

EVALUATION DE NITRATE ET NITRITE DANS QUELQUES FRUITS ET LEGUMES CONSOMMES DANS LA VILLE DE N'DJAMENA

BOBET Ouanmini^a, BAMOGO Halidou^b, GANON François^c, LABARA Waidou^d,
Nassio SORY^e, Gilles ESCADEILLAS^f

^aEcole Normale Supérieure de Bongor(Tchad), ^b Université Nazi Boni (Burkina Faso), ^cEcole Normale Supérieure de Ndjaména (Tchad), ^dUniversité de Ndjaména FSEA Facha Tchad, ^eUniversité Joseph Ki-Zerbo Laboratoire de Chimie Moléculaire et des matériaux (Burkina-Faso),

^fLaboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC), Université de Toulouse, INSA, France
BP : 13 Bongor ; Email : bobetouanmini@yahoo.fr

Résumé

Cette étude vise à évaluer les teneurs en nitrates et nitrites dans certaines espèces de légumes-feuilles et fruits consommés dans la ville de N'Djamena, afin d'en estimer les risques sanitaires potentiels pour les consommateurs. Cinq espèces ont été analysées sur différents sites de production et de vente : l'épinard, le mloukhié, l'oseille, l'ambunu et le concombre. Les résultats obtenus montrent que tous les échantillons contiennent des teneurs mesurables en nitrates et nitrites. Les concentrations moyennes en nitrates varient considérablement selon les espèces, avec des valeurs allant de quelques centaines à plus de 1600 mg/kg de matière fraîche. Les légumes-feuilles (épinard, mloukhié, ambunu) présentent les niveaux les plus élevés, tandis que les fruits-légumes (gombo, concombre) affichent des teneurs plus faibles. Concernant les nitrites, les valeurs mesurées, bien qu'inférieures à celles des nitrates, dépassent parfois les seuils tolérés par la FAO/OMS, notamment dans le mloukhié (4,493 mg/kg) et l'oseille (jusqu'à 5,283 mg/kg selon le site). L'analyse comparative par site a mis en évidence des différences significatives. L'évaluation des teneurs observées au regard des normes internationales indique que certaines espèces dépassent les limites fixées. Même si la majorité des échantillons restent dans des plages acceptables, la consommation fréquente de légumes riches en nitrates pourrait entraîner une exposition, surtout chez les enfants et les populations sensibles à ce produit. Cela met en évidence un risque potentiel méthémoglobinémie et la formation de composés nitrosés cancérigènes. Ces résultats soulignent l'importance d'un contrôle régulier et d'une sensibilisation accrue des acteurs du secteur agricole afin de réduire les risques liés à la consommation excessive de ces composés. Les résultats obtenus constituent un socle scientifique important pour soutenir les stratégies de sécurité alimentaire et promouvoir une agriculture respectueuse de l'environnement et de la santé publique.

Mot clés : nitrates, nitrites, légumes-feuilles et fruits, ville de N'Djamena

Evaluation of nitrate and nitrite levels in some fruits and vegetables consumed in the city of N'djamena

Abstract

This study aims to assess the nitrate and nitrite levels in certain leafy vegetables and fruits consumed in the city of N'Djamena, in order to estimate the potential health risks for consumers. Five species were analyzed at different production and sales sites: spinach, mloukhié (a type of leafy green), sorrel, ambunu (a type of leafy green), and cucumber.

The results show that all samples contain measurable levels of nitrates and nitrites. Average nitrate concentrations vary considerably among the species, ranging from a few hundred mg/kg to over 1600 mg/kg of fresh weight. Leafy vegetables (spinach, mloukhié, ambunu) have the highest levels, while fruits and vegetables (okra, cucumber) have lower levels.

Regarding nitrites, the measured values, although lower than those of nitrates, sometimes exceed the limits tolerated by the FAO/WHO, particularly in mloukhié (4.493 mg/kg) and sorrel (up to 5.283 mg/kg depending on the site). Comparative analysis by site revealed significant differences. The assessment of observed levels against international standards indicates that some species

exceed the established limits. Even though the majority of samples remain within acceptable ranges, frequent consumption of vegetables rich in nitrates could lead to exposure, especially in children and populations sensitive to this product. This highlights a potential risk of methemoglobinemia and the formation of carcinogenic nitrosate compounds.

These results underscore the importance of regular monitoring and increased awareness among stakeholders in the agricultural sector to reduce the risks associated with excessive consumption of these compounds.

The results obtained provide an important scientific basis for supporting food security strategies and promoting environmentally and public health-conscious agriculture.

Keywords: *nitrates, nitrites, leafy vegetables and fruits, N'Djamena city*

Introduction

Les fruits et légumes (F&L) tiennent une place essentielle dans l'alimentation car ils fournissent une grande variété d'éléments nutritifs indispensables, notamment des vitamines, des minéraux, des fibres et des composés protecteurs (Makalao et al., 2016). Bien qu'ils soient reconnus pour leurs bénéfices, ces aliments peuvent aussi véhiculer des substances indésirables comme les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-). Ces ions existent naturellement dans l'environnement, mais leurs niveaux peuvent augmenter dans les plantes en raison de l'utilisation d'engrais azotés, surtout lorsque l'application de ces intrants n'est pas strictement contrôlée (EFSA, 2008).

Dans plusieurs pays africains, l'augmentation rapide de la population et la nécessité de produire davantage de nourriture encouragent certains agriculteurs à utiliser les engrais chimiques de manière intensive. Lorsque ces produits sont mal dosés ou appliqués sans orientation technique, ils contribuent à la contamination des sols, de l'eau et des produits maraîchers (Mensinga et al., 2003).

A N'Djamena, l'agriculture urbaine et les petites exploitations situées autour de la ville jouent un rôle majeur dans l'approvisionnement des ménages (Paul, 2012). Toutefois, la disponibilité limitée d'intrants adaptés et l'insuffisance d'encadrement technique alimentent des inquiétudes quant aux risques environnementaux et sanitaires liés à ces pratiques. Les teneurs en nitrates dans les plantes varient selon plusieurs facteurs : l'espèce cultivée, le type de sol, les conditions climatiques, la méthode de culture et les apports en azote (Lecompte, 2021 ; Santamaria, 2006). Dans l'organisme humain, l'excès de nitrates peut être converti en nitrites, substances susceptibles d'entraîner certains effets indésirables, en particulier chez les nourrissons, comme l'illustre la littérature récente (Pouget et al., 2024) ainsi que les études portant sur l'eau potable (Mensinga et al., 2003). Malgré ces données, peu d'informations existent concernant les niveaux réels de nitrates dans les légumes cultivés localement au Tchad, notamment dans les zones maraîchères urbaines. L'analyse des teneurs en nitrates et nitrites dans les denrées végétales consommées chaque jour devient ainsi un enjeu important.

Le choix de ce thème se justifie à la fois par la nécessité d'apporter des données scientifiques locales et par l'intérêt de fournir aux autorités sanitaires, aux consommateurs et aux producteurs des informations utiles pour prévenir les risques d'exposition prolongée. Cette étude contribue aussi à encourager des pratiques agricoles mieux maîtrisées.

Dans la ville de N'Djamena, où les cultures maraîchères sont parfois conduites sans contrôle strict, les concentrations en nitrates et nitrites peuvent varier selon les zones et les espèces cultivées. L'absence de données fiables rend difficile l'évaluation précise de l'exposition des habitants à ces composés. Les teneurs observées dépendent de paramètres tels que l'espèce végétale, le site de culture et les techniques agricoles utilisées. Pour comprendre ces variations et leurs impacts, une analyse ciblée, accompagnée d'une estimation de l'exposition alimentaire quotidienne, s'impose.

La question centrale de cette étude est donc : les légumes et fruits consommés dans cette zone contiennent-ils des quantités de nitrates et nitrites susceptibles de dépasser les valeurs de référence, et représentent-ils un risque pour la santé ?

L'objectif général consiste à examiner les niveaux de nitrates et nitrites dans quelques espèces végétales couramment consommées, puis à estimer l'exposition quotidienne et le risque qui en découle. Les objectifs spécifiques sont :

- mesurer les teneurs en nitrates et nitrites des échantillons provenant de différents sites;
- comparer les teneurs selon les espèces et les lieux d'approvisionnement ;
- apprécier les risques pour la santé en tenant compte des valeurs établies par la FAO/OMS.

Ces objectifs reposent sur les hypothèses suivantes :

- les espèces étudiées renferment des quantités mesurables de nitrates et nitrites ;
- les concentrations varient en fonction des espèces et des sites ;
- l'exposition alimentaire journalière pourrait dépasser les valeurs tolérables.

Le travail s'organise en trois chapitres : une revue bibliographique sur les nitrates et nitrites, la présentation des méthodes et du matériel utilisé, puis l'analyse et la discussion des résultats suivies des recommandations.

I Présentation de la zone d'étude

I.1. Localisation géographique

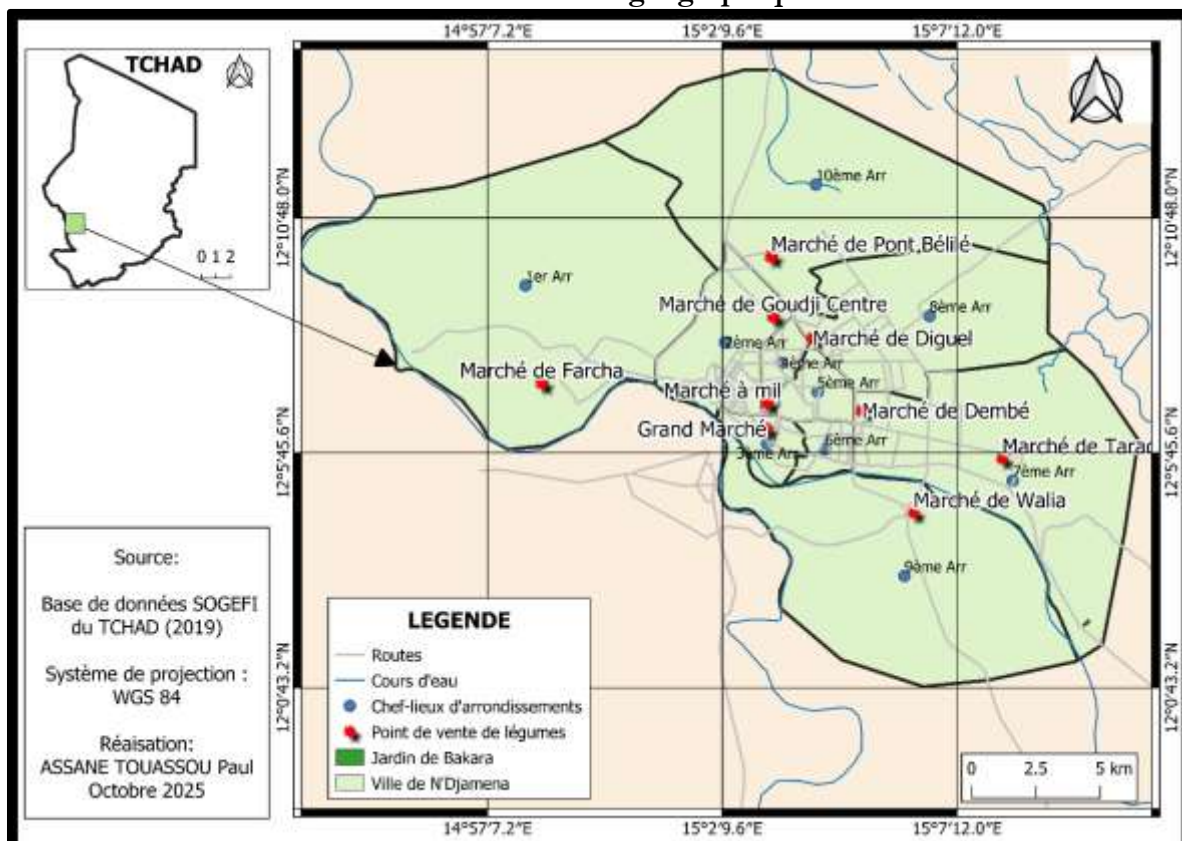


Figure 1. Situation et localisation de la zone d'étude

Le présent travail a été réalisé dans la ville de N'Djamena, capitale du Tchad.

Elle est située entre les 12°0'43,2"N et 12°10'48,0"N, et les 14°57'7,2"E et 15°7'12,0"E.

Trois sites, à savoir le marché de Dembé, le marché de Taradona et le Jardin de Gonba ont été sélectionnés pour le prélèvement d'échantillons, en raison de leur représentativité.

I.2. Matériel biologique (liste, critères de sélection)

Six types d'espèces ont été ciblés et prélevés pour les analyses. La sélection de ces espèces est due au fait qu'elles font partie des légumes les plus consommés par la population, aussi bien en milieu urbain que périurbain, et qu'elles sont disponibles tout au long de l'année sur les marchés locaux. Il s'agit du gombo (*Abelmoschus esculentus*), des épinards (*Spinacia oleracea*), de l'oseille (*Hibiscus*

sabdariffa), de la mloukhia (*Corchorus olitorius*), du concombre (*Cucumis sativus*) et de l'ambunu (*Ceratotheca sesamoides*).

Le choix de ces espèces permet de couvrir une diversité de légumes à feuilles, à fruits et mucilagineux, présentant des modes d'accumulation et des profils nutritionnels différents. Cette diversité est essentielle pour obtenir une vision représentative de l'exposition réelle de la population aux nitrates et nitrites à travers l'alimentation. De plus, ces plantes proviennent majoritairement de cultures maraîchères locales, souvent soumises à des pratiques agricoles variées, ce qui renforce la pertinence de leur sélection dans le cadre de cette étude.

La planche de photos qui suit montre les images de ces espèces qui ont été sélectionnées.

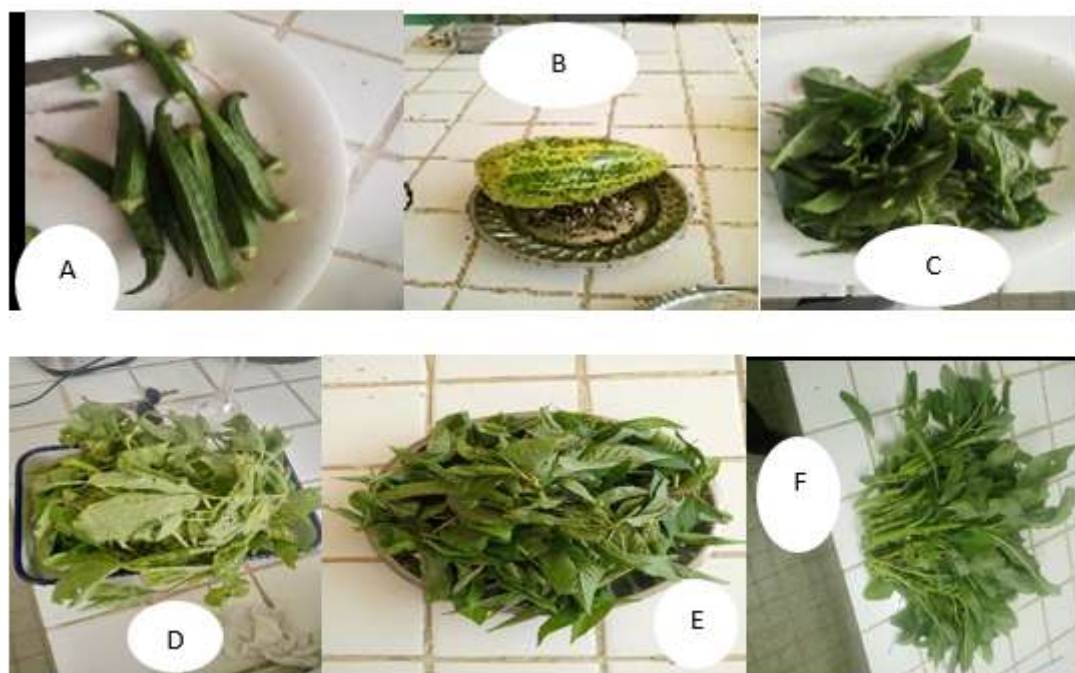


Figure : 2. Gombo (A), concombre (B), épinards(C), oseille (D), mloukhié(E), ambunu (F)

I.3. Résultats des teneurs en nitrates et nitrites

Les résultats des concentrations moyennes en nitrates et nitrites des 6 espèces analysées dans les 5 sites sont présentés sous-forme d'histogrammes dont les valeurs sont très variables selon l'espèce et le site. Ces histogrammes permettent de comparer leurs teneurs selon les sites pour une même espèce, selon les espèces dans un même site, ensuite identifier des sites et des espèces où ces teneurs sont plus élevées, enfin réaliser des analyses statistiques.

I.3.1. Résultats des teneurs en nitrates par site

Le programme Hach a été démarré avec 355 N, Nitrate HR. 10mL les échantillons ont été transférés dans une cuve ronde, puis le contenu d'une pochette de réactif par nitrate NitraVer 5 a été ajouté. La cuve a été bouchée et agité vigoureusement jusqu'à la fin d'une période de réaction d'une minute.

Après cette première période, une seconde période de réaction de 5 minutes a été respectée, durant laquelle une coloration ambre est apparue en présence de nitrates. Une fois le temps écoulé, 10 mL de l'eau dé-ionisée ont été transférés dans une deuxième cuve ronde pour le blanc. Après avoir essuyé l'extérieur de la cuve, celle-ci a été introduite dans le compartiment de cuve et après avoir appuyé sur "Zéro". L'indication "0,0 mg/L N-NO₃⁻" a été affichée. L'échantillon préparé a ensuite été introduit dans le compartiment de cuve pour la lecture au spectrophotométrique des résultats.

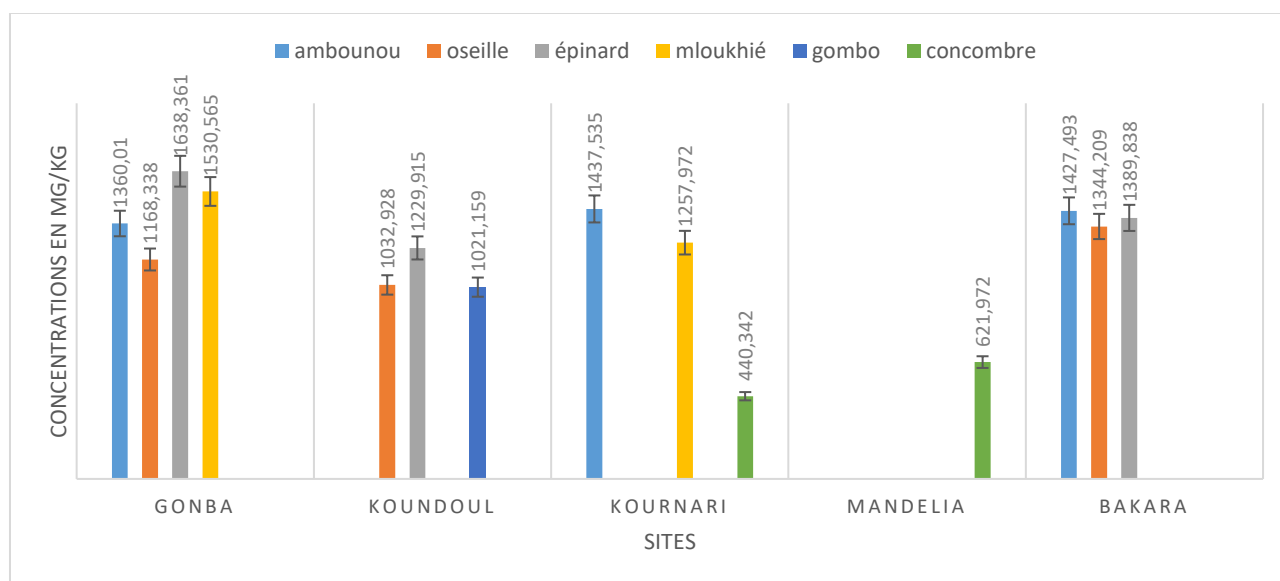


Figure 3. Résultats des teneurs en nitrates par site

L'analyse des résultats présentés sur la **figure 2** met en évidence une variation significative des teneurs en nitrates (mg/kg) selon les espèces végétales et les sites d'échantillonnage. Ces différences traduisent la diversité des conditions environnementales et culturelles influençant l'accumulation de nitrates dans les tissus végétaux.

Les concombres provenant de Mandelia présente une concentration en nitrates relativement plus élevée que les autres. A Bakar, la teneur la plus élevée est observée chez l'ambunu, suivie de l'épinard et de l'oseille. Tandis qu'à Gonba, les résultats montrent que l'épinard présente la concentration la plus élevée en nitrates, suivi de la mloukhié, de l'ambunu et enfin de l'oseille. Alors qu'à Koundoul, l'épinard enregistre également la plus forte teneur en nitrates, suivi de l'oseille et du gombo. Cependant à Kournari, les teneurs les plus importantes sont observées chez l'ambunu, suivi de la mloukhié et du concombre

Tableau : 1, Résultats des teneurs en nitrates par site

site/espèce	Ambunu	Oseille	Epinard	mloukhié	Gombo	concombre	moy par site	écart-type
Gonba	1360,010	1168,338	1638,361	1530,565			1424,32	205,56
Koundoul		1032,928	1229,915		1021,159		1094,67	117,28
Kournari	1437,535			1257,972		440,342	1045,28	531,53
Mandelia						621,972	621,97	
Bakara	1427,493	1344,209	1389,838				1387,18	41,71

L'analyse comparative des sites (tableau 1) montre que la moyenne en nitrates (mg/kg) la plus élevée est enregistrée au site de Gonba, suivi de Bakara, de Koundoul et enfin de Kournari.

Les écarts-types calculés indiquent une variabilité plus marquée à Kournari, traduisant une dispersion importante des valeurs, suivie de Gonba, Koundoul et Bakara.

Ces résultats suggèrent que le site de Gonba se distingue par une accumulation plus forte de nitrates, probablement liée à un apport azoté plus important, à des sols plus riches en nitrates disponibles, ou encore à des pratiques culturales intensives. Les sites de Bakara et Koundoul présentent également des teneurs élevées, tandis que Mandelia, où seul le concombre a été analysé, affiche la concentration la plus faible.

I.3.2. Résultats des teneurs en nitrites par site

Le programme Hach a été sélectionné, spécifiquement 373 N, Nitrite HR, et démarré. 10mL de l'échantillon ont été transférés dans une cuve ronde. Le contenu d'une pochette de réactif pour

nitrite NitriVer 3 a été ajouté dans la cuve ronde, qui a ensuite été bouchée et agitée pour homogénéiser. Une coloration rose s'est développée en présence de nitrites. La minuterie a été activée, et une période de réaction de 20 minutes a été respectée. Une fois le temps écoulé, 10 mL de l'eau dé-ionisée ont été transférés dans une deuxième cuve ronde pour le blanc. L'extérieur de la cuve a été essuyé avant de l'introduire dans le compartiment de cuve, puis l'indication "0 NO₂" a été affichée après avoir appuyé sur "Zéro". L'échantillon préparé a ensuite été introduit dans le compartiment de cuve, et les résultats ont été lus après avoir appuyé sur la touche READ.

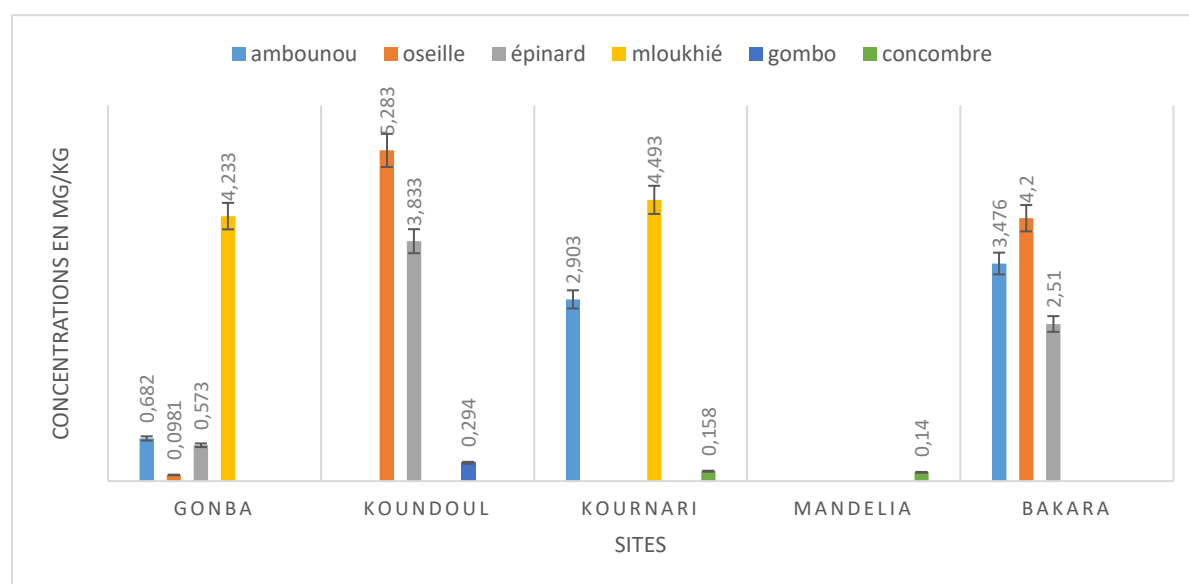


Figure 4. Résultats des teneurs en nitrites par site

L'analyse des résultats présentés sur la figure 4 montre que les teneurs en nitrites (mg/kg) varient considérablement selon les sites d'échantillonnage et les espèces végétales. Ces différences reflètent les conditions locales de culture, la nature du sol ainsi que la capacité d'accumulation propre à chaque légume.

Au site de Gonba, le mloukhié présente la concentration la plus élevée en nitrites, suivi de l'ambunu, de l'épinard et enfin de l'oseille. Sur le site de Koundoul, on remarque que : la teneur la plus forte est observée sur l'oseille, suivie de l'épinard et du gombo. Alors que le site de Mandelia, seul les concombres qui ont été analysés, avec une teneur en nitrites de 0,14 mg/kg. Par contre, le site de Bakara, les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans l'oseille, suivie de l'ambunu et de l'épinard. En fin, le site de Kournari : la teneur la plus importante est observée dans le mloukhié, suivi de l'ambunu et du concombre.

Tableau : 2, Résultats des teneurs en nitrites par site

site/espèce	Ambunu	Oseille	Epinard	Mloukhié	gombo	Concombre	moy par site	ecart-type
Gonba	0,682	0,0981	0,573	4,233			1,40	1,91
Koundoul		5,283	3,833		0,294		2,39	2,57
Kournari	2,903			4,493		0,158	3,70	1,12
Mandelia						0,140	0,14	#DIV/0!
Bakara	3,476	4,2	2,51				3,40	0,85

L'analyse comparative des moyennes (tableau : 2) indique que la teneur moyenne en nitrites la plus élevée est enregistrée au site de Kournari, suivi de Bakara, de Koundoul, de Gonba et enfin de Mandelia. Les écarts-types montrent une variabilité plus marquée à Koundoul, suivie de Gonba,

Kournari et Bakara. Pour le site de Mandelia, aucun écart-type n'a été calculé car une seule valeur a été obtenue.

Ces résultats mettent en évidence une accumulation plus élevée de nitrites dans les sites de Kournari et Bakara, ce qui pourrait s'expliquer par un apport azoté plus important, un sol plus riche en matière organique, ou encore des conditions d'humidité favorables à la réduction des nitrates en nitrites. Les valeurs relativement faibles observées à Gonba et surtout à Mandelia suggèrent des conditions de culture moins favorables à cette transformation, ou une meilleure oxygénation du sol limitant la formation de nitrites.

I.4. Résultats des teneurs en nitrates par espèce

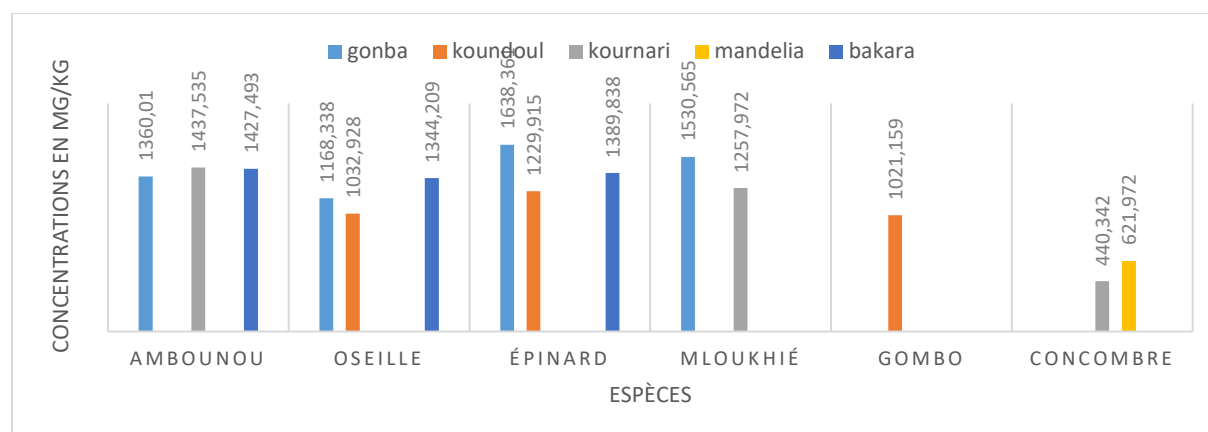


Figure 5 : Résultats des teneurs en nitrates par espèce.

Les résultats des concentrations moyennes en nitrates (mg/kg) des six espèces analysées dans les cinq sites sont présentés sur la **figure 5**. Les valeurs montrent une variabilité importante selon les sites et permettent de réaliser des statistiques descriptives ainsi que des analyses multivariées. L'ambunu de Kournari a la plus forte teneur en nitrates suivi de celui de Bakara et de Gonba. La concentration d'oseille la plus élevée est enregistrée dans site de Bakara, suivie de Gonba et de Koundoul. La plus forte teneur en nitrate dans l'épinard est relevée sur le site de Gonba, suivie de Bakara et enfin de Koundoul. Le mloukhié de Gonba présente la concentration la plus par rapport à celui de Kournari. Le gombo de Koundoul affiche une teneur en nitrates de 1021,159 mg/kg. Le concombre de Mandelia présente la valeur la plus élevée comparée à celui de Kournari.

Tableau : 3, Résultats des teneurs en nitrates par espèce

espèce/site	Gonba	koundoul	Kournari	Mandelia	bakara	moy par espèce	écart-type
Ambunu	1360,01		1437,535		1427,493	1408,35	42,16
Oseille	1168,338	1032,928			1344,209	1181,83	156,08
Épinard	1638,361	1229,915			1389,838	1419,37	205,82
Mloukhié	1530,565		1257,972			1394,27	192,75
Gombo		1021,159				1021,16	
concombre			440,342	621,972		531,16	128,43

L'analyse des moyennes par espèce (tableau 3) montre que l'épinard possède la concentration moyenne la plus élevée (1419,37 mg/kg), suivi de l'Ambunu (1408,35 mg/kg), du mloukhié (1394,27 mg/kg), de l'oseille (1181,83 mg/kg), du gombo (1021,16 mg/kg) et enfin du concombre (531,16 mg/kg).

Les écarts-types élevés observés pour l'épinard (205,82 mg/kg), la mloukhié (192,75 mg/kg) et l'oseille (156,08 mg/kg) suggèrent une variabilité importante des pratiques culturales entre sites, notamment l'utilisation d'engrais azotés et la fréquence d'irrigation.

En revanche, l'Ambunu présente un écart-type faible (42,16 mg/kg), traduisant une relative homogénéité des conditions de culture entre les sites où cette espèce a été prélevée.

Pour le gombo, les échantillons proviennent d'un seul site (Koundoul) ; par conséquent, aucun écart-type n'a été calculé pour cette espèce.

I.5. Résultats des teneurs en nitrites par espèce

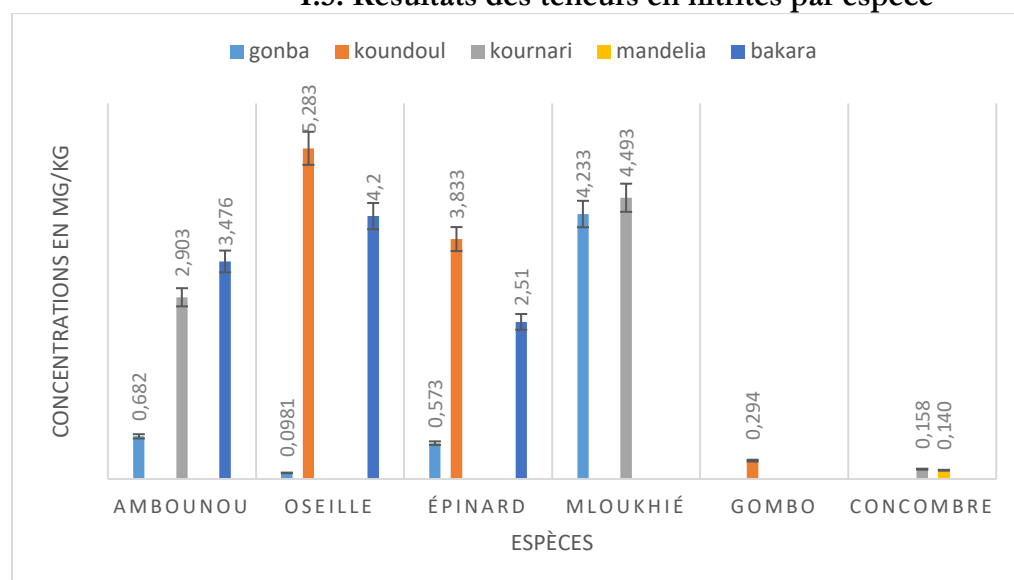


Figure 6. Résultats des teneurs en nitrites par espèce

Les résultats des concentrations moyennes en nitrites (mg/kg) des six espèces analysées dans les différents sites sont présentés sur la figure 8. Ces valeurs mettent en évidence des différences importantes selon les espèces et les sites, permettant des analyses descriptives et comparatives. La teneur la plus élevée en nitrite est observée dans l'Ambunu de Bakara, suivie de l'Ambunu de Kournari et enfin de l'Ambunu de Gonba. Le site de Koundoul présente la concentration la plus forte, suivi de Bakara et de Gonba. L'épinard de Koundoul a la plus forte teneur, suivi de celui de Bakara et de Gonba. Il en de même, du mloukhié de Kournari qui présente la teneur la plus élevée, suivi de Gonba. Le gombo de Koundoul affiche une concentration moyenne de 0,293 mg/kg. Puis le concombre de Kournari présente une teneur de 0,158 mg/kg, tandis que celui de Mandelia a une valeur de 0,140 mg/kg.

Tableau IV : , Résultats des teneurs en nitrites par espèce

espèce/site	Gonba	koundoul	Kournari	Mandelia	Bakara	moy par espèce	ecart-type
Ambunu	0,682		2,903		3,476	2,35	1,48
Oseille	0,0981	5,283			4,2	3,19	2,74
Epinard	0,573	3,833			2,51	2,31	1,64
Mloukhié	4,233		4,493			4,36	0,18
Gombo		0,294				0,29	
Concombre			0,158	0,14		0,15	0,01

L'analyse des moyennes par espèce (tableau : 4) indique que la teneur moyenne en nitrites est la plus élevée pour le mloukhié, suivie de l'oseille, de l'Ambunu, de l'épinard et enfin du concombre. Le gombo n'a été prélevé que sur un seul site, aucun écart-type n'a donc été calculé

pour cette espèce. Les écarts-types reflètent la variabilité des concentrations selon les sites et sont les suivants : oseille, épinard, Ambunu, mloukhié et concombre.

Ces résultats montrent que les espèces feuillées comme l'oseille et l'épinard présentent une forte dispersion des valeurs, probablement liée aux pratiques culturales variables (apport d'engrais azotés, fréquence d'irrigation), tandis que l'Ambunu et le mloukhié affichent une variabilité plus faible.

II.1. Comparaison aux normes internationales

Dans les différents tableaux qui suivent, nous avons évalué la conformité des concentrations moyennes par espèce et par site selon les normes internationales. Nous nous sommes basés à cet effet sur la DJA pour les nitrates qui est de 3,7 mg/kg pc/j et pour les nitrites qui sont de 0,06 mg/kg pc/j. nous avons estimé une consommation de ces espèces de 200 g pour un adulte de 60 kg et 100 g pour un enfant de 15 kg. Le calcul a été fait selon la formule (1).

II.2. Traitement des données

Le logiciel Microsoft Excel a été utilisé pour le traitement statistique des différents résultats obtenus pour les teneurs en nitrites et nitrates dans les divers échantillons de légumes et fruits. C'est à base de ce traitement que nous avons pu interpréter avec rigueur et de manière scientifique les données. Les principaux paramètres statistiques calculés sont les suivants :

La moyenne arithmétique, notée \bar{x} , permet d'estimer la concentration moyenne de l'ion nitrate ou nitrite dans un groupe d'échantillons. Son calcul est basé sur la formule :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

\bar{x} est la moyenne arithmétique des concentrations,

X_i est la concentration mesurée dans le i^{e} échantillon,

n est le nombre total d'échantillons analysés.

L'écart-type, noté σ , qui permet de mesurer la dispersion des valeurs autour de la moyenne, et d'apprécier la variabilité des concentrations. Sa formule est :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2)$$

σ est l'écart-type,

Ces paramètres ont permis d'évaluer la stabilité des données, de détecter d'éventuelles anomalies et de comparer les teneurs selon les espèces végétales et les sites de prélèvement.

Les résultats bruts obtenus à partir du spectrophotomètre DR 2400 sont exprimés en mg/L N-NO_3^- . Conformément aux résultats de S. Iboukhoulé et al.[1], ces valeurs ont été converties en mg/L NO_3^- en multipliant les résultats bruts par 4,43.

La concentration finale dans le légume frais $C_{\text{légume}}$ a été calculée selon la formule suivante :

$$C_{\text{légume}} = \frac{C_{\text{extrait}} \times V_{\text{extraction}}}{m_{\text{échantillon}}} \quad (3)$$

$C_{\text{légume}}$: concentration mesurée dans le légume en mg/kg,

C_{extrait} : concentration de l'extrait, mesurée en mg/L,

$V_{\text{extraction}}$: volume total de l'extrait, mesuré en L,

$m_{\text{échantillon}}$: masse de l'échantillon extrait en Kg.

Pour les nitrites (NO_2^-), les résultats bruts ont été obtenus en mg/L NO_2^- , puis convertis en mg/kg de produit frais selon la même relation.

Cette conversion, effectuée sous Excel, a permis d'uniformiser l'ensemble des données pour tous les échantillons analysés. Afin de mieux visualiser la répartition des teneurs en nitrates et nitrites selon les espèces et les sites de prélèvement, des histogrammes ont été générés.

Les valeurs obtenues ont ensuite été comparées aux valeurs limites fixées par les organismes de référence tels que l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'Union Européenne (UE) et le Codex Alimentarius. Selon les recommandations de la FAO/OMS, les doses journalières admissibles (DJA) sont de 3,7 mg/kg pc/jour pour les nitrates et de 0,06 mg/kg pc/jour pour les nitrites.

Les apports journaliers estimés (AJE) ont été calculés selon la méthode de Dodocioiu et al. (2025)[2] en considérant : Pour un adulte : un poids corporel moyen de 60 kg et une consommation journalière de 200 g/j (0,2 kg/j) ; Pour un enfant : un poids corporel moyen de 15 kg et une consommation journalière de 100 g/j (0,1 kg/j).

Les valeurs des AJE obtenues ont ensuite été comparées aux DJA de référence (3,7 mg/kg pc/j pour les nitrates et 0,06 mg/kg pc/j pour les nitrites) pour permettre d'évaluer le risque sanitaire potentiel lié à la consommation des légumes étudiés.

$$AJE = \frac{C \times TI}{PC} \quad (4)$$

Où AJE : apport journalier estimé (mg/kg pc/j)

C : concentration (mg/kg)

TI : taux d'ingestion (kg/j)

PC : poids corporel (kg)

Les résultats de ces différents calculs effectués dans Excel se trouvent dans les différents tableaux.

II.3. Présentation par espèce

II.3.1. En teneur de nitrates

Tableau 5. Évaluation de l'exposition des individus en termes de nitrates par espèce

Espèce	moyennes nitrates mg/kg	DJA (mg/kg pc)	AJE adulte (mg/kg j)	Évaluation adulte	AJE enfant (mg/kg j)	Évaluation enfant
Epinard	1419,37	3,7	4,73	Dépasse	9,46	Dépasse
Ambunu	1408,35	3,7	4,69	Dépasse	9,39	Dépasse
Mloukhié	1394,27	3,7	4,65	Dépasse	9,30	Dépasse
Oseille	1181,83	3,7	3,94	Dépasse	7,88	Dépasse
Gombo	1021,16	3,7	3,40	OK	6,81	Dépasse
Concombre	531,16	3,7	1,77	OK	3,54	OK

Le tableau 5 présente l'évaluation des teneurs moyennes en nitrates des différentes espèces analysées dans les sites d'étude, comparées à la DJA fixée par le Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires (JECFA) à 3,7 mg de NO₃⁻/kg de poids corporel/jour, confirmée par l'EFSA (2017). Cette norme représente la quantité maximale pouvant être ingérée quotidiennement tout au long de la vie sans risque notable pour la santé.

Ce tableau nous montre que les concentrations en nitrates varient significativement en fonction de l'espèce. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans l'épinard (1419,37 mg/kg), l'ambunu (1408,35 mg/kg) et le mloukhié (1394,27 mg/kg), tandis que les concentrations les plus faibles sont observées dans le gombo (1021,16 mg/kg) et le concombre (531,16 mg/kg). Cette tendance confirme que les légumes-feuilles sont généralement plus exposés à l'accumulation des nitrates que les légumes-fruits, en raison de leur activité métabolique élevée et de leur forte capacité de stockage dans les tissus foliaires.

En considérant la DJA, les résultats montrent que l'exposition potentielle des consommateurs pourrait dépasser les limites tolérables dans les espèces à l'exception du concombre et le gombo qui se révèle ne pas dépasser la norme chez l'adulte. Ces dépassements indiquent un risque sanitaire potentiel, particulièrement chez les enfants et les personnes sensibles, car les nitrates peuvent se transformer en nitrites dans l'organisme, lesquels sont impliqués dans la formation de composés nitrosés cancérigènes et peuvent entraîner des troubles métaboliques tels que la méthémoglobinémie.

II.3.2. En teneur de nitrites

Tableau : 6. Évaluation de l'exposition des individus en termes de nitrites par espèce

Espèce	moyennes nitrates mg/kg	DJA (mg/kg pc)	AJE adulte (mg/kg j)	Évaluation adulte	AJE enfant (mg/kg j)	Évaluation enfant
Epinaud	2,31	0,06	0,008	OK	0,015	OK
Ambunu	2,35	0,06	0,008	OK	0,016	OK
Mloukhié	4,36	0,06	0,015	OK	0,029	OK
Oseille	3,19	0,06	0,011	OK	0,021	OK
Gombo	0,293	0,06	0,001	OK	0,002	OK
Concombre	0,15	0,06	0,001	OK	0,001	OK

Le **tableau 6** présente l'évaluation des teneurs moyennes en nitrites (NO₂⁻) mesurées dans les différentes espèces de légumes analysées, comparées à la DJA de 0,06 mg/kg de poids corporel/jour, telle que définie par le Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires (JECFA, 2002). Il y ressort qu'aucune valeur de l'AJE ne dépasse la DJA. Par conséquent, ces espèces ne peuvent en aucun cas constituer un risque ni pour un adulte ni pour un enfant, en terme de teneur en ions nitrites.

II.4. Présentation par site

II.4.1. En termes de nitrates

Tableau 1: Evaluation de l'exposition des individus en termes de nitrates par site

Site	Moyenne nitrates (mg/kg)	DJA (mg/kg pc)	AJE (mg/kg j)	Évaluation (adulte)	AJE (mg/kg j)	Évaluation (enfant)
Gonba	1424,32	3,7	4,75	Dépasse	9,50	Dépasse
Bakara	1387,18	3,7	4,62	Dépasse	9,25	Dépasse
Koundoul	1094,67	3,7	3,65	OK	7,30	Dépasse
Kournari	1045,28	3,7	3,48	OK	6,97	Dépasse
Mandelia	621,97	3,7	2,07	OK	4,15	Dépasse

Le **tableau 3** portant sur l'évaluation des nitrates par site montre que les concentrations moyennes varient fortement selon l'origine des légumes. Le site de Gonba présente la teneur moyenne la plus élevée (1424,32 mg/kg), principalement en raison des fortes concentrations dans l'épinard (1638,36 mg/kg) et le mloukhié (1530,57 mg/kg). Le site de Bakara suit avec une moyenne de 1387,18 mg/kg, l'ambunu (1427,49 mg/kg) et l'épinard (1389,84 mg/kg) étant les espèces les plus concentrées. Les sites de Koundoul et Kournari affichent des teneurs moyennes respectivement de 1094,67 mg/kg et 1045,28 mg/kg, tandis que le site de Mandelia, limité au concombre, présente la valeur la plus faible (621,97 mg/kg).

Cette variabilité entre les sites peut s'expliquer par divers facteurs agronomiques et environnementaux, entre autres la quantité et le type de fertilisants azotés utilisés, la fréquence d'irrigation, l'ensoleillement et la proximité de sources potentielles de pollution [3]

En rapport avec la DJA de 3,7 mg/kg de poids corporel/jour fixée par le JECFA (2002) [4], il apparaît que la consommation quotidienne de légumes provenant des sites de Gonba et Bakara pourrait dépasser largement la DJA, particulièrement chez les enfants et les adultes consommant de grandes quantités. Chez les enfants, il ressort de cette évaluation comme le montre le tableau que la consommation quotidienne de légumes provenant de tous les sites pourrait dépasser la DJA. Cette situation souligne le risque potentiel d'exposition chronique aux nitrates, justifiant la nécessité

d'une surveillance régulière des cultures et de l'application de bonnes pratiques agricoles pour limiter l'accumulation de nitrates dans les légumes consommés.

II.4.2. En termes de nitrites

Tableau 2: Evaluation de l'exposition des individus en termes de nitrites par site

Site	Moyenne nitrites (mg/kg)	DJA (mg/kg pc)	AJE adulte (mg/kg j)	Évaluation (adulte)	AJE enfant (mg/kg j)	Évaluation (enfant)
Kournari	3,7	0,06	0,012	OK	0,025	OK
Bakara	3,4	0,06	0,011	OK	0,023	OK
Koundoul	2,39	0,06	0,008	OK	0,016	OK
Gonba	1,4	0,06	0,005	OK	0,009	OK
Mandelia	0,14	0,06	0,000	OK	0,001	OK

Le tableau 4 portant sur l'évaluation des nitrites par site révèle une variabilité marquée des concentrations selon l'origine des légumes. Le site de Kournari présente la teneur moyenne la plus élevée (3,7 mg/kg), principalement en raison du mloukhié (4,493 mg/kg) et de l'ambunu (2,903 mg/kg). Le site de Bakara suit avec une moyenne de 3,40 mg/kg, l'oseille (4,200 mg/kg) et l'ambunu (3,476 mg/kg) étant les espèces les plus concentrées. Au site de Koundoul, l'oseille (5,283 mg/kg) et l'épinard (3,833 mg/kg) contribuent à une moyenne de 2,39 mg/kg, tandis que le site de Gonba affiche une moyenne plus faible (1,40 mg/kg), dominée par le mloukhié (4,233 mg/kg). Enfin, le site de Mandelia, limité au concombre, présente la valeur la plus faible (0,14 mg/kg).

Ces différences intersites peuvent aussi s'expliquer par des facteurs agronomiques et environnementaux, tels que la fertilisation azotée, les conditions de culture et d'irrigation, ainsi que la durée de stockage avant analyse [5]

En comparaison avec la DJA pour les nitrites, fixée à 0,06 mg/kg de poids corporel/jour par le JECFA (2002), il apparaît que toutes les moyennes par site sont largement inférieures à la DJA.

II.5. Interprétation des écarts

L'analyse des écarts entre les teneurs mesurées et la DJA révèle que plusieurs légumes dépassent largement les limites fixées par la FAO/OMS. En effet, les concentrations en nitrates les plus élevées ont été observées dans l'épinard (jusqu'à 1638,36 mg/kg) et le mloukhié (1530,57 mg/kg), tandis que les nitrites atteignent jusqu'à 4,493 mg/kg dans le mloukhié de Kournari. Ces valeurs dépassent de manière significative la DJA de 3,7 mg/kg p.c./jour pour les nitrates et 0,06 mg/kg p.c./jour pour les nitrites, particulièrement chez les enfants dont l'exposition relative est plus élevée. Les écarts observés entre espèces et sites peuvent être liés à plusieurs facteurs, notamment les caractéristiques physiologiques des plantes, la localisation géographique, et les pratiques agricoles. La consommation répétée ou en grande quantité de ces légumes pourrait donc entraîner une exposition chronique aux nitrates et nitrites, ce qui justifie la nécessité d'une surveillance régulière et de la mise en œuvre de bonnes pratiques agricoles.

II.5.1. Analyse des facteurs de variation

II.5.2. Influence de l'espèce

Les résultats montrent que certaines espèces accumulent systématiquement plus de nitrates et de nitrites que d'autres. L'épinard, le mloukhié et l'ambunu présentent les concentrations les plus élevées, tandis que le concombre et le gombo affichent les valeurs les plus faibles. Cette tendance est en adéquation avec la littérature, où les légumes-feuilles sont connus pour concentrer davantage les nitrates et nitrites en raison de leur surface foliaire étendue, de leur rapidité de croissance, et de leur capacité physiologique à stocker les nitrates [6].

II.5.3. Influence du site/localisation

La localisation des cultures influence significativement les teneurs. Les sites de Gonba et Bakara présentent les valeurs moyennes les plus élevées pour les nitrates et les nitrites, tandis que Mandelia

enregistre les concentrations les plus faibles. Ces différences pourraient être liées à la composition du sol, à la qualité de l'eau d'irrigation, et à la proximité de sources de pollution. L'exposition au soleil et les conditions climatiques locales peuvent également affecter l'accumulation de nitrates et la conversion en nitrites.

II.5.4. Influence possible des pratiques agricoles

Les pratiques agricoles telles que la fertilisation azotée, la fréquence et le type d'irrigation, ainsi que la méthode de récolte et de stockage, jouent un rôle déterminant dans la concentration de ces composés. Une fertilisation excessive ou rapprochée de la récolte peut entraîner des teneurs élevées, tandis que des pratiques optimisées pourraient réduire l'accumulation. Ces facteurs justifient l'importance de sensibiliser les producteurs sur les bonnes pratiques agricoles, afin de limiter les risques sanitaires.

II.6. Discussion des résultats

II.6.1. Comparaison avec d'autres études

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude montrent que les teneurs en nitrates et nitrites mesurées dans les légumes consommés à N'Djamena restent globalement inférieures aux valeurs maximales rapportées dans plusieurs études étrangères, bien que certaines espèces présentent des niveaux notables.

En Tunisie A. Nasraoui et al. [7] ont observé des concentrations en nitrates variant entre 1 870 et 2 032 mg/kg, soit des valeurs supérieures à celles obtenues dans cette étude. Des concentrations encore plus élevées ont été rapportées en Estonie, notamment dans les épinards où les teneurs atteignaient 2 508 mg/kg. De même, une étude menée en Slovénie par Kmecl et al. [8] a montré des concentrations comprises entre 1 000 et 7 600 mg NO_3^- /kg, dépassant dans 17 % des cas les limites fixées par la réglementation européenne pour la roquette et les épinards.

En Croatie, une étude similaire menée par Luetic et al. (2023)[9] a montré des teneurs en nitrates comprises entre 2,1 et 4 526 mg/kg et des concentrations en nitrites atteignant 537 mg/kg, suggérant une conversion partielle des nitrates en nitrites lors du stockage des échantillons.

Dans un contexte plus proche du Tchad, Onyesom et Okoh (2006) [10] ont rapporté au Nigéria des teneurs variant entre 210 et 1 150 mg NO_3^- /kg dans des légumes fréquemment consommés tels que *Amaranthus* sp., *Talinum triangulare* et *Vernonia amygdalina*. Ces concentrations, bien qu'inférieures aux seuils critiques européens, traduisent une contamination significative probablement liée à l'utilisation excessive d'engrais azotés.

Enfin, Shaban et al. (2023) [11] ont mis en évidence en Palestine une double contamination : les eaux d'irrigation contenaient entre 58,3 et 178,4 mg/L de nitrates, tandis que les légumes racines (carottes, pommes de terre, courgettes) présentaient des teneurs comprises entre 237 et 276 mg NO_3^- /kg. Cette exposition combinée a été associée à un taux de 32 % de méthémoglobinémie chez les nourrissons, soulignant les risques sanitaires liés à une consommation prolongée de denrées contaminées.

Ainsi, les teneurs mesurées dans cette étude, bien qu'inférieures à certaines valeurs critiques rapportées dans d'autres pays, confirment la présence non négligeable de nitrates et nitrites dans les légumes locaux, traduisant une pollution azotée d'origine anthropique, probablement liée à la fertilisation intensive et à la qualité des eaux d'irrigation.

II.6.2. Explication des anomalies

Certaines valeurs aberrantes, comme la très faible teneur en nitrites du concombre de Mandelia (0,14 mg/kg), peuvent s'expliquer par la nature de l'espèce, la maturité des légumes ou le moment et la technique de prélèvement. De même, des valeurs extrêmement élevées dans certaines espèces peuvent résulter d'une fertilisation azotée excessive, d'une irrigation avec de l'eau riche en nitrates, ou d'un stockage prolongé favorisant la conversion en nitrites.

Par ailleurs, les pratiques culturelles locales, notamment l'usage non maîtrisé d'engrais organiques ou minéraux, peuvent accentuer ces variations. Les conditions pédoclimatiques, comme l'humidité du sol ou l'exposition au soleil, influencent également l'accumulation. Enfin, des erreurs de

manipulation lors du transport ou du broyage des échantillons peuvent aussi modifier les teneurs mesurées.

Conclusion

Cette étude visait à évaluer les teneurs en nitrates et nitrites dans certaines espèces de légumes-feuilles et fruits consommés dans la ville de N'Djamena, afin d'en estimer les risques sanitaires potentiels pour les consommateurs. Cinq espèces ont été analysées sur différents sites de production et de vente : l'épinard, le mloukhié, l'oseille, l'ambunu et le concombre.

Les résultats obtenus montrent que tous les échantillons contiennent des teneurs mesurables en nitrates et nitrites, cela confirme la première hypothèse. Les concentrations moyennes en nitrates varient considérablement selon les espèces, avec des valeurs allant de quelques centaines à plus de 1600 mg/kg de matière fraîche. Les légumes-feuilles (épinard, mloukhié, ambunu) présentent les niveaux les plus élevés, tandis que les fruits-légumes (gombo, concombre) affichent des teneurs plus faibles.

Concernant les nitrites, les valeurs mesurées, bien qu'inférieures à celles des nitrates, dépassent parfois les seuils tolérés par la FAO/OMS, notamment dans le mloukhié (4,493 mg/kg) et l'oseille (jusqu'à 5,283 mg/kg selon le site). L'analyse comparative par site a mis en évidence des différences significatives : les sites de Bakara et Kournari présentent les teneurs les plus élevées, tandis que Mandelia enregistre les plus faibles. Ces disparités confirment la seconde hypothèse selon laquelle les concentrations varient selon les espèces et les sites.

L'évaluation des teneurs observées au regard des normes internationales indique que certaines espèces dépassent les limites fixées. Même si la majorité des échantillons restent dans des plages acceptables, la consommation fréquente de légumes riches en nitrates pourrait entraîner une exposition journalière dépassant la DJA, surtout chez les enfants et les populations sensibles. Ce constat valide la troisième hypothèse et met en évidence un risque potentiel pour la santé publique, notamment le risque de méthémoglobinémie et la formation de composés nitrosés cancérigènes.

Nous envisageons dans nos travaux futurs : d'élargir l'étude aux autres végétaux et à d'autres sites, en prenant en compte des zones rurales et périurbaines ; mener des études saisonnières afin d'apprécier les variations des concentrations en fonction des conditions climatiques.

Nous suggérons aux autorités sanitaires; un contrôle régulier des légumes et fruits commercialisés, notamment sur les marchés urbains. Aux producteurs l'utilisation d'engrais organiques compostés.

Références bibliographiques

- [1] S. Iboukhoulé & K. Saigh, M. Khouas, M. Labdaoui, H. Amnache. Teneur résiduelle des nitrites et nitrates dans les produits d'origine animale commercialisés, mémoire soutenue à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 01/07/2024,
- [2] Ana Maria Dodocioiu, Gilda-Diana Buzatu, Mihai Botu, Nitrates and Nitrites in Vegetables and the Health Risk *Foods* 2025, 14(17), 3037 ; <https://doi.org/10.3390/foods14173037>
- [3] F Di Gioia, M Renna, P Santamaria , *springerNature Link*, Sprouts, Microgreens and “Baby Leaf” Vegetables Chapter First Online: 13 May 2017 pp 403–432 .
- [4] Fifty-ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives meeting held in Geneva from 4 to 13 June 2002.
- [5] Santamaria, Pietro, *Journal des sciences de l'alimentation et de l'agriculture*, Nitrates dans les légumes : toxicité, teneur, apports et réglementation CE Janvier 200686(1):10-17 DOI : 10.1002/jsfa.2351
- [6] Afef Nasraoui-Hajaji, Chiraz Chaffei-Haouari, Mohamed Habib Ghorbel & Houda Gouia (2011) La réversibilité des effets du cadmium sur les différents paramètres de la croissance chez la tomate cultivée en présence de NO_3^- ou NH_4^+ , *Acta Botanica Gallica*, 158:4, 499-512, DOI: 10.1080/12538078.2011.10516291.
- [7] A. Nasraoui, M. Hamdaoui, A. Hedhili *revue, Tunisienne de Biologie clinique* Evaluation des concentrations des nitrates dans les légumes frais Publiée 2024-01-17, No 24 (2011).

- [8] Kmecl, Veronika, Znidarcic, Dragan, Franić, Mario, Goreta Ban, Smiljana, Contamination des légumes par les nitrates et les nitrites sur le marché slovène Avril 2019 Additifs alimentaires et contaminants : Surveillance de la partie B 12(3):1-8 DOI : 10.1080/19393210.2019.1600589
- [9] Sanja Luetic, Zlatka Knezovic, Katarina Jurcic, Zrinka Majic, Ksenija Tripkovic, Davorka Sutlovic :Leafy Vegetable Nitrite and Nitrate Content: Potential Health Effects, *Foods* 2023 , 12 (8), 1655 ; <https://doi.org/10.3390/foods12081655>
- [10] Onyesom , P N Okoh Quantitative analysis of nitrate and nitrite contents in vegetables commonly consumed in Delta State, Nigeria 2006 Nov;96(5):902-5. doi: 10.1017/bjn20061915
- [11] *Shaban, J., Al-Najar, H., Kocadal, K., Almgbari, K., & Saygi, S. (2023). The Effect of Nitrate-Contaminated Drinking Water and Vegetables on the Prevalence of Acquired Methemoglobinemia in Beit Labia City in Palestine. Water, 15(11), 1989. <https://doi.org/10.3390/w15111989>*