

Qualité physicochimique et contamination par l'aflatoxine B1 des graines d'arachide(*Arachishypogaea L.*)stockées dans la bande sud-centre du Niger.

Résumé :

L'arachide (*Arachishypogaea L.*) est une culture stratégique pour la sécurité alimentaire et l'économie rurale au Niger. Dans la bande sud-centre du pays, les pratiques de stockage exposent les graines des produits agricoles à des risques de détérioration physico-chimique et de contamination fongique. La présente étude vise à évaluer la qualité physico-chimique et le niveau de contamination par l'aflatoxine B1 (AFB1) de graines d'arachide stockées dans trois types d'entrepôts : Maison d'Habitation (MH), Magasin en Banco (MB) et Magasin en Matériaux Définitifs (MMD). Des échantillons composites de 500 g d'arachide ont été prélevés auprès de 24 producteurs à deux temps, avant (T0) et après six mois de stockage (T1). La composition proximale (humidité, lipides, protéines, fibres, cendres, glucides) a été déterminée selon les méthodes officielles de l'Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International. La teneur en AFB1 a été quantifiée par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) couplée à une détection par fluorescence, après purification sur colonne d'immunoaffinité. Les résultats montrent que les paramètres physico-chimiques sont globalement conformes aux normes du Codex Alimentarius, sans variation significative entre les types d'entrepôts, à l'exception de l'humidité et des lipides dans le MMD. L'AFB1 a été détectée dans tous les échantillons, avec des concentrations comprises entre $2,08 \pm 0,83$ et $6,82 \pm 2,88$ $\mu\text{g/kg}$, inférieures à la limite maximale du Codex (15 $\mu\text{g/kg}$), bien que le MMD présente les niveaux de contamination les plus faibles. Le taux d'humidité et la concentration en AFB1 sont positivement corrélés ($r = 0,34$; $p = 0,019$). Ces résultats soulignent la nécessité d'améliorer les pratiques de stockage pour prévenir la contamination par les aflatoxines de type B1 et garantir la sécurité sanitaire des graines destinées à la consommation et à la commercialisation.

Mots-clés : arachide ; composition physico-chimique ; aflatoxine B1 ; stockage ; Niger.

34

35

UNDER PEER REVIEW IN IJAR

Introduction :

L'arachide (*Arachis hypogaea* L.) constitue l'une des principales cultures oléagineuses et vivrières en Afrique subsaharienne et au Niger en particulier, où elle joue un rôle fondamental sur les plans nutritionnel, économique et social (Andrés et al., 2023). L'arachide est riche en lipides (42–56 %), en protéines (25–30 %) et en micronutriments, elle contribue à la couverture des besoins énergétiques et protéiques des ménages ruraux, tout en constituant une source majeure de revenus pour les producteurs à travers sa commercialisation locale et sous-régionale (Grielet al., 2004 ; Bakoye et al., 2019).

Dans la bande sud-centrale du Niger, qui représente le principal bassin de production de l'arachide, avec plus de 87 % de la production nationale, les conditions agroécologiques sont de type sahélien et se caractérisent par des températures moyennes élevées (25–35 °C) et une humidité variable (André et al., 2023). Ces conditions, conjuguées à des pratiques de stockage traditionnelles peu contrôlées, créent un environnement propice à la dégradation physicochimique des graines et au développement de moisissures toxigènes, notamment les espèces *Aspergillus flavus* et *Aspergillus parasiticus* (Abel Boli et al., 2018 ; Waliyar et al., 2015). Parmi les mycotoxines produites par ces moisissures, l'aflatoxine B1 (AFB1) est classée dans le groupe 1 des agents cancérogènes avérés pour l'homme (Manga et al., 2023). L'aflatoxine B1 (AFB1) exerce des effets hépatotoxiques, mutagènes et immunosuppresseurs ce qui constitue un problème majeur de santé publique dans les pays tropicaux (Wagacha et al., 2013). Sa présence dans les denrées alimentaires constitue un obstacle à l'exportation et à la commercialisation des produits agricoles, au regard des limites maximales fixées par la Commission du Codex Alimentarius (15 µg/kg pour les arachides destinées à la transformation, selon la réglementation de l'Union européenne (8 µg/kg, Règlement CE n° 1831/2003)) (CAC, 2008 ; Adjou et al., 2012 ; Ndung'u et al., 2013).

La qualité physicochimique des graines, en particulier leur teneur en eau, constitue un déterminant essentiel de leur aptitude à la conservation et de leur niveau de contamination fongique. Le taux d'humidité des graines d'arachide supérieur à 7 %, est reconnu comme un seuil critique favorisant la croissance fongique et l'accumulation d'aflatoxines au cours du stockage. L'évaluation conjointe de la composition proximale et de la contamination par l'AFB1 permet ainsi d'appréhender globalement la qualité nutritionnelle et sanitaire des graines destinées à la consommation ou à la commercialisation.

Au Niger, malgré l'importance économique et nutritionnelle de l'arachide, les données scientifiques relatives à sa qualité physico-chimique après stockage en conditions paysannes

et à la contamination par l'AFB1 selon le type d'entrepôt restent limitées. Cette lacune entrave la mise en place de stratégies efficaces de prévention et de contrôle de la contamination, en particulier dans la bande sud-centre du pays qui représente la principale zone de production nationale (Bakoyeet *al.*, 2019).

La présente étude a pour objectifs de : (i) déterminer la composition physicochimique des graines d'arachide avant et après six mois de stockage dans trois types d'entrepôts ; (ii) quantifier la contamination en AFB1 selon le type d'entrepôt et la durée de stockage ; et (iii) analyser les relations entre les paramètres physicochimiques et la contamination par l'AFB1, afin de fournir des éléments scientifiques utiles à l'amélioration des pratiques post-récolte de l'arachide au Niger.

Matériel et Méthodes :

Matériel :

Zone d'étude

L'étude a été menée dans les régions de Maradi et de Zinder (Niger), situées dans la bande sud-centre du pays et constituant les principaux bassins de production de l'arachide avec plus de 87 % de la production nationale (Andréset *al.*, 2023). Ces deux régions présentent des sols à prédominance sableuse, des précipitations annuelles variant de 400 à 600 mm et des températures moyennes de 25 à 35 °C, conditions typiques de la zone sahélienne propices à la culture de l'arachide mais aussi au développement des mycotoxines (FAO, 2020 ; Bakoyeet *al.*, 2019). La collecte des données a été effectuée dans seize (16) villages répartis dans quatre (4) départements : GuidanRoumdji et Aguié pour la région de Maradi ; Kanché et Mirriah pour la région de Zinder (figure 1).

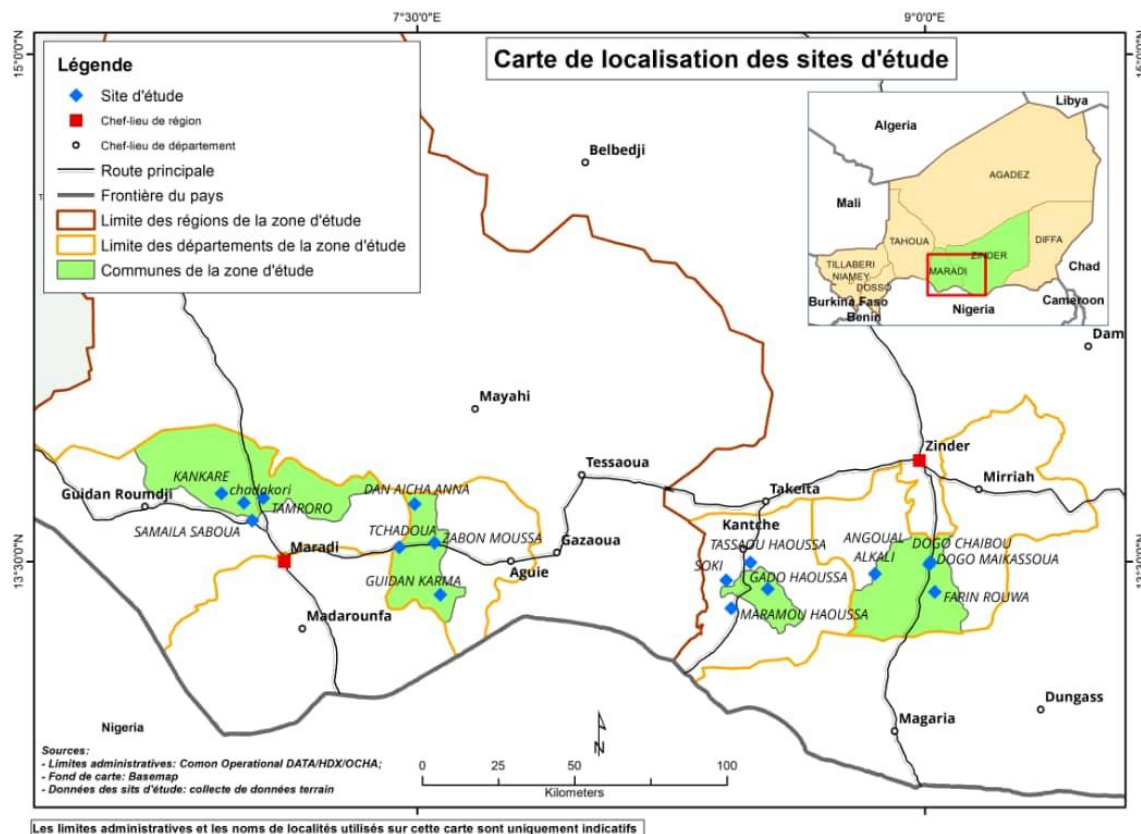


Figure1: Carte de la zone d'étude source de la carte

Description des entrepôts de stockage

Entrepôt de type Maison d'Habitation (MH)

Il s'agit d'une partie de la maison d'habitation familiale réservée au stockage des produits après récolte, en attendant la vente ou la consommation. L'arachide y est déposée directement sur une bâche en plastique posée à même le sol. Ce type d'entrepôt, entièrement construit en banco avec un toit en bois, est caractérisé par un stockage mixte (plusieurs produits agricoles), une ventilation limitée et l'absence de contrôle régulier des conditions de stockage.

Entrepôt de type Magasin en Banco (MB)

Le magasin en banco est un entrepôt dédié exclusivement au stockage de l'arachide avant sa mise en vente sur les marchés locaux. Construit en banco avec un toit généralement en tôle, il est implanté à l'écart des habitations. L'arachide y est stockée en sacs, superposés sur des rangées de briques recouvertes de bâches en plastique servant de palettes. L'accès y est contrôlé et le magasin est gardé fermé, sauf lors des contrôles périodiques par le propriétaire.

Entrepôt de type Magasin en Matériaux Définitifs (MMD)

Le magasin en matériaux définitifs est un entrepôt collectif construit selon des normes techniques adaptées au stockage des produits agricoles post-récolte. Généralement acquis auprès de projets de développement ou de l'État par des coopératives de producteurs. Il est équipé de rangées de palettes en bois permettant l'entreposage des sacs d'arachide à l'abri de l'humidité du sol. L'accès est strictement réglementé par un comité de gestion.

Méthodes :

Échantillonnage et collecte des données

Les échantillons ont été collectés en deux phases, en décembre 2024 (T0 : début du stockage) et en juin 2025 (T1 : après six mois de stockage) dans les deux régions de la zone d'étude. Un échantillonnage orienté, fondé sur la quantité d'arachide stockée, a permis de sélectionner 24 producteurs disposant d'un stock minimal de 10 sacs de 100 kg d'arachide non décortiquée, conservé pendant au moins 6 mois avant la vente ou la consommation. Cette durée de six mois correspond à la période de stockage observée par la majorité des producteurs de la zone avant la mise en vente sur les marchés locaux (Bakoye *et al.*, 2019). Au total, quarante-huit (48) échantillons sous forme de composites de 500 g de coques d'arachide ont été prélevés en deux étapes, répartis selon les trois types d'entrepôts (soit 16 échantillons par type d'entrepôt). Les échantillons ont été conditionnés dans des sachets en polyéthylène et transportés au laboratoire, où le décortilage manuel a fourni les graines destinées à la pesée de 100 g pour constater la variation du poids et servir aux différentes analyses chimiques au laboratoire.

Analyses physico-chimiques

La composition proximale des graines d'arachide a été déterminée selon les méthodes officielles de l'Association of Official Analytical Chemists International (AOAC, 2016). Les différentes analyses ont été réalisées au laboratoire du National Research Institute for Chemical Technology de l'Université de Zaria, au Nigeria, dans le cadre d'une collaboration avec le Laboratoire Plateforme d'Innovations Technologiques de l'Université Dan Dicko Dankolodo de Maradi au Niger.

Le taux d'humidité a été déterminé par dessiccation à l'étuve ventilée à 105 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante, selon la méthode AOAC 925.10.

La teneur en lipides a été extraite par la méthode de Soxhlet à l'hexane (60–80 °C) pendant 7 heures, selon la méthode AOAC 920.39.

La teneur en protéines brutes a été déterminée par la méthode de Kjeldahl semi-micro (AOAC 984.13, avec application du facteur de conversion $N \times 6,25$ retenu pour l'arachide).

La teneur en fibres brutes a été **déterminée** par la méthode de double hydrolyse acido-basique de Weende, selon la méthode AOAC 962.09.

La teneur en cendres totales a été déterminée par incinération au four à moufle à 550 ± 25 °C pendant 5 heures, selon la méthode AOAC 942.05.

La teneur en glucides totaux a été **calculée** par différence selon la méthode indirecte de l'AOAC :

$$\text{Glucides (\%)} = 100 - [\text{Humidité (\%)} + \text{Protéines (\%)} + \text{Lipides (\%)} + \text{Fibres (\%)} + \text{Cendres (\%)}]$$

Quantification de l'aflatoxine B1 (AFB1)

La teneur en AFB1 des graines d'arachide a été quantifiée par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) couplée à une détection par fluorescence, après purification sur colonne d'immunoaffinité spécifique aux aflatoxines, conformément à la méthode AOAC 991.31 et aux recommandations de la Commission du Codex Alimentarius (CAC, 2008). Vingt-cinq grammes (25 g) de farine d'arachide ont été extraits avec 100 ml de méthanol/eau (80 :20, v/v) sous agitation mécanique pendant 30 min, filtrés et percolés sur une colonne d'immunoaffinité après dilution. L'AFB1 a été éluée au méthanol pur. La séparation chromatographique a été réalisée sur une colonne C18 en phase inverse, avec détection par fluorescence après dérivation post-colonne ($\lambda_{\text{ex}} = 365$ nm ; $\lambda_{\text{em}} = 435$ nm). La quantification a été réalisée par comparaison avec une courbe d'étalonnage préparée à partir de standards certifiés (gamme 0,5–20 µg/kg). Les concentrations mesurées ont été comparées aux limites maximales admissibles du Codex Alimentarius (15 µg/kg) et de la réglementation de l'Union européenne (8 µg/kg pour les arachides destinées à la transformation, Règlement CE n° 1831/2003) (CE, 2006).

Analyse statistique

Les données ont été saisies et codifiées sous Microsoft Excel (version 2019). Les analyses de variance à un facteur (ANOVA) au seuil de significativité de 5 %, les tests de comparaison multiple de Tukey (HSD) ont été réalisés à l'aide du logiciel SPSS version 25. L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée avec SPSS pour explorer les relations entre paramètres physico-chimiques et types d'entrepôts. L'analyse de corrélation entre le taux d'humidité et la concentration en AFB1 a été conduite avec le logiciel R version 4.3, au moyen du coefficient de corrélation de Pearson. Des lettres distinctes dans les tableaux indiquent des différences significatives entre les moyennes au seuil $p \leq 0,05$.

170

171 Résultats :

172 Évolution du poids de 100 graines d'arachide avant et après six mois de stockage

173 Le tableau 1 présente l'évolution du poids moyen de 100 graines d'arachide selon le type
 174 d'entrepôt au début et après six mois de stockage. Quel que soit le type d'entrepôt, une
 175 diminution hautement significative ($p < 0,001$) du poids moyen de 100 graines a été observée
 176 après six mois de stockage, passant d'une moyenne générale de $40,32 \pm 5,47$ g à T0 à $31,65 \pm$
 177 $9,77$ g à T1, soit une perte pondérale d'environ 21,3 % de la masse initiale. Cette réduction
 178 importante peut être attribuée à la dessiccation progressive des graines, à l'activité respiratoire
 179 des grains et à la dégradation enzymatique et microbienne des réserves nutritives au cours du
 180 stockage.

181 **Tableau 1** : Poids moyen (g) de 100 graines d'arachide au début et après six (6) mois de
 182 stockage selon le type d'entrepôt

Entrepôt	Poids avant stockage (g)	Poids après stockage (g)	Variation de poids (100 graines) (%)	Valeur de ($p \leq 0,05$) test de Tukey HSD
MB	$40,28a \pm 5,09$	$31,65b \pm 9,77$	21,4 %	***
MMD	$40,27a \pm 5,26$	$31,3b \pm 10,04$	22,3 %	***
MH	$40,40a \pm 6,68$	$32,22b \pm 9,96$	20,2 %	***
Moyenne générale	$40,32a \pm 5,47$	$31,65b \pm 9,77$	21,3 %	***

183 Légende : MB : Magasin en Banco ; MMD : Magasin en Matériaux Définitifs ; MH : Maison
 184 d'Habitation. Les valeurs affectées de lettres différentes sur la même ligne indiquent des différences
 185 significatives entre les moyennes, au seuil $p \leq 0,05$.

186 Évolution des paramètres physico-chimiques des graines d'arachide avant et après six 187 mois de stockage

188 Les résultats de l'analyse centésimale montrent les principales variations
 189 des paramètres physico-chimiques (humidité, lipides, protéines brutes, fibres, cendres et
 190 glucides) des graines d'arachide avant et après le stockage. Le tableau 2 présente les valeurs
 191 moyennes des paramètres physico-chimiques analysés au début du stockage (T0) et six mois
 192 après (T1) pour les trois types d'entrepôts, comparées aux normes du Codex Alimentarius.

193

Tableau 2 : Paramètres physicochimiques des graines d'arachide avant et après six (6) mois de stockage selon le type d'entrepôt (moyennes $\pm$ écart-type)

Paramètres (%)	MB		MH		MMD		Norme Codex
	Avant (T0)	Après (T1)	Avant (T0)	Après (T1)	Avant (T0)	Après (T1)	
Humidité	6,17 ^a $\pm$ 0,63	5,57 ^a $\pm$ 0,43	6,21 ^a $\pm$ 0,97	6,25 ^a $\pm$ 0,42	5,80 ^a $\pm$ 0,64	2,93 ^b $\pm$ 0,49	< 10 %
Lipides	48,03 ^a $\pm$ 3,38	47,63 ^a $\pm$ 4,79	44,90 ^a $\pm$ 3,25	48,18 ^a $\pm$ 5,0	47,32 ^a $\pm$ 3,96	42,55 ^b $\pm$ 3,47	42–56 %
Protéines	21,88 ^a $\pm$ 6,09	19,90 ^{ab} $\pm$ 1,30	21,29 ^a $\pm$ 2,09	19,61 ^a $\pm$ 2,12	19,17 ^a $\pm$ 4,62	18,60 ^a $\pm$ 4,01	25–30 %
Fibres	10,76 ^a $\pm$ 1,65	5,35 ^b $\pm$ 0,32	10,26 ^a $\pm$ 1,95	6,95 ^b $\pm$ 0,83	14,49 ^a $\pm$ 3,67	7,25 ^b $\pm$ 1,52	8–12 %
Cendres	2,64 ^a $\pm$ 0,58	2,64 ^a $\pm$ 0,58	2,21 ^a $\pm$ 0,27	2,46 ^a $\pm$ 0,50	2,33 ^a $\pm$ 0,31	2,60 ^a $\pm$ 0,40	2–3 %
Glucides	13,89 ^a $\pm$ 1,50	11,06 ^b $\pm$ 8,24	20,48 ^a $\pm$ 3,01	11,48 ^b $\pm$ 7,04	18,29 ^a $\pm$ 3,91	18,23 ^a $\pm$ 7,20	10–20 %

Les valeurs sur la même ligne affectées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil $p \leq 0,05$ (test de Tukey HSD).

Normes : Commission du Codex Alimentarius (CODEX-STAN 200-1995 ; CAC/RCP 65-2008).

Évolution de la teneur en aflatoxine B1 avant et après stockage selon le type d'entrepôt

La présence de l'aflatoxine B1 (AFB1) a été détectée dans tous les entrepôts, aussi bien à T0 qu'à T1, indiquant une contamination préexistante à la mise en stock. Les concentrations en AFB1 sont restées inférieures à la limite du Codex (15 $\mu\text{g/kg}$) dans tous les entrepôts et à tous les temps de prélèvement. Cependant, elles dépassent la limite européenne de 8 $\mu\text{g/kg}$ dans la MH à T1 (6,82 $\mu\text{g/kg}$ à la limite), soulignant la nécessité de la vigilance. L'augmentation entre T0 et T1 n'est statistiquement significative dans aucun type d'entrepôt ($p > 0,05$), mais la tendance à la hausse dans tous les entrepôts demeure préoccupante sur le plan de la sécurité alimentaire (tableau 3).

Tableau 3 : Teneur d'aflatoxine B1 avant et après stockage par le type d'entrepôt

Type d'entrepôt	AFB1 avant stockage ($\mu\text{g/kg}$)	AFB1 après stockage ($\mu\text{g/kg}$)	Variation (%)	Valeur de $p(P \leq 0,05)$
MB	3,74 $\pm$ 2,40	4,54 $\pm$ 2,07	+21,4	ns
MH	6,33 $\pm$ 4,19	6,82 $\pm$ 2,88	+7,7	ns
MMD	2,08 $\pm$ 0,83	2,58 $\pm$ 0,99	+24,0	ns
Moyenne générale	4,05 $\pm$ 3,24	4,65 $\pm$ 2,69	+14,8	ns
Norme Codex ($\mu\text{g/kg}$)	≤ 15		—	—

ns : non significatif. **Norme de référence** : Commission du Codex Alimentarius, CAC/RCP 65-2008 (15 µg/kg pour les arachides destinées à la transformation) ; Règlement UE n° 1881/2006 (8 µg/kg pour la transformation). La colonne **Variation (%)** de ton tableau est calculée avec le **taux de variation relative**, c'est-à-dire la variation entre la valeur "avant" et "après", rapportée à la valeur initiale

Corrélation entre le taux d'humidité et la concentration en AFB1

La figure 3 présente la relation entre le **taux d'humidité (%)** des graines d'arachide stockées et leur teneur en aflatoxines (**µg/kg**) en milieu paysan.

L'analyse de corrélation de Pearson a mis en évidence une relation positive et statistiquement significative entre le taux d'humidité des graines d'arachide stockées et la concentration en AFB1 ($r = 0,34$; $p = 0,019$) (figure 3). Bien que la corrélation soit de force modérée, ce résultat confirme le rôle de l'humidité comme facteur favorisant le développement des moisissures toxigènes notamment *A. flavus* et *A. parasiticus* et l'accumulation de l'AFB1 au cours du stockage.

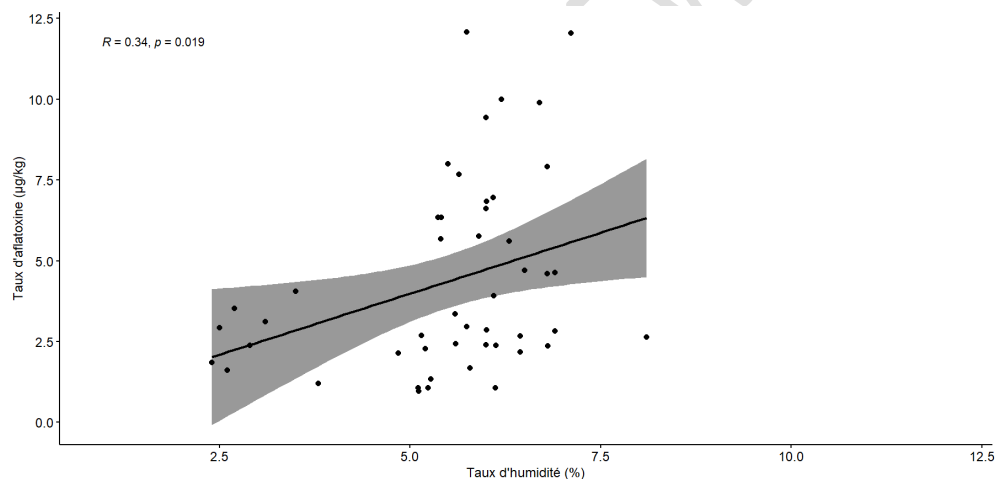


Figure 3 : Corrélation entre le taux d'humidité et la teneur en aflatoxine B1

Analyse en Composantes Principales (ACP) des paramètres physico-chimiques

L'ACP réalisée sur l'ensemble des paramètres physico-chimiques et de la contamination en AFB1 a mis en évidence deux dimensions expliquant 52 % de l'inertie totale (figure 4). L'axe 1 (dimension 1) est principalement structuré par l'humidité, les protéines, les lipides et l'AFB1, tandis que l'axe 2 (dimension 2) est davantage influencé par les teneurs en cendres, glucides et fibres. La projection des entrepôts dans le plan factoriel révèle que la MH se distingue par des taux d'humidité et des teneurs en AFB1 plus élevés, le MMD par une meilleure déshydratation des graines et des teneurs en AFB1 plus faibles, et le MB occupe

une position intermédiaire. Ces résultats confirment la supériorité du MMD en matière de préservation de la qualité sanitaire des graines.

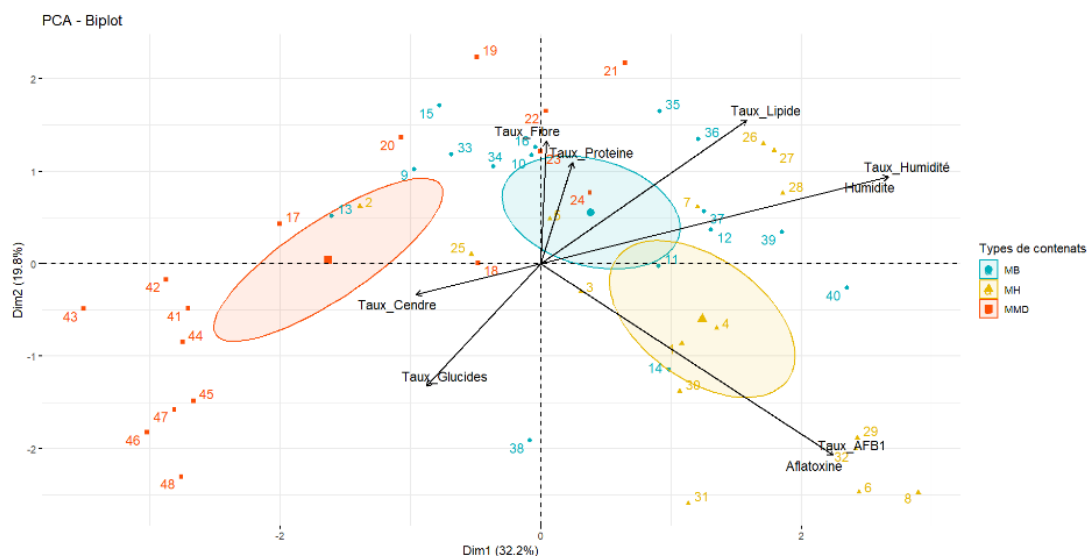


Figure 4 : Analyse des composantes multiples des paramètres physico-chimiques

Discussion :

Les résultats concernant la variation de poids de 100 graines d'arachide avant et après le stockage révèlent une perte de poids considérable. Celle-ci oscille entre 20,3% et 22,3% selon les types d'entrepôts. Des études antérieures au Niger et au Nigeria ont montré que, généralement, la perte est comprise entre 8% et 14% après 6 à 7 mois de stockage, mais peut atteindre des pics de 70% en cas d'attaques sévères de ravageurs, comme le bruché de l'arachide (*Caryedon serratus*) (Baributsa et al., 2017 ; Oya et al., 2012). Cette variation de poids des grains, avant et après le stockage, est due à des pertes liées à des facteurs physiques, biochimiques et environnementaux, tels que la perte d'humidité, les attaques d'insectes et de rongeurs, ainsi que le rancissement (Bakoye et al., 2019).

Les valeurs moyennes du taux d'humidité obtenues à T0 pour les trois types d'entrepôts (5,80–6,21 %) sont conformes à la limite maximale du Codex Alimentarius (< 10 %), ce qui est en accord avec les résultats rapportés par Eke-Ejiofor et al. (2012) au Nigeria qui ont montré des taux d'humidité compris entre 2,90 et 5,70 % pour des graines d'arachide crues. La diminution significative de l'humidité observée à T1 dans le MMD ($2,93 \pm 0,49$ %) atteste les meilleures propriétés hygrométriques de ce type d'entrepôt, vraisemblablement liées à une meilleure étanchéité à l'humidité ambiante, conformément aux normes de construction des entrepôts de stockage des produits post-récolte. Cette réduction du taux d'humidité est un indicateur positif pour la conservation, car elle réduit l'activité de l'eau et limite ainsi la

croissance fongique qui est à l'origine de l'aflatoxine B1 (Christensen, C. M. et *al.*, 1977 ;ICAR, 1987). Les résultats confirment et s'accordent avec les informations collectées lors de l'enquête auprès des acteurs qui affirment que la qualité des entrepôts est gage de la bonne qualité de l'arachide avant la consommation et/ou la vente sur les marchés.

Les teneurs en lipides (42,55–48,18 %) sont conformes aux normes Codex (42–56 %) et concordent avec les valeurs rapportées par Eke-Ejiofor et *al.* (2012) au Nigeria (38,81–50,11%). L'absence de variation significative des lipides entre T0 et T1 dans la MB et la MH, contrairement à la diminution observée dans le MMD (de 47,32 à 42,55 %), pourrait être liée à une légère oxydation lipidique favorisée par la dessiccation accrue et à une activité lipasique résiduelle due au rancissement des graines pendant le stockage. Les résultats obtenus confirment aussi les affirmations des acteurs enquêtés qui déclarent que les bonnes conditions de stockage entraînent une déshydratation progressive des graines d'arachides durant le stockage et que les graines d'arachides produisent plus d'huile lors de la transformation. Les teneurs en protéines (18,60–21,88 %) sont légèrement inférieures aux recommandations du Codex (25–30 %) mais sont cohérentes avec les données de la littérature pour les graines d'arachide stockées au Sahel (Eke-Ejiofor et *al.*, 2012 ;ICRISAT, 2018). La diminution significative des fibres brutes entre T0 et T1 dans les trois entrepôts (de 10,26–14,49 % à 5,35–7,25 %) peut être liée à la dégradation de la paroi cellulaire des graines sous l'action d'enzymes cellulolytiques sécrétées par les moisissures, notamment lors des périodes de stockage à humidité élevée (AbelBoli et *al.*, 2018 ; Lareet *al.*, 2021). La teneur en cendres (2,21–2,64 %) est restée stable, conformément aux normes Codex (2–3 %) et aux données de la littérature pour l'arachide stockée (Eke-Ejiofor et *al.*, 2012). La diminution des glucides dans la MB et la MH (de 13,89–20,48 % à 11,06–11,48 %) peut être liée à l'utilisation comme substrat carboné par les microorganismes lors de la dégradation des graines stockées.

La détection de l'aflatoxine B1 (AFB1) dans tous les échantillons, dès T0, indique une contamination préexistante à la mise en stock, probablement initiée lors de la récolte, du séchage au champ ou lors du transport des champs au niveau des magasins de stockage (Waliyaret *al.*, 2015). Cela montre que la contamination par les aflatoxines au Sahel commence souvent dès la récolte, dans des conditions hydriques élevées, et se poursuit pendant le stockage. Les concentrations moyennes en AFB1 (2,08–6,82 µg/kg) demeurent inférieures à la limite du Codex (15 µg/kg) mais sont comparables aux valeurs rapportées au Togo par Chapeland-Leclerc et *al.* (2005), qui ont montré que 37,83 % des échantillons présentent des teneurs en aflatoxine B1 comprises entre 2 et 8 µg/kg). L'entrepôt MH

297 enregistre systématiquement les concentrations les plus élevées, ce qui peut être attribué à ses
298 conditions de stockage plus défavorables : contact des graines avec le sol, ventilation
299 insuffisante, absence de régulation de l'humidité relative, exposition à des fluctuations
300 thermiques diurnes. À l'inverse, le type d'entrepôt MMD, grâce à ses caractéristiques
301 constructives (palettes, isolation, fermeture hermétique), maintient les conditions les plus
302 favorables à la conservation des graines d'arachide. Les résultats corroborent les informations
303 collectées lors de l'enquête auprès des acteurs qui affirment que la qualité des entrepôts est
304 gage de la bonne qualité de l'arachide stockée avant la consommation à la vente sur les
305 marchés.

306 L'absence de différence statistiquement significative entre T0 et T1 dans les trois entrepôts (p
307 $> 0,05$), malgré une tendance à l'augmentation des concentrations en AFB1, pourrait
308 s'expliquer par la durée de stockage (six mois), qui est susceptible de ne pas suffire à induire
309 une accumulation d'AFB1 statistiquement détectable dans les conditions de stockage
310 observées notamment en raison des teneurs initiales en humidité inférieures au seuil critique
311 de 7–9 % signalé dans la littérature (Christensen *et al.* 1977; ICAR, 1987). Ces résultats
312 rejoignent ceux observés au Kenya par Wagacha, J. M. *et al.* (2013), qui sont sans variation
313 significative du taux d'aflatoxines totales durant les premiers mois de stockage en conditions
314 contrôlées.

315 La corrélation positive et significative entre le taux d'humidité et la concentration en AFB1 (r
316 $= 0,34$; $p = 0,019$) confirme le rôle central de l'humidité comme facteur de risque pour la
317 contamination mycotoxique, surtout par les aflatoxines. Ce résultat est cohérent avec les
318 données trouvées au Kenya ($r = 0,046$ pour les aflatoxines totales) par Wagacha *et al.* (2013).
319 Les résultats sont également similaires à ceux rapportés en Malaisie par Norlia *et al.* (2019),
320 qui soulignent l'importance du contrôle de l'activité de l'eau comme principal levier de
321 prévention de la contamination pendant le stockage.

322 La dispersion observée autour de la droite de régression indique néanmoins que d'autres
323 facteurs, comme la durée de stockage, la température, l'aération, l'état sanitaire initial des
324 graines et la pression d'inoculum fongique, interviennent également dans la dynamique de
325 contamination. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Magan et Aldred (2007) et de Pitt et
326 Hocking (2022). En effet, ces facteurs agissent de manière synergique pour influencer la
327 croissance d'*Aspergillus flavus* et d'*Aspergillus parasiticus*, principaux producteurs
328 d'aflatoxines dans les graines d'arachide (ICRISAT, 2016). Ces résultats plaident pour une
329 approche intégrée de la gestion post-récolte, combinant le contrôle de l'humidité,

l'amélioration des infrastructures de stockage et le renforcement des pratiques de triage et de séchage avant stockage.

Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer de façon rigoureuse la qualité physico-chimique et la contamination par l'aflatoxine B1 de graines d'arachide stockées dans la bande sud-centre du Niger, selon trois types d'entrepôts, avant et après six mois de stockage. Les principaux enseignements sont les suivants :

(i) Les paramètres physico-chimiques des graines sont globalement conformes aux normes du Codex Alimentarius, avec une diminution significative des fibres brutes et des glucides après stockage dans les trois entrepôts, témoignant d'une activité microbienne résiduelle.

(ii) L'AFB1 est détectée dans tous les échantillons dès la mise en stock, à des concentrations inférieures à la limite Codex (15 µg/kg), mais dont la tendance à la hausse après stockage appelle une vigilance accrue, notamment dans le type d'entrepôt (MH).

(iii) Le type d'entrepôt MMD offre les meilleures conditions de conservation, avec des teneurs en humidité et en AFB1 significativement inférieures à celles de l'entrepôt MH, confirmant l'efficacité des structures de stockage normalisées.

(iv) La corrélation positive entre l'humidité et l'AFB1 ($r = 0,34$; $p = 0,019$) souligne le rôle central du contrôle de l'humidité comme levier de prévention de la contamination mycotoxique.

Ces résultats ont permis de reformuler des recommandations pour améliorer la qualité physico-chimique des graines d'arachide et renforcer la sécurité nutritionnelle et sanitaire de la filière arachidière nigérienne : (i) Promouvoir les entrepôts en matériaux définitifs ou d'autres technologies de stockage hermétiques (triple sac en polyéthylène, silos métalliques) auprès des producteurs ; (ii) Mettre en place un mécanisme durable de surveillance de la contamination par des aflatoxines dans les entrepôts paysans.

Remerciements

Nos remerciements vont à l'endroit du personnel de l'École Doctorale des Sciences d'Ingénieurs de Santé et de l'Environnement (ED-SISE) de l'Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi (UDDM) du Niger et du personnel du National Research Institute for Chemical Technology de Zaria, au Nigeria pour leur appui technique dans la réalisation des analyses chimiques des échantillons de graines d'arachide pour la détermination des paramètres physico-chimiques et de la qualité sanitaire dans le cadre de cette étude.

Références bibliographiques

1. Abel Boli, Z. B. I., Camara, F., Toka, D. M., Koussemon, M. et Koffi-Nevry, R. 2018. Validation de la méthode de détermination de l'aflatoxine B1 dans les pâtes d'arachide vendues sur les marchés d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(2), 796–803. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i2.18>,
2. Adjou, S. E., Yehouenou, B., Sossou, C. M., Soumanou, M. M. et De Souza, C. A. 2012. Occurrence of mycotoxins and associated mycoflora in peanut cake product (kulikuli) marketed in Benin. *African Journal of Biotechnology*, 11(78), 14354–14360. <https://doi.org/10.5897/AJB12.324>,
3. Andrés, L., Acosta Alba, I., Ganda Seydou, S., Habonimana, B., Kotyza, P. et Sitou, L. 2023. Analyse de la chaîne de valeur de l'arachide en République du Niger. Rapport VCA4D (CTR 2017/392-416). Union européenne, DG-INTPA, 183 p,
4. AOAC International. Official Methods of Analysis. 20e éd. Rockville (MD, USA) : AOAC International, 2016. [Méthodes : AOAC 920.39 (lipides), 925.10 (humidité), 942.05 (cendres), 962.09 (fibres), 984.13 (Kjeldahl-protéines), 991.31 (aflatoxines-HPLC)],
5. Bakoye, O., Baoua, I., Sitou, L., Moctar, M. R., Amadou, L., Njoroge, A. W., Murdock, L. L. et Baributsa, D. Groundnut production and storage in the Sahel. 2019. Challenges and opportunities in the Maradi and Zinder Regions of Niger. *Journal of Agricultural Science*, 11(4), 1–14. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n4p1>,
6. Baributsa, D., Baoua, I. B., Bakoye, O. N., Amadou, L. et Murdock, L. L. 2017. PICS bag safely store unshelled and shelled groundnuts in Niger. *Journal of Stored Products Research*, 72, 54–58. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.03.007>,
7. Chapeland-Leclerc, F., Papon, N., Noël, T. et Villard, J. 2005. Moisissures et risques alimentaires (mycotoxicoïses). *Revue Française des Laboratoires*, 373, 51–64,

8. Christensen, C. M., Mirocha, C. J. et Meronuck, R. A. Molds, Mycotoxins and Mycotoxicoses. St. Paul (MN). 1977. American Association of Cereal Chemists,
9. Commission du Codex Alimentarius (CAC).2008.Code de pratiques pour la prévention et la réduction de la contamination par les aflatoxines dans les arachides (CAC/RCP 55-2004, révisé en 2008 sous la référence CAC/RCP 65-2008). Rome : FAO/OMS,
10. Eke-Ejiofor, J., Kiin-Kabari, D. B. et Chukwu, E. C.2012.Effect of processing method on the proximate, mineral, and fungi properties of groundnut (*Arachis hypogaea*). *Seed Journal of Agricultural and Biological Science*, 3, 257–261,
11. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).2020. FAOSTAT Statistical Database. Rome : FAO, disponible sur : <https://www.fao.org/faostat>,
12. Griel, A. E., Eissenstat, B., Juturu, V., Hsieh, G. et Kris-Etherton, P. M.2004.Improved diet quality with peanut consumption. *Journal of the American College of Nutrition*, 23(6), 660–668. <https://doi.org/10.1080/07315724.2004.10719410>,
13. Indian Council of Agricultural Research (ICAR).1987.Aflatoxin in Groundnut — Technologies for Better Crops. New Delhi : ICAR,
14. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). 2016.A Guide for Extension Workers. Patancheru 502 324, Telangana, India: *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*. 24 pp,
15. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT).2018.Enhancing groundnut productivity and profitability for smallholder farmers in Asia through varietal technologies. Annual Report Patancheru (Inde), 51pp,
16. Lare, N., Tedihou, E., Gambogou, B., Bodjona, B. P. I., Tchaou, Y., Kondi, Y. et Karou, D. S.2021. Influence des paramètres physico-chimiques sur la contamination des graines d'arachides commercialisées au nord du Togo par l'aflatoxine B1. *Journal de Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, 23(4), 249–263,
17. Manga, M., Fall Ndiaye, M. A., Dangué, A., Sarr, B., Gueye, N. et Mbaye, M. S.2023. Diagnostic des pratiques culturales favorables à la production d'aflatoxine et gestion post-récolte de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) au Sénégal. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 56(2), 10306–10319. <https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v56-2.2>,

18. Magan, N., & Aldred, D. (2007). Post-harvest control strategies: minimizing mycotoxins in the food chain. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1–2), 131–139.
19. Ndung'u, J. W., Makokha, A. O., Onyango, C. A., Mutegi, C. K., Wagacha, J. M., Christie, M. E. et Wanjoya, A. K. 2013. Prevalence and potential for aflatoxin contamination in groundnuts and peanut butter from farmers and traders in Nairobi and Nyanza provinces of Kenya. *Journal of Applied Biosciences*, 65, 4922–4934,
20. Norlia, M., Selamat, J., Rashid, N.-K. M. A. et Radu, S. 2019. *Aspergillus* section Flavi and aflatoxins: occurrence, detection, and identification in raw peanuts and peanut-based products along the supply chain. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2602. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02602>,
21. Oaya, C. S., Malgwi, A. M. et Samaila, A. E. 2012. Damage potential and loss caused by the groundnut bruchid *Caryedon serratus* Olivier (Coleoptera: Bruchidae) on stored groundnut and tamarind in Yola. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 1(6), 58–62. <https://doi.org/10.9790/2380-0165862>,
22. Règlement (CE) n° 1881/2006 de la Commission. 2006. Portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. *Journal officiel de l'Union européenne*, L 364, 5–24,
23. Wagacha, J. M., Mutegi, C. K., Christie, M. E., Karanja, L. W. et Kimani, J. 2013. Changes in fungal population and aflatoxin levels and assessment of major aflatoxin types in stored peanuts (*Arachis hypogaea* Linnaeus). *Journal of Food Research*, 2(5), 10–23. <https://doi.org/10.5539/jfr.v2n5p10>,
24. Waliyar, F., Osiru, M., Ntare, B. R., Kumar, K. V. K., Sudini, H., Traore, A. et Diarra, B. 2015. Post-harvest management of aflatoxin contamination in groundnut. *World Mycotoxin Journal*, 8(2), 245–252. <https://doi.org/10.3920/WMJ2014.1766>.