

Étude Des Teneurs Différenciées En Minéraux Et Métaux Lourds Des Nouilles Par Fluorescence X A L'Energie Dispersive Et Conséquences Sur La Santé Humaine

MAMIZARA Michéa^{1*}, RAZANAMASY Clausius Herschel⁵, RAZAFINDRAPATA Augustin², Rodel
Justola TSIAFITAKA³, Daniel RASOLOZAFY³, ASIMANANA Frédéric⁴

¹. Université d'Antsiranana, Faculté des sciences, Mention Physique, Diégo Suarez 201, Madagascar.
mamizara3@yahoo.fr

². Université d'Antsiranana, Institut universitaire des sciences de l'environnement et de la société, Diégo Suarez 201,
Madagascar.
faraka207@gmail.com

³. Université d'Antsiranana, Faculté des sciences, Diégo Suarez 201, Madagascar.
rasolozafdanield566@gmail.com

⁴. Université d'Antsiranana, Faculté des sciences, Mention Physique, Diégo Suarez 201, Madagascar
fredericasimanana@yahoo.fr

⁵. Université d'Antsiranana, Métrologie Nucléaire et Environnement, Diégo Suarez 201, Madagascar.
clausiusherschel@gmail.com

*Corresponding Author: RAZAFINDRAPATA Augustin, faraka207@gmail.com



Résumé : L'étude des éléments minéraux contenus dans les nouilles demeure un sujet de recherche pertinent pour réduire les risques d'intoxication alimentaire à Madagascar sur tout dans le nord de la grande île. La caractérisation de ces produits largement consommés, qu'ils soient importés ou produits régionalement, s'avère nécessaire pour évaluer leur impact potentiel sur la santé publique. Cette étude vise à déterminer et comparer les teneurs en éléments minéraux dans les nouilles venant de l'extérieur et locaux (Madagascar) consommés par la population Malagasy. L'analyse des nouilles ont été réalisées au Laboratoire de Physique Nucléaire et Physique de l'Environnement (LPNPE) de l'Université d'Antananarivo (Madagascar) en utilisant la spectrométrie de fluorescence X à dispersion d'énergie (ED-XRF). Plusieurs catégories d'éléments minéraux ont été identifiées dans les échantillons telle que des éléments nutritifs ainsi que des oligo-éléments. Les concentrations varient significativement selon l'origine des nouilles. Cette étude met en évidence la présence de éléments nutritifs en très faible quantités dans les nouilles, mais il faut souligner que l'importance de la vigilance des consommateurs et des autorités de régulation. Des recommandations concernant la consommation de ces produits pourraient contribuer à limiter l'exposition aux éléments potentiellement toxiques.

Mots-clés : Nouilles, Éléments minéraux, Métaux lourds, ED-XRF, Sécurité alimentaire, Région DIANA.

Abstract: The study of the mineral elements contained in noodles remains a relevant research topic to reduce the risks of food poisoning in Madagascar throughout the north of the big island. The characterization of these widely consumed products, whether imported or produced regionally, is necessary to assess their potential impact on public health. This study aims to determine and compare the mineral content in noodles coming from outside and local (Madagascar) consumed by the Malagasy population. Noodle analysis was performed at the Laboratory of Nuclear and Environmental Physics (LPNPE) of the University of Antananarivo (Madagascar) using energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry (ED-XRF). Several categories of mineral elements were identified in the samples, such as nutrients and trace elements. Concentrations vary significantly depending on the origin of the noodles. This study highlights the

presence of nutrients in very low amounts in noodles, but it must be emphasized that the importance of consumer vigilance and regulatory authorities. Recommendations regarding the consumption of these products could help limit exposure to potentially toxic elements.

Keywords : Noodles, Mineral elements, Heavy metals, ED-XRF, Food security, DIANA region.

1. INTRODUCTION

A Madagascar, la malnutrition est sans aucun doute l'une des raisons à ne pas prendre à la légère qui démontre la pauvreté. Dans les contextes de malnutrition qui prévalent dans certains pays en voie de développement, les nouilles ont été identifiées comme vecteurs d'amélioration du statut nutritionnel des populations. La littérature actuelle présente une lacune significative concernant la caractérisation précise des profils en éléments minéraux des nouilles commercialisés dans les pays en de développement et leurs implications potentielles sur la santé publique. Cette carence de données probantes est particulièrement préoccupante dans des contextes comme celui de Madagascar, où les systèmes de surveillance et de contrôle de la qualité des produits alimentaires importés peuvent être limités par des contraintes infrastructurelles et réglementaires. La présente étude vise à combler cette lacune en établissant un profil détaillé des éléments minéraux, tant essentiels que potentiellement dangereux, dans des échantillons de nouilles disponibles sur le marché Malagasy, en distinguant les produits d'importation de ceux de fabrication locale. Cette caractérisation constitue une étape préliminaire indispensable à l'évaluation des risques et bénéfices associés à la consommation de ces produits largement accessibles à la population.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Cadre de l'étude

Cette étude a été réalisée au Laboratoire de Physique Nucléaire et Physique de l'Environnement (LPNPE) de l'Université d'Antananarivo, Madagascar. Les analyses élémentaires ont été effectuées par spectrométrie de fluorescence X à dispersion d'énergie (ED-XRF), technique permettant l'identification et la quantification simultanées des éléments chimiques présents dans les échantillons. Les échantillons des nouilles ont été acquis dans divers points de vente du marché d'Antsiranana, sélectionnés pour représenter la diversité des produits disponibles selon leur origine (locale et importée).

2.1 Préparation des échantillons

Plusieurs matériels sont nécessaires pour transformer l'échantillon en déposé sur le réflecteur. La préparation des échantillons consiste à transformer les spécimens solides en poudre fine. La finalité de cette transformation est d'obtenir un échantillon homogène. A cet effet, Elle consiste à transformer les échantillons en pastilles [1]. Les échantillons sont portés à la température environ 90°C pendant 30 minutes dans un four pour détruire la matière organique afin d'éliminer l'effet de matrice de l'échantillon [2]. Chaque échantillon est ensuite broyé à l'aide d'un mortier en agate afin d'obtenir des grains très fins dont la taille est inférieure ou égale à 50 µm pour le but d'avoir homogénéisé le mélange [3]. Après broyage et tamisé, on prend 4 grammes, on le comprime sous une pression de 10 tonnes par cm² soit 109 Pa (Pascal) pour fabriquer des échantillons intermédiaires. Enfin, il est placé dans une porte épave pour la conservation des échantillons fait et analysé directement par la spectrométrie X [4]. La préparation des échantillons doit être faite avec précaution pour empêcher la contamination des échantillons.

2.2 Analyse

Le Laboratoire de Physiques Nucléaire et Physique de l'Environnement (LPNPE-Madagascar) dispose un spectromètre de fluorescence X de marque « Amptek EXP-2 » utilisé pour les analyses qualitative et quantitative des éléments minéraux présents dans les échantillons. FastSDD est le type de détecteur utilisé ayant une résolution énergétique de 130 eV FWHM avec temps de points à 4 µs, l'épaisseur du silicium est 50µm et le collimateur multicouche intérieure a une dimension 17 mm² à 25

mm². L'étalonnage a une corrélation bien confirmée entre les valeurs trouvées par Madagascar-LPNPE et celles concentration théorique des éléments d'intérêt avec une régression de l'ordre 0,94. Les conditions de mesure sont les suivantes :

- Temps de comptage : 200 secondes.
- Logiciel « XRS-FP2 » qui permet de faire le traitement et le stockage des données : dépouillement et lissage du spectre.
- Logiciel « DPP MCA » : application sous Windows qui fournit l'acquisition de données, l'affichage et le contrôle pour les processeurs de signaux Amptek.
- Tension du tube : 40 kV;
- Courant du tube : 10 μ A.

La figure 1 illustre le spectromètre de fluorescence X au LPNPE-MADAGASCAR :



Figure 1: Dispositif de spectromètre de fluorescence X (Amptek EXP-2) utilisé pour l'analyse des échantillons de nouilles.

La première composant est le spectromètre X-123 qui comprend un détecteur et le processeur de signal numérique DP5, la deuxième est le tube à rayons X Mini-X2 qui comprend 30 un collimateur avec un emplacement pour monter les filtres, la troisième composante est le logiciel d'analyse aux rayons X XRS-FP2, et la dernière composante le montage mécanique EXP-2 qui fournit une protection contre les radiations, des verrouillages de sécurité et une chambre d'échantillonnage. Amptek EXP-2 est un spectromètre de fluorescence X qui utilise la méthode par ED-XRF pour les analyses d'échantillons. Le mode d'excitation étant par des cibles secondaires sont Fer et Molybdène. Lorsque les cibles sont soumises aux rayonnements X primaires délivrés par le tube, elles émettent des rayons pour exciter les atomes de l'échantillon. Une fois ces atomes excités, ils émettent à leur tour des raies de fluorescence qui sont ensuite mesurées par un détecteur.

3. RÉSULTATS

Quatorze (14) échantillons ont été analysés et pris dans des endroits différents, venant du marché de la district DIANA plus précisément marché BAZAR Kely. Les résultats de ces analyses par la méthode de fluorescence X à l'énergie dispersive, montrent qu'ils contiennent plusieurs éléments telle que :

- Les éléments en traces : Plomb (Pb), Brome (Br) et Nickel (Ni).
- Les oligo-éléments : Aluminium (Al), Fer (Fe), Titane (Ti), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Manganèse (Mn) et Vanadium (V).
- Les éléments nutritifs : Calcium (Ca) et Magnésium (Mg).

Ces résultats montrent que les concentrations des éléments minéraux contenus dans les nouilles varient d'un échantillon à l'autre. Les tableaux ci-après représentent les teneurs moyennes exprimées en (**ppm**) respectives des éléments minéraux dans les échantillons des nouilles analysées :

Tableau 1 : Variation de la concentration (n=5) des éléments nutritifs sur les nouilles analysées.

Nouilles	Magnésium (Mg)	Calcium (Ca)
R M2 V	9,54 ± 0,23	6,66 ± 0,02
R M2 A	11,47 ± 0,04	10,54 ± 0,04
R M2 D J	24,57 ± 0,34	18,69 ± 0,06
R M2 D V	20,14 ± 0,43	17,98 ± 0,08
R M2 D D	17,65 ± 0,17	15,47 ± 0,14
R M2 D B	17,24 ± 0,05	15,96 ± 0,70
R M2 R V	10,07 ± 0,37	18,74 ± 0,54
R M2 R M	11,87 ± 0,08	17,31 ± 0,04
R M2 R B	12,47 ± 0,07	15,64 ± 0,01
R M2 R O	12,09 ± 0,08	15,71 ± 0,02
R M2 R F	9,19 ± 0,01	15,87 ± 0,60
R M2 C N	40,89 ± 0,34	9,78 ± 0,04
R M2 C M	35,74 ± 0,05	8,47 ± 0,01
R M2 C C	39,17 ± 0,24	7,14 ± 0,05

L'analyse des profils minéraux des nouilles révèle des caractéristiques distinctives mais aussi des affinités importantes. Concernant le Magnésium (Mg), **R M2 C N** présente une concentration significativement plus élevée (40,89 ± 0,34 ppm) comparée à **R M2 R F** (9,19 ± 0,01ppm), soit une différence relative de 18 %.

Pour le calcium (Ca), on observe également une concentration plus élevée dans **R M2 R V** (18,74 ± 0,54 ppm) que dans **R M2 C C** (7,14 ± 0,05 ppm), représentant une différence relative substantielle de 38,10 %. Les deux échantillons affichent une précision analytique avec des coefficients de variation similaires (CV = 2,80 % et 4,47 % respectivement).

Tableau 2 : Variation de la concentration (n=5) des oligo-éléments sur les nouilles analysées.

Codes	Aluminium (Al)	Vanadium (V)	Fer (Fe)	Titane (Ti)	Manganèse (Mn)	Cuivre (Cu)	Zinc (Zn)
R M2 V	< LD	< LD	0,32 ± 0,02	< LD	0,24 ± 0,07	0,04 ± 0,01	0,19 ± 0,01
R M2 A	< LD	< LD	0,97 ± 0,01	< LD	0,18 ± 0,02	< LD	0,11 ± 0,04
R M2 D J	< LD	< LD	2,19 ± 0,08	< LD	0,11 ± 0,01	< LD	0,12 ± 0,01
R M2 D V	< LD	< LD	3,01 ± 0,07	< LD	0,17 ± 0,03	< LD	0,14 ± 0,04
R M2 D D	< LD	< LD	2,90 ± 0,01	< LD	0,19 ± 0,02	< LD	0,13 ± 0,01
R M2 D B	< LD	< LD	2,76 ± 0,04	< LD	0,11 ± 0,04	< LD	0,14 ± 0,01
R M2 R V	< LD	< LD	4,23 ± 0,09	< LD	0,30 ± 0,05	< LD	0,10 ± 0,01

R M2 R M	< LD	< LD	4,08 ± 0,04	< LD	0,22 ± 0,01	< LD	0,12 ± 0,02
R M2 R B	< LD	< LD	3,87 ± 0,03	< LD	0,17 ± 0,01	< LD	0,14 ± 0,02
R M2 R O	< LD	< LD	3,34 ± 0,07	< LD	0,21 ± 0,03	< LD	0,16 ± 0,03
R M2 R F	< LD	< LD	2,14 ± 0,08	< LD	0,19 ± 0,04	< LD	0,11 ± 0,04
R M2 C N	< LD	< LD	1,05 ± 0,06	< LD	< LD	< LD	< LD
R M2 C M	< LD	< LD	4,03 ± 0,21	< LD	0,33 ± 0,02	< LD	< LD
R M2 C C	< LD	< LD	2,36 ± 0,08	< LD	0,19 ± 0,01	< LD	< LD

< LD : inférieur à la limite de détection.

L'analyse des profils minéraux révèle des caractéristiques distinctives parmi les différentes variétés de nouilles examinées. Quant à l'Aluminium (Al), le Vanadium (V) et Titane (Ti), ils n'ont été détectés dans aucun des quatorze échantillons, se situant sous la limite de détection.

Le fer (Fe) suit la même tendance avec une concentration supérieure de 7,56 % dans **R M2 R V** (4,23 ± 0,09 ppm) par rapport à **R M2 V** (0,32 ± 0,02 ppm), avec une précision analytique pour les deux échantillons (CV = 7,01 % et 3,92 % respectivement).

Le manganèse présente une faible variabilité inter-échantillons (0,11 ± 0,04 ppm à 0,33 ± 0,02 ppm). Les concentrations en zinc oscillent entre 0,10 ± 0,01 ppm et 0,19 ± 0,01 ppm, avec une variation notable entre échantillons. Le Zinc n'a été quantifié que dans trois échantillons (**R M2 C N**, **R M2 C M** et **R M2 C C**). Le cuivre n'a été détecté que dans un seul échantillon (**R M2 V** : 0,04 ± 0,01 ppm), les autres présentant des concentrations inférieures à la limite de détection.

Tableau 3 : Variation de la concentration (n=5) des éléments toxiques sur les nouilles analysées.

Codes	Nickel (Ni)	Brome (Br)	Plomb (Pb)
R M2 V	< LD	< LD	< LD
R M2 A	< LD	< LD	< LD
R M2 D J	< LD	< LD	< LD
R M2 D V	< LD	< LD	< LD
R M2 D D	< LD	< LD	< LD
R M2 D B	< LD	< LD	< LD
R M2 R V	< LD	< LD	< LD
R M2 R M	< LD	< LD	< LD
R M2 R B	< LD	< LD	< LD
R M2 R O	< LD	< LD	< LD
R M2 R F	< LD	< LD	< LD
R M2 C N	< LD	< LD	< LD
R M2 C M	< LD	< LD	< LD
R M2 C C	< LD	< LD	< LD

< LD : inférieur à la limite de détection.

Quant au brome (Br), au Nickel (Ni) et au Plomb (Pb), ils n'ont été détectés dans aucun des quatorze échantillons, se situant sous la limite de détection.

4. DISCUSSIONS

4.1 Variabilité des éléments minéraux entre les échantillons

L'analyse comparative des profils minéraux des différents nouilles révèle une hétérogénéité remarquable dans leur composition élémentaire. Cette variabilité s'observe à plusieurs niveaux : entre pays d'origine, entre marques d'un même pays, et même au sein d'échantillons d'une même référence. Les coefficients de variation interspécifiques atteignent des valeurs élevées pour certains éléments. Cette distinction prononcée suggère l'influence de multiples facteurs déterminants, incluant la matière première, la fabrication, les conditions de stockage, et possiblement des contaminations d'origine environnementale ou industrielle.

- Cuivre

Le cuivre n'a été détecté que dans un seul échantillon, les autres présentant des concentrations inférieures à la limite de détection. Le cuivre est un oligoélément essentiel jouant un rôle crucial dans la synthèse du collagène, le métabolisme énergétique, et la fonction antioxydante [5]. La dose journalière acceptable a été récemment révisée à 0,07 mg/kg de poids corporel [6]. Les concentrations observées dans nos échantillons sont inférieures aux seuils de toxicité établis.

- Manganèse

Le manganèse présente faible variabilité inter-échantillons. Cet élément est essentiel pour le métabolisme des macronutriments, la formation osseuse et les systèmes de défense contre les radicaux [7]. Bien qu'aucune limite supérieure tolérable n'ait pu être établie par l'EFSA en raison de données insuffisantes [8], les concentrations observées restent dans des gammes acceptables pour la consommation humaine.

- Fer

Les concentrations en fer montrant une distribution relativement homogène. Le fer est indispensable au transport de l'oxygène via l'hémoglobine et au métabolisme énergétique cellulaire [9]. L'EFSA recommande un apport de référence de 16 mg/jour pour les femmes en âge de procréer et maintient cette recommandation pendant la grossesse et l'allaitement [10]. Les concentrations observées contribuent modestement aux apports quotidiens recommandés.

- Zinc

Les concentrations en zinc varient notablement entre échantillons. Le zinc est impliqué dans plus de 200 réactions enzymatiques et joue un rôle crucial dans la fonction immunitaire, la croissance, et la cicatrisation [5]. L'EFSA a établi des apports de référence variables selon le niveau de phytates dans l'alimentation, allant de 7,5 à 12,7 mg/jour pour les femmes et de 9,4 à 16,3 mg/jour pour les hommes. La limite supérieure tolérable est fixée à 25 mg/jour selon l'EFSA. Les concentrations observées restent dans des gammes acceptables pour la consommation humaine.

- Calcium et Magnésium

Les concentrations en éléments nutritifs essentiels (Mg et Ca) varient considérablement entre les échantillons, certains nouilles présentant des teneurs particulièrement moins élevées ne pouvant pas contribuer aux apports nutritionnels recommandés.

4.2 Imputations pour la santé publique

Ces résultats soulèvent des préoccupations en matière de santé publique, particulièrement concernant la carence des éléments nutritifs via la consommation régulière de ces produits, notamment chez les populations vulnérables comme les enfants et les femmes. Plusieurs recommandations peuvent être formulées : Renforcement des contrôles réglementaires, l'implémentation de contrôles plus rigoureux sur les produits importés, la réalisation d'études plus approfondies pour identifier les sources de carence au calcium et magnésium dans ces produits. La conduite d'études d'évaluation de l'exposition pour quantifier les risques sanitaires

associés à la consommation régulière de ces nouilles, en tenant compte des habitudes alimentaires des populations concernées et l'harmonisation des pratiques de production.

5. CONCLUSION

Cette analyse comparative approfondie des profils minéraux de nouilles de diverses origines géographiques met en lumière une variabilité considérable dans leur composition élémentaire. Si certains échantillons présentent des teneurs intéressantes en éléments essentiels (Fe, Zn), les concentrations alarmantes des éléments nutritifs (Calcium et Magnésium) détectées dans la quasi-totalité des produits analysés soulèvent des préoccupations majeures en matière de sécurité alimentaire et de santé publique.

Ces résultats soulignent l'importance cruciale d'une surveillance rigoureuse des produits alimentaires importés, particulièrement ceux destinés à une consommation régulière. Ils appellent également à une meilleure compréhension et à l'implémentation de mesures préventives efficaces pour protéger la santé des consommateurs.

Reconnaissance : J'exprime mes sincères remerciements à Monsieur RAZAFINDRAPATA Augustin, Docteur au Domaine Sciences et Technologies à l'Institut universitaire des sciences de l'environnement et de la société de l'université d'Antsiranana ; de prodigé des idées et des conseils pour la conception et la réalisation de ce travail.

Références

- [1] Agence Internationale de l'Energie Atomique, (IAEA-TECDOC-300). « *Sample preparation Techniques in trace Element Analysis By X-ray Emission Spectroscopy* ». Vienna, 1983.
- [2] Agence Internationale de l'Energie Atomique (IAEA-TECDOC-950). « *Sampling, storage and sample preparation procedures for X-ray fluorescence analysis of environmental materials* ». June 1997.
- [3] Agence Internationale de l'Energie Atomique (IAEA DRAFT). *Documentation version 1.2, Q. X. A. S. (Quantitative X-ray Analysis System)*. 1995-1996.
- [4] Agence Internationale de l'Energie Atomique (IAEA / SOIL-7). « *Certified Reference Material* ». May 1984
- [5] European Food Safety Authority. « Scientific Opinion on Dietary Reference Values for copper ». *EFSA Journal*. 2015;13(10):4253. doi: 10.2903/j.efsa.2015.4253
- [6] EFSA Scientific Committee. « Re-evaluation of the existing health-based guidance values for copper and exposure assessment from all sources ». *EFSA Journal*. 2023;21(1):7728. doi: 10.2903/j.efsa.2023.7728.
- [7] Genevey Laurene, Schutz Claire. « *Législation du complément alimentaire et étude des compositions de deux types de compléments alimentaires* ». Thèse de docteur en Pharmacie. Université Joseph Fourier. Faculté de Pharmacie de Grenoble, p 76-78-87-89, 12 janvier 2009.
- [8] European Food Safety Authority. « Scientific Opinion on Dietary Reference Values for manganese ». *EFSA Journal*. 2013;11(11):3419. doi: 10.2903/j.efsa.2013.3419.
- [9] Martin A et al., « *Apports nutritionnels conseillés pour la population française* ». Ed Lavoisier, Tec & Doc. 2001.
- [10] EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. « Scientific Opinion on Dietary Reference Values for iron ». *EFSA Journal*. 2015;13(10):4254. doi: 10.2903/j.efsa.2015.4254.
- [11] Favier M, Hininger-Favier I. « *Zinc et grossesse. Gynécologie Obstétrique & Fertilité* ». 2005 ; 33 : 253–258.