite de sécurité définie en France par l'Afssa est 4,2 à 10 mg par jour. On estime que les consommateurs de Khat n'atteignent pas cette dose, donc l'élément Manganèse n'est pas toxique pour eux.

3-2-5. L'élément Fer (Fe)

Les résultats de ces analyses montrent que les feuilles de Khat contiennent environ 100 mg de Fer par kilogramme. C'est un élément indispensable à la survie de l'homme (oligoélément). Le fer est présent dans l'hémoglobine des globules rouges qui transportent l'oxygène vers toutes les cellules. Il est aussi présent dans la myoglobine, une substance semblable à l'hémoglobine, qui aide les muscles à mettre de l'oxygène en

réserve. Le fer est essentiel à la production de l'adénosine triphosphate (ATP), source première de l'énergie corporelle. Il participe à plusieurs processus physiologiques vitaux, comme la régulation de la croissance des cellules et de leur différenciation. Donc ce n'est pas un élément toxique pour l'homme, mais son excès dans l'organisme a pour conséquences :

- L'infarctus du myocarde (les artères du cœur qui se bouchent) ;
- Et les troubles cardiovasculaires.

L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) recommande en apport nutritionnel journalier en fer de 8 mg. Ainsi, une personne qui mange des aliments riche en fer (par exemple : la viande rouge) et qui consomme encore des grosses quantités de Khat ont un excès de fer.

3-2-6. L'élément cobalt (Co)

Les résultats de ces analyses montrent que les feuilles de Khat contiennent du cobalt à l'état de trace. Or le cobalt est un oligo-élément (nécessaire à l'homme pour survivre). Donc les faibles quantités de Cobalt dans le Khat ne présentent pas de danger pour ses consommateurs. Le cobalt est un oligoélément nécessaire à certaines cellules et aux processus biologiques, mais à très faible dose. Mais à des doses plus élevées, le cobalt est « hautement toxique »

3-2-7. L'élément nickel (Ni)

Les résultats de ces analyses montrent que les feuilles de Khat contiennent de Nickel mais à l'état de trace. Les aliments contiennent naturellement de petites quantités de nickel. Notre consommation de nickel augmente lorsqu'on mange de très grandes quantités de légumes provenant de sols contaminés. En petites quantités, le nickel est essentiel mais, quand l'absorption est trop importante, il peut présenter un risque pour la santé. L'absorption de quantités trop importantes de Nickel peut avoir les conséquences suivantes :

- Plus de risque de développer un cancer de poumons, du larynx et de la prostate ;
- Nausée, vomissements et vertige après une exposition au gaz ;
- Embolies pulmonaires ;
- Echec respiratoire ;
- Echec de naissance ;
- Asthme et bronchite chronique ;
- Réactions allergiques telles que des éruptions cutanées (principalement avec les bijoux en nickel)
- Problèmes cardiaques.

3-2-8. L'élément Cuivre (Cu)

Les résultats de ces analyses montrent que les feuilles de Khat contiennent environ 15 mg de cuivre par kilogramme. Le cuivre est un oligo-élément indispensable à la vie (hommes, plantes, animaux et microorganisme). Le corps humain contient naturellement du cuivre à une concentration d'environ 1,4 à 2,1 mg par Kg. On trouve du cuivre dans le foie, les muscles et les os. Le cuivre est transporté par la circulation sanguine au moyen d'une protéine nommée Cérulé plasmine. Après l'absorption du cuivre au niveau de l'intestin, il est acheminé vers le foie, lié à l'albumine. Le cuivre est notamment nécessaire à la formation de l'hémoglobine. Donc ce n'est pas un élément toxique, mais sa consommation excessive entraîne une accumulation de cuivre dans les tissus et peut provoquer la maladie de Wilson. L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments a fixé la dose journalière en cuivre de 2 mg / jour pour un adulte.

3-2-9. L'élément zinc (Zn)

Les résultats de ces analyses montrent que les feuilles de Khat contiennent 50 mg de zinc par kilogramme. Le zinc est un élément qui est essentiel pour la santé de l'homme. Lorsqu'on a absorbé trop peu de zinc, on peut alors avoir une perte d'appétit, une diminution des sensations de goût et d'odeur, les blessures cicatrisent lentement, on peut avoir des plaies. Trop de zinc peut tout de même provoquer des problèmes de santé importants, comme des crampes d'estomac ; des irritations de la peau, des vomissements, des nausées, de l'anémie. De très hauts niveaux de zinc peut endommager le pancréas et perturbe le métabolisme des protéines et provoquer de l'artériole. En fin, on estime que la présence de l'élément zinc dans les feuilles de Khat ne présente pas un danger pour ses consommateurs.

3-2-10. L'élément sélénium (Se)

Les résultats de ces analyses montrent que l'élément sélénium est présent dans les feuilles de Khat en très faible quantité (à l'état de trace). Le sélénium est un oligo-élément constituant des scléroprotéines dont fait partie le principal antioxydant intercellulaire, la glutathion peroxydase. On en trouve dans les rognons de porc ou de bœuf, l'ail, le poisson et les mollusques. La nutrition occidentale satisfait largement les besoins quotidiens en cet élément. Le sélénium est toxique à trop forte dose. Il peut entraîner des nausées, des diarrhées, une fragilisation des ongles, la perte des cheveux ou de la fatigue. Les recommandations américaines indiquent une dose quotidienne maximale à 400 µg / L. En terme, vue les faibles concentrations de l'élément sélénium dans les feuilles de Khat, cet élément ne présente pas un danger pour les consommateurs de Khat.

3-2-11. L'élément brome (Br.)

Les résultats d'analyse montrent que les feuilles du khat contiennent du Brome, en moyenne 60 mg par Kilogramme. Or le brome est un élément très toxique pour l'homme, il provoque des dégâts divers dans l'organisme. Par exemple, il peut être responsable de dysfonctionnements du système nerveux et peut perturber le matériel génétique. Des dommages sont aussi constatés au niveau du foie, des reins, des poumons, de l'estomac et du système gastro-intestinal. Le brome pénètre par voie respiratoire et cutanée; il est distribué dans les fluides extracellulaires, et excrété principalement au niveau urinaire. Après ingestion, l'ion bromure est rapidement et complètement absorbé par le tractus gastro-intestinal. Il est distribué presque exclusivement dans les fluides extracellulaires ; il s'accumule dans la paroi des vaisseaux sanguins, le cartilage, les tendons, la destine et les organes excréteurs; il franchit la barrière méningée et placentaire. Après application cutanée, il pénètre rapidement dans l'organisme et se distribue dans le tissu adipeux et des organes comme le foie et les poumons. Dans les conditions normales, la demi-vie biologique du brome dans le sang, la salive et l'urine est approximativement 12 jours chez l'homme. La majorité du brome contenue dans la salive et le suc gastrique est réabsorbée au niveau de l'intestin grêle et excrétée dans l'urine par filtration glomérulaire. En terme, la consommation excessive de khat entraine une accumulation de brome, très toxique, dans l'organisme. Ceci entraine des maladies suivantes : disfonctionnement du système nerveux, perturbation du matériel génétique, dommages à des organes tels que le foie, les reins, les poumons, disfonctionnement de l'estomac et du système gastro-intestinal [10].

3-2-12. Rubidium (Rb)

Les résultats de ces analyses montrent que les feuilles de Khat contiennent environ 60 mg de Rubidium par kilogramme. Effets d'exposition : réactif à l'eau. Modérément toxique par l'ingestion. Si le rubidium est mis à

feu, il causera des brûlures thermiques. Le rubidium réagit aisément avec l'humidité de la peau pour former de l'hydroxyde de rubidium, qui cause des brûlures chimiques des yeux et de la peau. Signes et symptômes de surexposition, gagner du poids, ataxie, hyper irritation, ulcères de peau, et énervement extrême. Il est toxique par l'ingestion.

3-2-13. L'élément Strontium (Sr)

Les résultats de ces analyses montrent que les feuilles de Khat contiennent environ 70 mg de Strontium par kilogramme. Les concentrations en strontium de la nourriture contribuent à la concentration en strontium du corps humain. Les aliments qui contiennent des concentrations importantes en strontium sont les graines, les légumes à feuilles et les produits laitiers. La consommation de Strontium à travers les aliments ne présente pas de risque pour la santé. Le seul composé de strontium qui est considéré comme dangereux pour la santé, même en petite quantité, est le chromate de strontium. Cette dangerosité est essentiellement due au chrome toxique qu'il contient. Le chromate de strontium est connu pour provoquer des cancers des poumons. La consommation de concentration importantes de strontium n'est en général pas connue comme dangereuse pour la santé. Quand la consommation de Strontium est extrêmement haute, elle peut provoquer une interruption du développement osseux, mais ceci ne se produit que lorsque la consommation est de l'ordre du millier de ppm. Le niveau de Strontium dans la nourriture ou les Khats n'est pas assez élevé pour provoquer ce type d'effet. En fin, l'élément Strontium contenu dans le Khat n'est pas toxique.

3-2-14. L'élément Yttrium (Y)

Les résultats de ces analyses montrent que les feuilles de Khat contiennent l'élément Yttrium, mais à l'état de trace. On trouve peu d'Yttrium dans la nature, car il est présent en petites quantités. Il s'accumule graduellement dans le sol et dans ses eaux. Il a tendance à s'accumuler dans le foie lorsqu'il est absorbé par l'homme; sa présence en faible quantité ne présente pas de danger pour les consommateurs de Khat.

3-2-15. L'élément Plomb (Pb)

Les résultats de ces analyses montrent que les feuilles de Khat contiennent du plomb, mais à l'état de trace. C'est un métal lourd, très toxique, même à faible dose. Lorsqu'il est ingéré, ses effets les plus graves s'exercent sur le système nerveux central et la plupart des organes vitaux. Il peut aussi atteindre les globules rouges et le système digestif. L'OMS a réduit la dose journalière tolérable à 3,6 µg / kg de poids [12].

4. Conclusion

Dans cet article, on a pu faire l'investigation des éléments minéraux dans les feuilles de khat par la méthode d'analyse par fluorescence X à énergie dispersive. Cette méthode a permis de détecter dans l'échantillon de feuille de Khat des éléments minéraux tels que le potassium (K), le calcium (Ca), le chrome (Cr), le manganèse (Mn), le fer (Fe), le cobalt (Co), le nickel (Ni), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le sélénium (Se), le brome (Br), le rubidium (Rb), le strontium (Sr), l'yttrium (Y), le plomb (Pb). Les résultats obtenus révèlent la présence des éléments très toxiques tels que le brome (Br.), le plomb (Pb), le chrome (Cr), le cobalt (Co), et le rubidium (Rb). Les présences des oligo-éléments tels que le potassium (K), le calcium (Ca), le manganèse (Mn), le fer (Fr), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) sont indispensables mais leurs excès dans l'organisme provoquent aussi des maladies. La présence de plusieurs plantes non encore exploitées dans notre pays et les problèmes liés à leur utilisation traditionnelle nécessitent des recherches plus approfondies. En effet, l'existence à Madagascar des méthodes

fiables d'une analyse des plantes peut être utilisée pour réaliser cette noble ambition. Il va de soi que nombreuses continuités de ce travail serait possibles pour ceux qui veulent y impliquer pour promouvoir les recherches scientifiques. En effet, dans le domaine scientifique, il est toujours essentiel d'améliorer une quelconque recherche en considérant d'autre issu.

Références

- [1] - *Journal Midi Madagascar*, recrudescence de la consommation de Khat à Madagascar, 17 Mars 2016, www.midi-madagasikara.mg
- [2] - NADINE IDRISSE, "khat : point de vue medical", dec. 2010 (Human village 14)
- [3] - AHMED, "Khat : point de vue medical", 30 Mars 2015 (Human village)
- [4] - ABDALLAH BARKAT, "Khat : point de vue medical", 21 Avril 2016 (Human village)
- [5] - « khat chewing and acute myocarditeinfraction », *heart*, 87 (3) 279 - 80 p.
- [6] - Dr COTTON, «Hepatotoxicity of khat chewing », *Liver Int*, 2010, Sep 2, Epud ahead of print
- [7] - A. M. FEYSSA et J. P. KEILY,' A review of the neuropharmacological properties of khat', *Progress in Neuropsychopharmacology and Biological Psychiatry*, 32 (2008) 1147 - 1166 p.
- [8] - P. KALIX, 'Khatan amphetamine-like stimulant', *Journal of Psychoactive Drugs*, 26 (1994) 69 - 74 p.
- [9] - ARISTIDE SYLVAIN RAJAONA TSIRINJARA, JULES JOANITOT ANDRIANJARA et FREDERIC ASIMANANA, Analyse des éléments minéraux en trace des *Acanthospermum hispidum* (bakakely), à l'aide des techniques de fluorescence X à réflexion totale (TXRF), *Revue Science Afrique*, Vol. 12, N°6 (2016)
- [10] - P. NENCINI, AHMED, A. M et ELM I, A S, 'Subjective effects of khat chewing in humans' *Drug and Alcohol Dependence*, 18 (1) (1986) 97 - 105 p.
- [11] - N. B. Patel, 'Mechanism of action of cathinone : the active ingredient of khat (*Catha edulis*)', *East African Medical Journal*, 77 (6) (2000) 329 - 332 p.
- [12] - E. J. M. PENNING, A. OPPERHUIZEN et J. G. C. VAN AMSTERDAM, 'Risk assessment of khat use in the Netherlands: a review based on adverse health effects, prevalence, criminal involvement and public order', *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 52 (3) (2008) 199 - 207 p.
- [13] - S. W. TOENNES et G. F. KAUERT, 'Driving under the influence of khat : alkaloid concentrations and observations in forensic cases', *Forensic Science International*, 140 (1) (2004) 85 - 90 p.
- [14] - S. W. TOENNES, S. HARDER, M. SCHRAMM, C. NIESS et G. F. KAUERT, Pharmacokinetics of cathinone, cathine and norephedrine after the chewing of khat leaves', *British Journal of Clinical Pharmacology*, 56 (1) (2003) 125 - 130 p.
- [15] - P. Widler, K. Mathys, R. Brenneisen, P. Kalix et H. U. Fisch, 'Pharmacodynamics and pharmacokinetics of khat : a controlled study', *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 55 (5) (1994) 556 - 562 p.
- [16] - ELISE OCTAVIE RASOZANANY, Mise en évidence des éléments polluants de l'air atmosphérique et des eaux usées industrielles à Antananarivo et analyse d'une plante forestière de la côte est de Madagascar, Thèse de Doctorat de troisième cycle, 2008, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, MADAGASCAR. ([www.instn.mg / bibliothèque](http://www.instn.mg/bibliothèque))
- [17] - BE KOUZEMA, Analyses des éléments en traces et des éléments minéraux dans des gousses de vanille de la région S. A. V. A à l'aide des technique de fluorescence X à réflexion totale, d'absorption Atomique et de chromatographique ionique, mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondie, 2013, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, MADAGASCAR. ([www.instn.mg / bibliothèque](http://www.instn.mg/bibliothèque))
- [18] - HERISAINA ANDRIANIAINA, Contribution à l'étude de qualité des eaux de consommation d'Andralanitra et environ, mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie, 2013, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, MADAGASCAR. (www.instn.mg/bibliothèque)

- [19] - IATA PETERSON RASOLOFONDRAIBE, Caractérisations physico-chimiques et mécaniques de quelques produits des ciments Madagascar par la technique d'analyses par fluorescence X et essais de réception, mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie, 2014, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, MADAGASCAR. (www.instn.mg/bibliothèque)
- [20] - MANOVANTSOATSIFERANA HARINOELY, Etude de la pollution de l'air par les matières particulaires, les éléments et la carbone noir dans les aérosols prélevés à Andravoahangy-Antananarivo, mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie, 2012, Faculté des Sciences Université d'Antananarivo, MADAGASCAR. (www.instn.mg/bibliothèque)