

Evaluation du risque sanitaire lié à la radioactivité naturelle dans les variétés de riz cultivés dans trois (03) zones rizicoles au Mali en 2024

Assessment of health risks associated with natural radioactivity in rice varieties cultivated in three rice-growing areas of Mali in 2024

Adama Coulibaly¹, Aly Ag Mohamed Dicko¹, Oumou Camara¹, Abdoul Salam DIARRA², Solomane TRAORE³

¹Agence Malienne de Radioprotection (AMARAP), Colline de Badalabougou, Ex-CRES, Bâtiment A3, Bamako-Mali.
Phone : (+223) 20238661, BP : 1872

²Centre national de la Recherche scientifique et technologique, Bamako, Mali

³Institut National de Santé Publique

Auteur correspondant

M. Adama COULIBALY, Ingénieur en radioprotection (sûreté et sécurité nucléaire),

Email : coulibalyadama274@yahoo.fr

Résumé

Introduction : La consommation annuelle moyenne du riz par habitant au Mali est passée de 50 kg en 2001 à 90 kg en 2018. Dans un contexte croissant d'utilisation des engrais riche en radioactivité naturelle, l'objectif était d'évaluer le risque sanitaire lié à la radioactivité dans les variétés de riz dans trois périmètres irrigués au Mali en 2024.

Méthodes : L'étude était descriptive visant à déterminer les concentrations en radionucléides naturels dans des échantillons de riz. Un échantillonnage exhaustif des variétés de riz a été effectué et ont été préparés conformément aux directives définies par l'AIEA. A l'aide du logiciel « Génie 2000 », les données des pics dans les spectres de chaque échantillon ont été collectées et saisies dans Excel pour calculer la concentration en activité (C) des radionucléides détectés et la dose efficace annuelle (É).

Résultats : 11 échantillons de 9 variétés de riz ont été étudiés. Les concentrations des NORM étaient inférieures aux limites réglementaires nationales de 1000 Bq/kg pour U-238 et Th-232 et de 100000 Bq/kg pour K-40. Toutefois, des dépassements ponctuels ont été observés à Selingué pour le riz LIEN chez la tranche d'âge 12-17 ans (É respectivement de 1,26 et 1,07 mSv/an) ainsi que pour le riz COCONI chez les enfants (É = 1,02 mSv/an).

Conclusion : La consommation des variétés de riz cultivés sur les trois sites est sans risque majeur sur la santé de la population mais une attention doit être portée sur les variétés de riz pour les enfants (plus radiosensibles) afin de minimiser les effets stochastiques ou tardives (cancer).

Mots clés : radioactivité naturelle, risque sanitaire, variétés de riz, périmètre irrigué, Mali

Abstract

Introduction : The average annual rice consumption per capita in Mali increased from 50 kg in 2001 to 90 kg in 2018. In a context of increasing use of fertilizers rich in naturally occurring radioactive materials, this study aimed to assess the health risk associated with radioactivity in rice varieties from three irrigated areas in Mali in 2024.

Methods : This was a descriptive study aimed at determining the concentrations of natural radionuclides in rice samples. An exhaustive sampling of rice varieties was conducted, and samples were prepared according to the guidelines established by the International Atomic Energy Agency (IAEA). Using "Genie 2000" software, spectral peak data from each sample were collected and exported to Excel to calculate radionuclide activity concentrations (C) and the annual effective dose (É).

Results : A total of 11 samples from 9 rice varieties were analyzed. The concentrations of naturally occurring radioactive materials (NORM) were below national regulatory limits of 1000 Bq/kg for U-238 and Th-232, and 100000 Bq/kg for K-40. However, localized exceedances were observed in Selingué for LIEN rice among adolescents aged 12–17 years (É = 1.26 and 1.07 mSv/year), as well as for COCONI rice among children (É = 1.02 mSv/year).

Conclusion : Consumption of rice varieties cultivated in the three study sites does not pose a major health risk to the general population. However, particular attention should be given to rice consumption among children, who are more radiosensitive, in order to minimize potential stochastic or long-term effects such as cancer.

Keywords : Natural radioactivity; Health risk; Rice varieties; Irrigated areas; Mali

Introduction

Le riz constitue un aliment stratégique en Afrique de l'Ouest et représente la troisième source calorique sur le continent africain. Au Mali, il contribue à environ 5 % du produit intérieur brut et occupe la troisième place des activités agricoles après le coton et l'élevage. La consommation annuelle moyenne par habitant est passée de 50 kg en 2001 à près de 90 kg en 2018, traduisant une dépendance croissante à cette céréale. Le riz joue ainsi un rôle central dans la sécurité alimentaire et la réduction de la pauvreté rurale [1].

Les radionucléides naturels communément appelés en anglais NORM (Naturally Occurring Radioactive Material), notamment ceux issus des séries de désintégration de l'uranium-238 (U-238) et du thorium-232 (Th-232), ainsi que le potassium-40 (K-40) sont présents dans les sols à des concentrations variables. Leur demi-vie ou période radioactive est de l'ordre de 10⁹ années. Les végétaux cultivés absorbent ces radionucléides à partir du sol et également à partir des engrais utilisés, ce qui peut entraîner leur transfert vers la chaîne alimentaire [2-3].

L'exposition interne humaine survient principalement par ingestion. La dose effective annuelle dépend de la concentration en activité (Bq/kg) et du taux de consommation alimentaire. Selon la réglementation nationale basée sur les recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) dans sa publication N°60, la limite de dose efficace annuelle pour le public vivant autour d'une installation nucléaire ou radiologique est fixée à 1 mSv/an, correspondant à un risque théorique de mortalité par cancer radio-induit de 10⁻⁵ (soit 1 cas sur 100000 habitants) [4-5]. Au Mali, le Décret N°2014-0931/P-RM fixe les valeurs limites réglementaires à 1000 Bq/kg pour U-238 et Th-232 et à 100 000 Bq/kg pour K-40 dans les denrées alimentaires [4].

Dans un contexte croissant d'utilisation des engrais riche en radioactivité naturelle, de forte consommation nationale de riz et d'exploitation agricole à proximité de barrages hydroélectriques, l'évaluation des niveaux de radioactivité naturelle dans les variétés riz cultivées apparaît nécessaire pour documenter le risque sanitaire potentiel.

L'objectif de cette étude était de déterminer les concentrations en activité des radionucléides naturels afin d'évaluer le risque sanitaire sur la population (consommateurs maliens).

Méthodologie

Lieu d'étude

L'étude a été réalisée dans trois (03) périmètres rizicoles irrigués du Mali :

- Sélingué, situé sur le fleuve Sankarani, à environ 140 km de Bamako, dans la région de Sikasso [6] ;

- Manantali, localisé sur le fleuve Sénégal, à environ 334 km de Bamako [7] ;

- Mahina, également situé sur le fleuve Sénégal, à environ 400 km de Bamako [8].

Ces sites sont caractérisés par la présence de barrages hydroélectriques et une activité rizicole intensive. Ils constituent des pôles stratégiques de production rizicole nationale. Les différents échantillons ont été collectés avec le concours de certains autochtones et techniciens d'agriculture dans lesdites localités.

Type d'étude

Il s'agit d'une étude expérimentale, descriptive et transversale, réalisée en 2024, visant à déterminer les concentrations en radionucléides naturels dans des échantillons de riz et à évaluer le risque sanitaire associé à leur ingestion.

Choix des sites

Le choix des trois (03) localités reposait sur :

- l'existence de périmètres irrigués à forte production rizicole ;
- la proximité de barrages hydroélectriques susceptibles d'influencer la géochimie locale des sols ;
- l'utilisation croissante des engrais agricoles (susceptible d'être riche en NORM) dans la culture du riz ;
- leur importance stratégique dans la sécurité alimentaire nationale.

Technique d'échantillonnage

Un échantillonnage exhaustif des variétés de riz disponibles sur chaque site a été effectué. Au total, onze (11) échantillons ont été collectés dont cinq (5) échantillons à Sélingué, deux (2) échantillons à Mahina et quatre (4) échantillons à Manantali. Ces échantillons correspondaient aux principales variétés cultivées localement.

Calcul de la dose efficace annuelle et du risque radiologique

- Calcul de la concentration en activité (C) des NORM

La concentration en activité (C) des radionucléides naturels (Bq/Kg) a été calculée à l'aide de la formule (1) suivante [9] :

$$C = \frac{S}{(\epsilon * P_y * t * m)} \quad (1)$$

Où S est la Surface nette du radionucléide spécifique, ϵ est l'efficacité de détection du détecteur (coefficient d'étalonnage et un facteur de correction) du spécifique radionucléide, P_y est la probabilité d'émission du spécifique radionucléide, t est le temps de comptage de l'échantillon en seconde (s), m est la masse de l'échantillon en (kg).

- Calcul de la dose efficace annuelle (É)

La dose efficace annuelle (É) par ingestion en (Sv/an) a été calculée selon la formule (2) [10, 11 et 12] :

$$\dot{E} = C \times IR \times DCF \quad (2)$$

Où IR est le taux annuel de consommation de riz (kg/an), basé sur les données nationales FAO [1] et DCF est le coefficient de dose par ingestion (Sv/Bq) libellé dans le document « GSR part 3 » de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) [13].

Les résultats ont été exprimés en mSv/an.

- Evaluation du risque radiologique

La Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) a évalué le risque de mortalité par cancer radio-induit en utilisant la valeur de la dose efficace annuelle de 1mSv/an (limite de dose annuelle autorisée pour le public autour d'une installation nucléaire ou radiologique) [4]. Cette évaluation a révélé que la probabilité de mort par cancer dû à cette dose annuelle est de 10⁻⁵ soit 1 personne sur 100 000 [5].

Le risque radiologique (cancer) lié à la consommation des variétés de riz dans cette recherche (R) a été comparé en fonction des doses annuelles obtenues des tranches d'âge à celui de la CIPR 60.

Outils et techniques d'analyse des échantillons

- **Préparation des échantillons** : Les onze (11) échantillons de riz ont été préparés conformément aux directives définies par l'AIEA [9]. Les échantillons sous forme de riz paddy ont été préalablement broyés pour éliminer la couche brune des graines de riz. Ils ont ensuite été séchés à l'étuve (70 °C), broyés à l'aide d'un broyeur électrique, tamisés (avec un tamis de maille 1mm) puis conditionnés dans des géométries type "Marinelli de 250ml" pour être analysés par spectrométrie gamma. Après le temps d'équilibre séculaire (environ un mois), tous les échantillons ont été lus pendant dix (10) heures, les concentrations en activité (Bq/kg) des NORM ont été évaluées. La dose efficace annuelle (É) s'exprime en Sv/an a été calculée en utilisant les concentrations en activité obtenues ainsi que le risque radiologique a été évalué.

- **Mesure des radionucléides** : Les mesures ont été réalisées par spectrométrie gamma à l'aide du détecteur de scintillation d'Iodure de Sodium dopé au Thallium dénommé NaI(Tl), modèle 802 muni d'un logiciel « Génie 2000 ». Ce détecteur est d'excellentes efficacités de détection. Les concentrations en activité (Bq/kg de poids sec) ont été déterminées pour les NORM (U-238, Th-232 et K-40). Les concentrations de l'U-238 et du Th-232 ont été estimées à partir de la moyenne des radionucléides descendants (plomb, actinium, bismuth, thallium).

Collecte et analyse des données

A l'aide du logiciel « Génie 2000 », les données (surfaces nettes) des pics dans les spectres de chaque échantillon ont été collectées et saisies dans une base de données « Excel » pour calculer la concentration en activité (C) des radionucléides détectés et la dose efficace annuelle (É). Ces informations ont permis d'évaluer le risque radiologique de cancer. Les résultats ont été comparés :

- Aux limites réglementaires nationales (Décret N°2014-0931/P-RM),
- Aux valeurs publiées dans la littérature internationale.

Considérations éthiques

L'étude a été réalisée avec l'autorisation des autorités compétentes en matière de radioprotection (l'AMARAP). Les analyses ont été effectuées dans le laboratoire d'analyse réglementaire du Département Contrôle et Surveillance du Territoire (DCST) de l'AMARAP, conformément aux règles nationales de sûreté radiologique.

Résultats

L'étude menée dans les zones rizicoles de Selingué, Mahina et Manantali a permis d'estimer la dose efficace annuelle liée à la radioactivité naturelle (U 238, Th 232 et K 40) dans différentes variétés de riz, ainsi que le risque radiologique associé selon les groupes d'âge.

Concentration en activité (C, Bq/kg) dans les variétés de riz cultivés dans les 3 zones rizicoles

Les concentrations en activité retrouvées dans les variétés de riz sont inférieures à la limite réglementaire nationale. Cependant, les concentrations les plus élevées de U-238 et de K-40 ont retrouvées dans les échantillons de riz SEL05(LIEN) alors que des concentrations de Th-232 sont retrouvées dans les échantillons de riz SEL03(COCONI) (tableau 1).

Dose efficace annuelle (É) estimé par variété de riz selon le groupe d'âge (tableau 2)

Les résultats montrent que la dose efficace annuelle varie en fonction de la localité, de la variété de riz et de l'âge des consommateurs. Les valeurs les plus élevées ont été observées à Selingué, particulièrement chez les enfants de 7-12 ans, avec les variétés LIEN (1,26 mSv/an) et COCONI (1,02 mSv/an). Ces niveaux dépassent ponctuellement la limite de 1 mSv/an fixée par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR). Dans les autres localités, les doses restent généralement inférieures à ce seuil, avec des valeurs comprises entre 0,30 et 0,90 mSv/an selon les variétés.

Tableau 1 : répartition des variétés de riz cultivés selon la concentration en activité des NORM

N°	Code Echantillon	Concentration d'activité (Bq/kg)		
		U-238	Th-232	K-40
1	SEL01(BG)	< CMD*	13,44	55,68
2	SEL02(ADNY11)	20,74	7,52	83,02
3	SEL03(COCONI)	35,07	29,18	36,61
4	SEL04(IER)	< CMD*	10,72	41,34
5	SEL05(LIEN)	86,59	16,31	261,85
6	MAH01 (GAMBIAKA)	36,74	14,41	176,93
7	MAH02(ADNY11)	< CMD*	9,25	48,94
8	MAN01(ADNY)	41	16,08	197,44
9	MAN02(ALICA3)	< CMD*	15,24	174,7
10	MAN03(RK3)	< CMD*	14,19	211,41
11	MAN04 (NENEKALA)	< 0,026	12,65	184,74
Limite réglementaire nationale (en Bq/kg) [4]		1000	1000	100000

Tableau 2 : répartition des variétés de riz cultivés à Selingué, Mahina et Manantali par dose efficace annuelle selon les tranches d'âge

N°	Code Echantillon	Ê (mSv/an)		
		Âge7-12 ans	Âge12-17ans	Âge>17ans
1	SEL01(BG)	0,42	0,34	0,31
2	SEL02(ADNY11)	0,42	0,35	0,29
3	SEL03(COCONI)	1,02	0,89	0,77
4	SEL04(IER)	0,33	0,27	0,25
5	SEL05(LIEN)	1,26	1,07	0,83
6	MAH01 (GAMBIAKA)	0,81	0,67	0,55
7	MAH02(ADNY11)	0,3	0,24	0,22
8	MAN01(ADNY)	0,9	0,74	0,61
9	MAN02(ALICA3)	0,6	0,46	0,41
10	MAN03(RK3)	0,62	0,46	0,41
11	MAN04 (NENEKALA)	0,55	0,41	0,37
Valeurs moyennes (mSv/an)		0,66	0,54	0,46
Limite Annuelle (mSv/an)		1	1	1

Discussion

Les concentrations de l'U-238 et du Th-232 ont été calculées en utilisant la moyenne des concentrations de leurs descendants (filles radioactives). Les doses efficaces annuelles ont été calculées pour trois tranches d'âge : les enfants entre 7-12 ans, les adolescents entre 12-17 ans et les adultes de plus de 17 ans. Par ailleurs, les enfants inférieurs à 7 ans n'ont pas été pris en compte. Les valeurs des concentrations des NORM dans les onze (11) échantillons de riz étaient inférieures aux valeurs limites réglementaires nationales de 1 000 Bq/kg pour U-238 et Th-232 et de 100 000 Bq/kg pour

K-40. L'analyse des doses efficaces annuelles (Ê) et du risque radiologique lié à la consommation des différentes variétés de riz montre une diminution progressive de risque au fur et à mesure que l'âge avance. La majorité des échantillons analysés, tous sites confondus (Selingué, Mahina et Manantali), affichent des valeurs inférieures au seuil de référence de 1 mSv/an et des risques estimés inférieurs à 10^{-5} , correspondant à moins de 1 cas de décès par cancer radio-induit pour 100 000 habitants par an, ce qui les classe comme conformes aux limites nationales internationales en matière de radioprotection.

Toutefois, des dépassements ponctuels ont été observés à Selingué pour le riz LIEN chez les enfants et les adolescents (È respectivement de 1,26 et 1,07 mSv/an) ainsi que pour le riz COCONI chez les enfants (È = 1,02 mSv/an). Ces valeurs sont légèrement supérieures à la limite annuelle autorisée, le risque absolu demeure également légèrement supérieur à 1 cas sur 100000 habitants/an.

Comparaison des résultats avec les valeurs publiées dans la littérature internationale

En comparant les concentrations des NORM des variétés de riz cultivés dans les trois localités du Mali et celles obtenues dans d'autres pays, on constate que les concentrations de l'U-238 retrouvées sont supérieures à celles obtenues dans ces pays. Cependant, les concentrations de Th-232 et K-40 sont légèrement inférieures ou égales à celles obtenues dans ces mêmes pays [14].

Tableau 3 : Comparaison des concentrations en activité des variétés de riz cultivés à travers le monde.

Pays	U-238	Th-232	K-40
Saudi Arabia	1,08	1,19	83,08
Italy	2,9	2,8	119,3
India	3,07	34,3	120,8
Ghana	4,72	4,33	104,36
Sélingué (Mali)	47,47	15,45	95,7
Mahina (Mali)	36,74	11,83	112,94
Manantali (Mali)	41	14,54	192,07

Conclusion

L'analyse par spectrométrie gamma des échantillons de riz dans cette recherche n'a révélé aucune présence de la radioactivité artificielle. En revanche, les radionucléides naturels (NORM) à des concentrations largement inférieures aux limites réglementaires nationales ont été détectés dans presque tous les échantillons. Sur la base des résultats obtenus, la consommation des variétés de riz cultivés sur les trois sites est sans risque majeur sur la santé de la population mais une attention doit être portée sur la consommation des variétés de riz par les enfants (plus radiosensibles) pour minimiser les effets stochastiques ou tardives (cancer).

Encadre de résumé

Ce qui est connu du sujet

L'utilisation des engrais ou d'autres produits dans la culture de riz, le rejet des déchets dans les fleuves (sources d'irrigation des zones rizicoles), l'importation du riz en provenance des pays disposant des installations nucléaires ou contaminés par les accidents ou essais nucléaires militaires antérieurs, la composition géologique des zones rizicoles, etc. sont des facteurs susceptibles d'augmenter la concentration des radionucléides dans les variétés de riz consommées.

Ce qu'apporte cet article

- Il montre que les valeurs obtenues (Concentration en Activité des radionucléides) sont inférieures aux limites réglementaires nationales ;
- Les doses efficaces annuelles (mSv/an) des différentes variétés de riz ont été calculées en fonction des tranches d'âge ;
- La majorité des échantillons analysés affichent des valeurs inférieures au seuil de référence de 1 mSv/an et la probabilité de risque radiologique relatif à ce seuil est d'un (01) cas de décès par cancer radio-induit pour 100 000 habitants par an. De ce fait, seuls les échantillons de riz (variétés LIEN et COCONI) pour la tranche d'âge 7-12 ans et variété LIEN pour la tranche d'âge 12-17ans) dans la localité de Sélingué dépassent légèrement cette probabilité de mortalité par cancer radio-induit.

Message clé de sante publique

Le riz constitue un aliment de base au Mali avec un taux d'ingestion de 90kg/an par adulte en 2018. Une surveillance radiologique régulière est nécessaire au préalable (avant consommation) pour évaluer le risque radiologique lié à leurs consommations pour mieux préserver la santé de la population.

Remerciement

Nous remercions :

- la direction de l'AMARAP à travers son Directeur Général (M. Sory Ibrahima COULIBALY), et à l'ensemble du personnel du laboratoire d'analyse réglementaire du Département Contrôle et Surveillance du Territoire (DCST),
- Messieurs Lamine Sibiri DEMBELE et Karamoko KEÏTA pour la facilitation dans la collecte et l'envoi des échantillons.

Références

1. Suivi des politiques agricoles et alimentaires au Mali, Rapport d'analyse politique des Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture - FAO, 2022 ;
2. Abdulridha S. Younis and Nada F. Tawfiq, Assessment of Natural Radioactivity Level and Annual Effective Dose of Amber Rice Samples Cultivated in the South of Iraq, IRAQ, 2019 ;
3. S. A. Onjefu, M. Hitila¹, H. Katangolo, M. Zivuku¹, J. Abah and M.K. Mutorwa, Measuring natural radioactivity concentration in various types of rice consumed in windhoek, NAMIBIA, 2021 ;
4. Décret N°2014-0931/P-RM, Fixant les Règles Relatives à la Protection contre les Rayonnements Ionisants à la Sûreté et la Sécurité des Sources de Rayonnements Ionisants. In English: [Fixing relatives rules to protection against ionizing radiation, safety and security of ionizing radiation sources in Mali] ;

5. ICRP Publication 60, International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the international commission on radiological protection, 1990 ;
6. Sélingué - Carte - Petite ville - Mali (mapcarta.com) : <https://mapcarta.com/fr/17248468> ;
7. Mahina (Mali), Wikipédia (wikipedia.org) ;
8. Manantali sur la carte, Mali. Heure exacte, villes proches (2markers.com) ;
9. IAEA, Measurement of radionuclides in food and the environment, Vienna 1989 ;
10. Abdulridha S. Younis and Nada F. Tawfiq, Assessment of Natural Radioactivity Level and Annual Effective Dose of Amber Rice Samples Cultivated in the South of Iraq, IRAQ, 2019 ;
11. S. A. Onjefu, M. Hitila¹, H. Katangolo, M. Zivuku¹, J. Abah and M.K. Mutorwa, Measuring natural radioactivity concentration in various types of rice consumed in windhoek, NAMIBIA, 2021 ;
12. Ilemona C. Okemea, Iyeh V. Suleb, Norbert N. Jibiric and Hamed O. Shittuc, Radioactivity Concentrations in Soil and Transfer Factors of Radionuclides (K-40, Ra-226 and Th-232) from Soil to rice in Kogi state, NIGERIA, 2016.
13. Normes de sûreté de l'AIEA GSR part 3, Radioprotection et sûreté des sources de rayonnements : Normes fondamentales internationales de sûreté, 2016 ;
14. J.H. Al-Zahrani Natural, Radioactivity and Heavy Metals Measurement in Rice and Flour Consumed by the Inhabitants in Saudi Arabia, 2016.