BJMS
www.batnajms.net

Batna Journal of Medical Sciences 2025;12(4):xx
https://doi.org/10.48087/BJMSoa.2025.124xx

ORIGINAL ARTICLE

Exposure to Nitrites Present in Commercially Available Processed Meats in Annaba

Fazia KERKOUB[1,2], Yasmine BENLEULMI[1], Salima HELLAL[1,2], Rayene SOUALEM[1], Rachid DJAFER[1,2]

ABSTRACT

Introduction: Nitrite salts are essential for the microbiological safety of processed meats, particularly for protection against botulism. However, they raise toxicological concerns due to their suspected role in colorectal cancer development. This study aimed to determine nitrite levels directly originating from food additives and to estimate consumer exposure risk based on the obtained data. **Methods**: Ten processed meat products (cachir, salami, pâté, and luncheon meat) from various local and imported brands were analyzed using the Griess spectrophotometric method following thermal extraction. In parallel, an online survey (n = 411) was conducted to estimate daily nitrite intake by age and sex among 220 active consumers of these products. **Results**: Nitrite concentrations ranged from 2.4 to 88.9 mg NO_2^-/kg, with a mean of 36.9 ± 22.6 mg/kg. All samples were below regulatory limits established by Algerian and European standards (150 mg/kg). Estimated average intakes were below the acceptable daily intake (ADI) established by WHO at 70 µg/kg body weight/day for all study groups but reached up to 68% of the ADI among children aged 1–5 years, indicating a narrow safety margin. Cachir and salami, which contained higher nitrite concentrations, were identified as the primary contributors to exposure, particularly among younger consumers. **Conclusion**: These findings warrant confirmation using more specific analytical techniques such as liquid chromatography. Future studies should focus on measuring nitrates as indirect precursors of nitrites. Special attention should be directed toward frozen meat-based products to optimize industrial formulations and enhance parental awareness to reduce childhood exposure.

Keywords: Nitrites, processed meat, spectrophotometric determination, dietary survey, hazard.

1- Pharmacy Department, Faculty of medicine, Badji Mokhtar Annaba University, Algeria. 2- Laboratory of Medical Toxicology - Ibn Sina University Hospital - Annaba – Algeria.

Received: 28 Aug 2025
Accepted: 03 Oct 2025

Correspondance to: Yasmine BENLEULMI
E-mail : benleulmi.yasmine.pharma@gmail.com

1. INTRODUCTION

Depuis l'Antiquité, diverses techniques comme la salaison, le fumage et le séchage ont permis de conserver la viande. Les produits de charcuterie modernes intègrent plusieurs additifs tels que les phosphates, certains colorants et exhausteurs de goût, souvent discutés pour leurs effets sanitaires [1,2].

L'utilisation du salpêtre puis l'autorisation du nitrite de sodium en 1925 ont marqué un tournant : ces sels assurent la couleur rosée, accélèrent la maturation et inhibent notamment la croissance de *Clostridium botulinum* [3,4]. Toutefois, malgré leur rôle technologique essentiel, l'usage des nitrites soulève des inquiétudes de santé publique. En 2015, le CIRC a classé la viande transformée comme cancérogène avéré (groupe 1) [5]. Plusieurs méta-analyses confirment une augmentation du risque de cancer colorectal [6,7],

attribuée à la formation de composés N-nitrosés génotoxiques comme la NDMA et la NDEA [8–10]. D'autres travaux rapportent une association entre la consommation élevée de charcuterie et le risque accru de diabète de type 2 et de maladies cardiovasculaires [11–13]. Enfin, les effets aigus des nitrites incluent la méthémoglobinémie infantile et l'hypotension [14,15].

En Algérie, la charcuterie locale ou importée constitue une source accessible et largement consommée, mais les données publiques restent limitées quant aux teneurs effectives en nitrites et au niveau réel d'exposition de la population.

Objectif : La présente étude vise à doser les nitrites issus de l'additif alimentaire uniquement dans un échantillon de charcuteries commercialisées en Algérie et à estimer l'exposition quotidienne des consommateurs, en la comparant à la dose journalière admissible (DJA) [16].

2. MATÉRIEL & MÉTHODES

Enquête par E-questionnaire

Une enquête a été réalisée via un questionnaire diffusé en ligne et renseigné en face à face afin d'explorer les fréquences de consommation des charcuteries chez les adultes et les enfants algériens ainsi que le profil socio-démographique des consommateurs.

Échantillonnage

Dix produits de différents types de charcuterie, de marques différentes, locales et importées (tableau 1), ont été choisis selon les préférences déclarées par les répondants au questionnaire et selon l'offre réelle disponibles dans la wilaya d'Annaba. Les échantillons ont été achetés entre le 15 janvier et le 19 mai 2025. Il est à signaler que nous n'avons pas noté la présence de plusieurs marques locales, en conséquent deux marques uniquement sont concernées, face à une marque étrangère.

Matériel utilisé pour le dosage

Les réactifs chimiques utilisés sont : Nitrite de Sodium (SIGMA-ALDRICH®), Sulfaniamide (LOBA CHEMIE PVT®), N-(1-Naphthyl) éthylènediamine dihydrochloride (NED) (FLUKA®), Hydroxyde de sodium (NaOH) (SPECILAB®), Sulfate de zinc (ZnSO4) et Acétate d'ammonium (FLUKA®). Tous les réactifs sont de qualité analytique et ont une pureté ≥ 99 %.

Nous avons eu recours au matériel standard de laboratoire comme : Micropipette réglable de (100–1000 µL, SCILOGEX®), pipettes en verre 10 mL et 20 mL, papier filtre, baromagnétiques, fioles jaugées de 10 mL, 100 mL et 250 mL, Erlenmeyers, bécher, flacons, entonnoir, papier filtre Ø100 mm (SophyTC Socolab, réf. 1FCSTA100), hachoir, bain marie, Agitateur magnétique/Plaque chauffante, balance analytique (OHAUS®), Spectrophotomètre UV-visible (JENWAY 6300®).

Méthode de dosage des nitrites par technique spectrophotométrique

Nous avons utilisé la méthode de dosage des nitrites basée sur la réaction de Griess. Le Journal officiel de la République Algérienne n°43, daté du 28 juin 2006 [17], décrit une méthode nationale normalisée pour le dosage des nitrites résiduels dans les produits carnés ; toutefois, certains réactifs requis par ce protocole n'étaient pas disponibles au laboratoire au moment de l'analyse.

Nous avons donc effectué le dosage conformément à la méthode de référence publiée par la Korea Food Industry Association (KFIA, 2012) [18]. Cette méthode repose sur la diazotation des ions nitrite par le sulfanilamide, suivie du couplage avec le NED pour former un complexe azoïque rose, dont l'absorbance est mesurée par spectrophotométrie à 540 nm. Tous les échantillons ont été traités en double dans les quatre heures suivant leur préparation.

Préparation des réactifs et gamme d'étalonnage

Une solution mère (SM) de nitrite de sodium a été préparée à une concentration de 100 mg/L dans 10 mL d'eau distillée. Une solution fille (SF) à 25 mg/L a servi pour la préparation de la gamme d'étalonnage incluant les points suivants : 0,2 ; 0,5 ; 1 ; 5 ; 8 et 12,5 mg/L. Le sulfanilamide a été utilisé à une concentration de 0,5 % et le (NED) a été préparé à raison de 1 g/L. D'autres solutions utilisées incluent le (NaOH) à 0,5 mol/L, le ($ZnSO_4$) à 12 % (soit 120 g/L), ainsi que l'acétate d'ammonium à une concentration de 100 g/L. La courbe d'étalonnage utilisée a été obtenue à partir de la moyenne de deux courbes d'étalonnage (Figure 1) avec un coefficient de détermination R^2 égal à 0,999.

Extraction et détermination des concentrations en nitrites

10 g de produit de charcuterie finement haché ont été pesés puis introduits dans un ballon de 200 mL, auxquels ont été ajoutés 150 mL d'eau distillée, 10 mL de NaOH 0,5 M et 10 mL de $ZnSO_4$ 12 %. Le mélange a été chauffé à 80 °C pendant 20 minutes à l'aide du

bain marie puis refroidi à température ambiante. Nous avons ensuite ajouté 20 mL d'acétate d'ammonium et complété le volume à 200 mL avec de l'eau distillée.

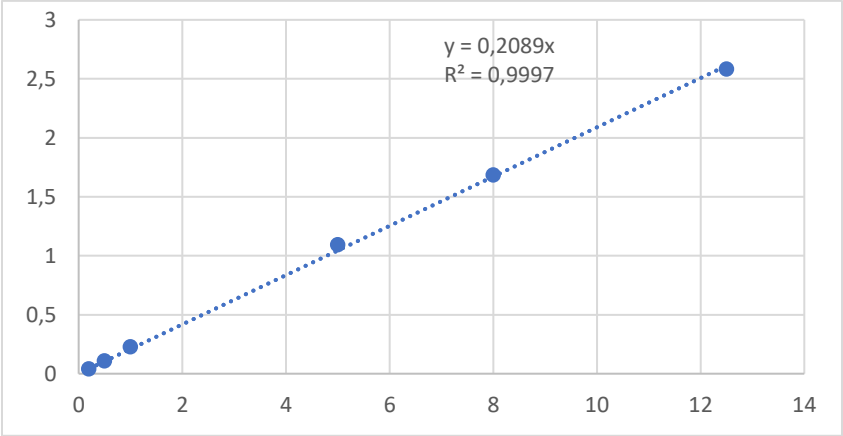

Figure 1. Courbe d'étalonnage moyenne du dosage des nitrites.

Après filtration sur papier 100 mm, 20 mL du filtrat ont été transvasés dans un erlenmeyer puis additionnés de 1 mL de sulfanilamide et 1 mL de NED. La coloration a été conservée pendant 20 minutes à l'abri de la lumière avant de mesurer l'absorbance du complexe azoïque à 540 nm contre un blanc réactif. La concentration en nitrite a finalement été calculée par interpolation sur la courbe d'étalonnage.

Méthode de l'estimation du risque d'exposition

Dans le but d'évaluer l'apport en nitrites, on a effectué une estimation de l'ingestion journalière chez les consommateurs seulement (IJE consommateur) par multiplication de la concentration moyenne (C moy) des nitrites présents dans chaque produit de charcuterie dosé, par la consommation alimentaire moyenne chez les consommateurs (C alim moy cons). Les données ont été stratifiées par tranche d'âge et par sexe. L'étude a respecté les principes de la Déclaration d'Helsinki. Les participants ont été informés et leur anonymat garanti.

Pour estimer le risque sanitaire lié à l'ingestion journalière de nitrites, nous avons appliqué les équations issues de la Korean Health and Nutrition Survey **(**KHNS**)** [19], décrites par l'OMS dans le manuel WHO/IPCS EHC 240 [20].

$$\boldsymbol{IJE\ consommateur} = \sum \boldsymbol{C\ moy} \times \boldsymbol{C\ alim\ moy\ cons} \quad \textbf{(1)}$$

$$\boldsymbol{IJE\ consommateur} = \frac{\sum \boldsymbol{C\ moy} \times \boldsymbol{C\ alim\ moy\ cons})}{\boldsymbol{Poids\ corporel}} \quad \textbf{(2)}$$

Faute de tables de poids corporels officielles pour l'Algérie, nous avons adopté les valeurs de référence européennes pour la conversion en µg kg p.c^{-1} j^{-1} des IJE (2) **:** 70 kg pour les hommes et 60 kg pour les femmes [21,22], ainsi que les poids médians recommandés pour les enfants (15 kg pour 1-5 ans, 32 kg pour 6-12 ans et 60 kg pour 13-16 ans) [20,22].

La consommation journalière de charcuterie a été estimée pour chaque répondant en tenant compte du nombre de tranches consommées par repas, du poids moyen d'une tranche (10 g), de la fréquence de consommation (exprimée en consommations par semaine), et du nombre moyen de repas concernés (deux repas par jour).

Méthode de calcul :

Pour chaque catégorie de charcuterie (cachir, salami, jambon, etc.), nous avons relevé deux variables :

- **C_i** : concentration moyenne de nitrite (mg NO_2^-/kg produit)
- **$C_{alim\ moy\ cons}$** : consommation moyenne chez les consommateurs (kg/jour)

Pour chaque produit *i* :

Ingestion journalière estimée en µg j^{-1} conso^{-1} :

$$IJE\ consommateur = \sum Ci\ moy\ \times\ C\ alim\ moy\ cons \quad (1)$$

Ingestion journalière estimée en µg kg p.c^{-1} j^{-1} :

$$IJE\ consommateur = \frac{\sum Ci\ moy\ \times\ C\ alim\ moy\ cons}{Poids\ corporel} \quad (2)$$

$C_{alim\ moyi}$ (g/jour) = nbr de tranches x masse par tranche (estimée 10 g) x 2 (repas/j) x fréquence (nbr de jours/semaine) *

Fréquence : Si un sujet sélectionne « De temps en temps », l'hypothèse a été assimilée à un repas tous les trois mois.

Nbr de tranches : Si un sujet sélectionne « > 5 tranches/repas », l'hypothèse a été assimilée à six tranches.

• Le facteur × 1000 convertit les mg en µg.

Ces formules ont été appliquées à chaque ligne des tableaux Excel.

Analyse des données Les données issues du questionnaire ont été traitées à l'aide de Microsoft Excel 2016.

3. RÉSULTATS

Résultats de l'enquête

Profil socio-démographique des consommateurs : 411 personnes ont répondu au questionnaire, 67 (16,3 %) hommes, 274 (66,7 %) femmes, 70 (17 %) enfants). Parmi les 411 répondants, seuls 220 (53,5 %) déclarent consommer de la charcuterie. Les consommateurs sont très majoritairement des femmes (64,1 %), tandis que les hommes ne représentent que 15,9 % de l'échantillon.

Distribution par tranches d'âge : Le profil d'âge diffère selon le sexe : chez les hommes, près de la moitié des consommateurs ont plus de 40 ans (48,6 %), tandis que chez les femmes, la tranche < 30 ans est la plus représentée (43,3 %). La sous-population des femmes enceintes reste restreinte (n = 6) ; néanmoins, la majorité (83,3 %) se situe entre 30 et 40 ans, ce qui correspond à la pyramide des âges attendue pour les grossesses dans la population algérienne urbaine.

Niveau d'instruction des consommateurs : voir Figure 2.

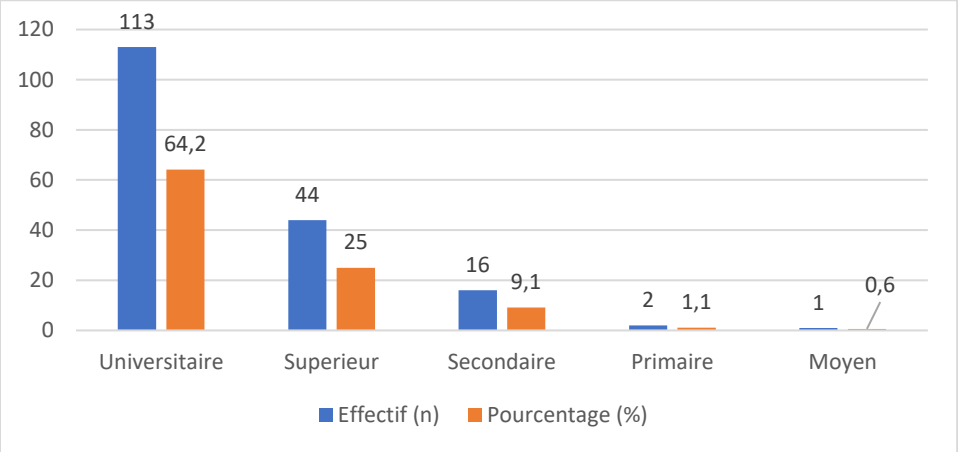

Figure 2. Profil académique des consommateurs.

Consommation chez les enfants : 44 (62,85 %) enfants (1–16 ans) parmi 70 consomment les charcuteries avec une distribution d'âge relativement homogène : 29,5 % chez les moins de 5 ans, 34,1 % chez les 6–12 ans et 36,4 % chez les adolescents de 13–16 ans.

Motifs de non-consommation : Chez les adultes non-consommateurs (n = 168), la toxicité perçue est la raison dominante (63,7 %), loin devant le dégoût du goût (22 %) ou les allergies (3 %). Pour les enfants, le motif principal évoqué par les parents est « je ne leur permets pas » (54,3 %), suivi de la toxicité (31,4 %).

Fréquence de consommation : 81 % des consommateurs déclarent avoir une consommation « de temps en temps » et des portions de 1 à 3 tranches par repas, soit 40 %.

Résultats du dosage des nitrites : tableau 1.

Tableau 1. Résultats des dosages en nitrites dans les échantillons de produits de charcuterie.

N° ech	Marque	Type	C_{finale} (mg/kg)
01	M1	Salami	35.86
02	M2	Salami	61.19
03	M1	Cachir	88.94
04	M2	Cachir	55.50
05	M	Lunchoen	16.48
06	M1	Jambon de dinde	4.42
07	M3	Salami	5.95
08	M2	Jambon de dinde fumé	2.42
09	M	Pâté	44.81
10	M	Rôti	53.18

M : Marque

Apports en nitrites estimés selon la fréquence de consommation : tableau 2 et tableau 3.

Tableau 2 : Apport quotidien estimé en (µg NO_2^- kg p.c^{-1} j^{-1}) chez les hommes et les femmes.

N° ech	IJE_{tcons} (µg kg p.c^{-1} j^{-1}) Hommes	IJE_{tcons} (µg kg p.c^{-1} j^{-1}) Femmes	IJE_{tcons} (µg kg p.c^{-1} j^{-1}) Femmes enceintes
1	4.62	1.43	0.39
2	NR	3.36	NR
3	9.13	3.35	4.89
4	NR	0.41	NR
5	NR	0.52	0.16
6	NR	0.45	NR
7	NR	NR	NR
8	NR	NR	NR
9	4.10	1.13	1.58
10	NR	0.39	NR

*Non Renseigné (NR) signale qu'aucun répondant du sous-groupe n'a déclaré consommer le produit concerné.

Nombre de tranches de charcuteries nécessaires pour atteindre la DJA **:** tableau 4.

4. DISCUSSION

Discussion des résultats de l'enquête

Profil socio-démographique des consommateurs

Cette surreprésentation féminine peut refléter une implication plus importante des femmes dans l'alimentation du foyer ; elle peut aussi traduire un biais d'auto-sélection, les femmes, souvent plus concernées par la nutrition familiale et les premières concernées par l'achat ou la préparation des repas, auraient davantage répondu à ce questionnaire en ligne.

Tableau 3. Apport quotidien estimé en nitrites chez les enfants (1–16 ans, n = 70) selon le type de produit estimé en (µg NO_2^- kg p.c^{-1} j^{-1}).

	IJE_{tcons} (µg/kg p.c/j)		
N°ech	**1-5 ans**	**6-12 ans**	**13-16 ans**
01	NR	0.62	0.4
02	42.07	NR	NR
03	3.40	4.42	2.73
04	NR	NR	NR
05	0.48	2.43	0.41
06	NR	NR	NR
07	NR	NR	NR
08	NR	NR	NR
09	1.71	0.98	0.56
10	NR	NR	NR
Total	47.66	8.45	4.1

Tableau 4. Nombre de tranches (10 g) nécessaires pour atteindre la DJA en nitrites.

N° éch	**Nombre de tranches**	
	Adulte de 70 kg	**Enfant de 20 kg**
1	14	4
2	8	2
3	**5.5**	**1.5**
4	8	2.5
5	29	8
6	44	31
7	81	23
8	204	58
9	10	3
10	9	2.6

Consommation des enfants

La tranche d'âge de 1-5 ans soulève des inquiétudes particulières : d'une part, les jeunes enfants ont des besoins énergétiques proportionnellement plus élevés et peuvent ingérer, à portions égales, une dose de nitrites plus importante par kilogramme de poids corporel que les plus âgés ; d'autre part, leurs capacités métaboliques sont encore immatures, ce qui accroît le risque de méthémoglobinémie et la formation endogène de nitrosamines.

Motifs de non-consommation

La majorité des non-consommateurs (63,7 %) de charcuterie ont déclaré une raison de risque toxique, cet écart peut être justifié par le niveau d'instruction majoritairement supérieur des consommateurs (n=113 ; 64,2 %) et l'image médiatisée dans les réseaux sociaux sur les produits carnés transformés, cela illustre à la fois la préoccupation sanitaire et le contrôle parental soucieux sur l'alimentation des plus jeunes.

Types consommés

Les données de l'enquête révèlent une polarisation marquée des habitudes alimentaires : plus de la moitié des citations se concentre sur deux charcuteries émulsifiées cuites, le cachir (28,9 %) et le pâté (24,2 %), dont la facilité d'accès et le faible coût, en font les premiers vecteurs potentiels d'exposition aux nitrites. Derrière ce duo dominant, un bloc intermédiaire de produits plus différenciés ; luncheon (10,7 %), salami (7,4 %), rôti (7,1 %) et viande fumée (6,3 %), témoigne d'une diversification progressive des goûts, portée par la quête de saveurs « authentiques » (fumage, rôtissage) ou d'un positionnement premium (luncheon). Viennent ensuite des

charcuteries souvent consommées sur le pouce ou ciblant un public plus jeune, telles que la mortadelle, le hot-dog et le jambon de poulet, qui représentent ensemble 11,8 % des réponses. Enfin, les produits de « queue de distribution » (corned-beef, chawarma, galantine ; < 4 % au total) ont un impact marginal sur la prévalence. Cette hiérarchie met en lumière l'importance stratégique de concentrer les efforts de surveillance sur les charcuteries émulsifiées cuites, qui selon les données contiennent le taux le plus élevé en nitrites [23], tout en intégrant la diversité croissante de l'offre afin d'éviter toute sous-estimation du risque d'exposition aux nitrites dans la population algérienne.

Fréquence, portion et habitudes culinaires

81 % des consommateurs déclarent avoir une consommation « de temps en temps » et des portions de 1 à 3 tranches par repas, soit 40 %. Or, même des consommations apparemment faibles peuvent conduire à un dépassement de la dose journalière admissible (DJA) en nitrites lorsque les concentrations résiduelles sont élevées. Enfin, 72 % des consommateurs disent avoir « le temps de cuisiner », ce qui pourrait ouvrir la voie à des stratégies de substitution (préparer soi-même des alternatives à faible teneur en nitrites). Une étude réalisée en 2016 a indiqué que les viandes transformées sont consommées chaque jour par près de 37 % des sondés et les viandes congelées par près de 23,3 % des consommateurs algériens [24]. Des études ont mentionné que les pays du nord méditerranéen sont reconnus pour leur plus faible consommation de viande et leur plus faible incidence du cancer du côlon et des maladies cardiovasculaires en comparaison avec les pays du nord de l'Europe [24].

Discussion des résultats du dosage

Tous les échantillons ont présenté une teneur détectable en nitrites, soit un taux de détection de 100 %. Les concentrations finales restent inférieures à la limite réglementaire de 150 mg/kg fixée pour les produits carnés standards, indiquant une conformité générale aux normes en vigueur.

Les dix échantillons de charcuteries analysés présentent des concentrations résiduelles en nitrites comprises entre 2,4 mg NO_2^-/kg et 88,9 mg NO_2^-/kg, pour une moyenne de 36,9 ± 27,6 mg NO_2^-/kg. Ces valeurs demeurent nettement inférieures au plafond actuellement applicable en Algérie de 150 mg NO_2^-/kg [6] et, surtout, se situent également sous la nouvelle limite réglementaire européenne de 120 mg NO_2^-/kg qui entrera en vigueur le 9 octobre 2025 [25]. L'échantillon le plus concentré (n° 03, 88,9 mg /kg) reste donc conforme.

La dispersion des données est marquée, le coefficient de variation avoisine 79 %, signe d'une hétérogénéité substantielle entre produits. Une partie de cette variabilité reflète la diversité des procédés : les charcuteries émulsionnées cuites (p. ex., cachir, mortadelle) reçoivent souvent un surdosage initial pour garantir la couleur et la sécurité vis-à-vis de *Clostridium botulinum* [4], les charcuteries cuites non émulsionnées (jambon, rôti) présentent généralement des teneurs intermédiaires, la cuisson et le conditionnement sous vide accélérant la dégradation des nitrites [26], les charcuteries fermentées puis séchées (salami, saucisson) affichent les concentrations résiduelles les plus faibles, la fermentation et la perte d'eau favorisant la conversion des nitrites [27]. Enfin, les produits crus salés ou fumés (lard, pancetta) peuvent conserver des taux variables selon la durée de maturation [26]**.** Cette variabilité peut s'expliquer par la diversité des catégories de charcuteries, la cinétique de dégradation des nitrites au cours du stockage et des pratiques industrielles distinctes (ex. surdosage de sécurité). Une étude réalisée à Tizi-Ouzou en 2024 a rapporté que seuls 13 % (n=4) respectaient les normes en matière de teneur en nitrites et en nitrates, et que 43,3 % des produits analysés avaient des valeurs inférieures à 100 mg/kg, les échantillons non conformes étaient de type cordon bleu et bâtonnets de daurade [28]. Notons que nous n'avons pas inclus dans notre analyse les produits carnés surgelés.

Au niveau international, une étude autrichienne a conclu à des teneurs en nitrates et en nitrites des diverses charcuteries examinées, inférieures à la limite maximale autorisée fixée par *Food Standards Australia and New Zealand* (FSANZ), soit 125 mg/kg [29].

Ces résultats bas poussent également à réfléchir à la dose nécessaire pour la bonne conservation de ces produits. Des données mentionnent une concentration de 40 à 80 ppm est exigée pour empêcher la croissance de *Clostridium botulinum,* 20 à 50 ppm pour retarder le rancissement. De plus, une concentration de 10 à 15 ppm suffit pour obtenir une teinte rosée [30], tandis que 50 ppm sont nécessaires pour développer l'arôme caractéristique [31].

Une suppression ou une baisse du nitrite à 40 ppm ou même 60 ppm nécessite une vérification microbiologique sur les différentes bactéries pathogènes ciblées, *Bacillus cereus* et *Listeria monocytogenes* pour les charcuteries cuites, *Salmonella* et *Listeria* pour les salaisons sèches, *Clostridium botulinum* pour le jambon sec [32].

Discussion des résultats de l'estimation du risque d'exposition

Globalement, les apports journaliers estimés (IJE) en nitrites, calculés à partir des concentrations mesurées et des fréquences déclarées de consommation, restent inférieurs à la dose journalière admissible de l'OMS (DJA = 0,07 mg NO_2^- kg p.c.$^{-1}$ j^{-1}, soit 70 µg kg p.c.$^{-1}$ j^{-1}) pour tous les groupes étudiés, mais avec des marges de sécurité très variables, chez les hommes (n = 35), l'IJE cons atteint

17,9 µg kg p.c.$^{-1}$ j^{-1}, ce qui représente environ 25 % de la DJA. Le principal contributeur est le cachir (C = 88,94 mg kg^{-1}) qui, à lui seul, fournit plus de la moitié de l'exposition totale masculine (9,1 µg kg p.c.$^{-1}$ j^{-1}). Chez les femmes encore, le cachir domine (3,4 µg kg p.c.$^{-1}$ j^{-1}) devant le salami (1,4–3,4 µg kg p.c.$^{-1}$ j^{-1}) et le pâté (1,1 µg kg p.c.$^{-1}$ j^{-1}).

Concernant les femmes enceintes (n = 6), avec 7,0 µg kg p.c.$^{-1}$ j^{-1} (10 % de la DJA), les valeurs individuelles varient considérablement, allant de 0,2 µg NO_2^- kg p.c.$^{-1}$ j^{-1} à 4,9 µg NO_2^- kg p.c.$^{-1}$ j^{-1}.

Chez les enfants (1–16 ans, n = 44), l'hétérogénéité est marquée : 1-5 ans : 47,7 µg kg p.c.$^{-1}$ j^{-1} (60 % de la DJA), niveau le plus élevé de l'étude, dû principalement au salami fortement nitrité (C = 61,2 mg kg^{-1}) et au cachir (3,4 µg kg p.c.$^{-1}$ j^{-1} chacun). Dans le sous-groupe 1–5 ans, un seul enfant consommant du salami à 61,2 mg kg^{-1} atteint à lui seul 42 µg kg p.c.$^{-1}$ j^{-1} (60 % de la DJA), ce qui illustre la sensibilité de cette tranche d'âge.

Aucun groupe ne dépasse la DJA, mais les enfants de 1-5 ans affichent une marge de sécurité réduite (32 %) et pourraient dépasser la DJA si la consommation de produits fortement nitrités (salami, cachir) augmentait ne serait-ce que d'un repas additionnel par semaine.

Ces résultats montrent qu'un adulte de 70 kg dépasserait la DJA en consommant 5,5 tranches de cachir (échantillon 3 : le plus concentré en nirites) par jour, tandis qu'un enfant de 20 kg l'atteindrait dès 1,5 tranche.

Une étude coréenne, réalisée en 2016 sur un plus large échantillon de consommateurs (n=5064), a indiqué que les apports quotidiens estimés en nitrite provenant des viandes transformées représentaient 51,1 % de la dose admissible quotidienne. Cependant, chez les enfants âgés de 1 à 12 ans, les valeurs ont atteint 58,7 % à 91,1 % de la DJA [19].

Dans son Étude « Alimentation Totale Française (EAT 2) » publiée en 2011, l'ANSES a de ce fait estimé que « les nitrites ne représentent pas de risques de santé publique en France » après avoir constaté que la consommation de nitrites de la population française est bien inférieure à la dose journalière admissible [33].

Le risque subsiste, car il y a d'autres sources de nitrites comme l'eau et les légumes feuilles qui constituent des sources naturelles de nitrate alimentaire, tandis que les viandes salaisonnées représentent la principale source de nitrite d'origine alimentaire [29]. Des travaux analytiques très récents (2025) ont confirmé néanmoins la persistance de résidus nitrités, aux États-Unis, une enquête portant sur 1 132 produits (charcuteries et analogues végétaux) disponibles au détail a mis en évidence des teneurs médianes de 13,7 mg NO_2^-/kg, avec des pics à 214 mg/kg [34]. Une étude autrichienne, ayant utilisé la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS), a mis en évidence la N-nitrosodiphénylAmine dans tous les échantillons dès le jour 0 ; dans trois des cinq produits de charcuterie contenant des nitrites, ainsi que dans les deux produits n'en contenant pas. Les concentrations dépassaient la limite légale américaine de 10 µg kg^{-1} fixée pour les nitrosamines volatiles dans les denrées alimentaires [27].

Limites de l'étude : L'utilisation de poids corporels européens par défaut, faute de tables nationales algériennes officielles, constitue une limite considérable, mais notre choix est justifié par les données publiées par le ministère de la Santé en 2017 révélant que le poids corporel moyen des algériens se situe entre 70 et 75 kg [35]. De plus, la taille d'échantillon réduite (10 produits analysés) est insuffisante pour représenter la diversité du marché algérien, mais nous soulignons qu'il s'agit des produits disponibles dans le commerce à Annaba. Enfin, le recrutement via un questionnaire en ligne a induit une surreprésentation féminine et un biais d'exclusion de certaines catégories de population.

Limites analytiques et perspectives méthodologiques

Bien que la présente étude repose sur le dosage colorimétrique de Griess, reconnu pour son faible coût et sa facilité d'application en routine, il convient de souligner que d'autres techniques offrent une sensibilité et une sélectivité supérieures. C'est notamment le cas de la chromatographie ionique (CI) [36], de la chromatographie liquide haute performance couplée à la détection ultraviolette (HPLC-UV) [37], ainsi que, plus récemment, de l'extraction par dialyse suivie de la réaction de Griess validée par LC-UV [38] et de l'Ultra-Performance Liquid Chromatography–Mass Spectrometry (UPLC-MS) [39].

5. CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent que les concentrations en nitrites dans les produits de charcuterie analysés (2,4 à 88,9 mg/kg) étaient toutes conformes aux normes algériennes et européennes en vigueur (≤150 mg/kg). L'exposition estimée reste inférieure à la DJA de l'OMS pour tous les groupes étudiés. Toutefois, certaines situations particulières observées chez les jeunes enfants suggèrent que leur marge de sécurité pourrait être plus faible, ce qui mérite d'être examiné avec prudence compte tenu de la taille réduite de l'échantillon. De futures recherches devraient inclure un éventail plus large de produits (notamment surgelés) et intégrer des données locales sur les poids corporels afin d'affiner l'évaluation du risque. Il serait également pertinent d'explorer le rôle des nitrates alimentaires comme source indirecte de nitrites et d'étudier la formation potentielle de composés N-nitrosés.

Competing interests: The authors declare that they have no competing interest.

Funding: This research received no external funding.

REFERENCES

1. Codex Alimentarius Commission. General Standard for Food Additives (CODEX STAN 192-1995) [Internet]. Rome: FAO/WHO; 1995 [cited 2025 Feb 2]. Available from:https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B192-1995%252FCXS_192e.pdf
2. Ministère du Commerce (Algérie). Arrêté du 12 décembre 2012 fixant la liste des additifs alimentaires autorisés [Internet]. 2012 [cited 2025 Feb 2]. Available from: https://www.commerce.gov.dz/media/reglementation/source/doc-annexes/additifs-alimentaires/fr/annex1-dec12-214-fr.pdf
3. Pearson AM, Gillett TA. Processed Meats [Internet]. Boston, MA: Springer US; 1996 [cited 2025 Apr 20]. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4615-7685-3
4. Honikel KO. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. Meat Sci. 2008 Jan;78(1-2):68-76. doi: 10.1016/j.meatsci.2007.05.030.
5. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monographs evaluate consumption of red meat and processed meat [Internet]. Lyon: IARC; 2015 [cited 2025 Jul 13]. Available from: https://www.iarc.who.int/news-events/iarc-monographs-evaluate-consumption-of-red-meat-and-processed-meat/
6. Ungvari Z, Fekete M, Varga P, Lehoczki A, Munkácsy G, Fekete JT, et al. Association between red and processed meat consumption and colorectal cancer risk: a comprehensive meta-analysis of prospective studies. GeroScience. 2025 Apr 10;47(3):5123-40. doi: 10.1007/s11357-025-01646-1.
7. Chan DSM, Lau R, Aune D, Vieira R, Greenwood DC, Kampman E, et al. Red and processed meat and colorectal cancer incidence: meta-analysis of prospective studies. PLoS One. 2011;6(6):e20456. doi: 10.1371/journal.pone.0020456.
8. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC monographs on the identification of carcinogenic hazards to humans: list of classifications [Internet]. Lyon: IARC; [cited 2025 Mar 15]. Available from: https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications
9. McKnight GM, Duncan CW, Leifert C, Golden MH. Dietary nitrate in man: friend or foe? Br J Nutr. 1999 May;81(5):349-58. doi: 10.1017/s0007114599000683.
10. Zhang Y, Zhang Y, Jia J, Peng H, Qian Q, Pan Z, et al. Nitrite and nitrate in meat processing: Functions and alternatives. Curr Res Food Sci. 2023 Jan 1;6:100470. doi: 10.1016/j.crfs.2023.100470.
11. Gu X, Drouin-Chartier JP, Sacks FM, Hu FB, Rosner B, Willett WC. Red meat intake and risk of type 2 diabetes in a prospective cohort study of United States females and males. Am J Clin Nutr. 2023 Dec;118(6):1153-63. doi: 10.1016/j.ajcnut.2023.09.013.
12. Micha R, Wallace SK, Mozaffarian D. Red and processed meat consumption and risk of incident coronary heart disease, stroke, and diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. Circulation. 2010 Jun 1;121(21):2271-83. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.924977.
13. Qian F, Riddle MC, Wylie-Rosett J, Hu FB. Red and Processed Meats and Health Risks: How Strong Is the Evidence? Diabetes Care. 2020 Feb;43(2):265-71. doi: 10.2337/dci19-0063.
14. Greer FR, Shannon M, American Academy of Pediatrics Committee on Nutrition, American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health. Infant methemoglobinemia: the role of dietary nitrate in food and water. Pediatrics. 2005 Sep;116(3):784-6. doi: 10.1542/peds.2005-1497.
15. Fan AM, Steinberg VE. Health implications of nitrate and nitrite in drinking water: an update on methemoglobinemia occurrence and reproductive and developmental toxicity. Regul Toxicol Pharmacol. 1996 Feb;23(1 Pt 1):35-43. doi: 10.1006/rtph.1996.0006.
16. World Health Organization (WHO). JECFA: Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives – Nitrite [Internet]. Geneva: WHO; [cited 2025 Jul 21]. Available from: https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/Home/Chemical/711
17. Journal officiel de la République Algérienne. Arrêté du 28 juin 2006 fixant la méthode officielle de dosage des nitrites résiduels dans les produits carnés [Internet]. JORADP. 2006 Jun 28 [cited 2025 Feb 2]. Available from: https://www.joradp.dz
18. Ministry of Food and Drug Safety (Korea). Article 5. Standards and Specifications for Each Food Product [Internet]. [cited 2025 May 28]. Available from: https://www.mfds.go.kr/files/upload/eng/Article_5._Standards_and_Spefications_for_Each_Food_Product.pdf
19. Choi SH, Suh HJ. Determination and estimation of daily nitrite intake from processed meats in Korea. J Consum Prot Food Saf. 2017 Mar 1;12(1):15-22. doi: 10.1007/s00003-016-1066-9.
20. World Health Organization. Environmental health criteria 240: Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food. Chapter 6 [Internet]. Geneva: WHO; [cited 2025 Jun 16]. Available from: https://www.who.int/docs/default-source/chemical-safety/ehc240-chapter6-edited%284-1%29.pdf
21. European Commission. Technical Guidance Document on risk assessment in support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for new notified substances, Commission Regulation (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for existing substances and Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market [Internet]. Luxembourg: Publications Office of the European Union; [cited 2025 Jul 13]. Available from: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/212940b8-3e55-43f8-8448-ba258d0374bb
22. EFSA Scientific Committee. Guidance on selected default values to be used by the EFSA Scientific Committee, Scientific Panels and Units in the absence of actual measured data. EFSA J. 2012;10(3):2579. doi: 10.2903/j.efsa.2012.2579.
23. INRAE. Nitrites dans les charcuteries : état des connaissances sur les impacts santé et les alternatives [Internet]. [cited 2025 Jun 29]. Available from: https://www.inrae.fr/actualites/nitrites-charcuteries-etat-connaissances-impacts-sante-alternatives
24. Chikhi K. La consommation de produits carnés en Méditerranée: quelles perspectives pour l'Algérie? Cah Agric. 2016;25(6):65003. doi: 10.1051/cagri/2016046.
25. European Union. Regulation (EU) 2023/2108 of the European Parliament and of the Council of 4 October 2023 on food additives. Official Journal of the European

Union. 2023 Oct 4 [cited 2025 Jul 12]. Available from: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2108/oj

26. Toldrá F, editor. Handbook of fermented meat and poultry. Oxford: Blackwell Publishing; 2007.
27. Bak KH, Bauer S, Eisenreich C, Paulsen P. Residual Nitrite, Nitrate, and Volatile N-Nitrosamines in Organic and Conventional Ham and Salami Products. Foods. 2025 Jan 3;14(1):112. doi: 10.3390/foods14010112.
28. Ait Ouarab A, Ahmine I. Les additifs alimentaires : Nitrates, nitrites et risque du cancer [Master's thesis]. Tizi-Ouzou: Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou; 2023 [cited 2025 Jun 29]. Available from: https://dspace.ummto.dz/server/api/core/bitstreams/8bf6e93a-e2ea-457f-9bbf-ea0bbafab3f2/content
29. Hsu J, Arcot J, Lee NA. Nitrate and nitrite quantification from cured meat and vegetables and their estimated dietary intake in Australians. Food Chem. 2009 Jul 1;115(1):334-9. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.12.038.
30. Shakil MH, Trisha AT, Rahman M, Talukdar S, Kobun R, Huda N, et al. Nitrites in Cured Meats, Health Risk Issues, Alternatives to Nitrites: A Review. Foods. 2022 Oct 25;11(21):3355. doi: 10.3390/foods11213355.
31. Rivera N, Bunning M, Martin J. Uncured-Labeled Meat Products Produced Using Plant-Derived Nitrates and Nitrites: Chemistry, Safety, and Regulatory Considerations. J Agric Food Chem. 2019 Jul 24;67(29):8074-84. doi: 10.1021/acs.jafc.9b02377.
32. IFIP - Institut du porc. Etudes de l'IFIP sur les nitrites dans les charcuteries : où en est-on? [Internet]. 2019 [cited 2025 Jul 14]. Available from: https://ifip.asso.fr/actualites/etudes-de-lifip-sur-les-nitrites-dans-les-charcuteries-ou-en-est-on/
33. ANSES. Avis relatif à l'innocuité des nitrites et nitrates dans l'alimentation [Internet]. Maisons-Alfort: ANSES; 2006 [cited 2025 Jul 13]. Available from: https://www.anses.fr/fr/system/files/PASER2006sa0361Ra1.pdf
34. Sheng S, Silva EM, Tarté R, Claus JR. Residual nitrite and nitrate in processed meats and meat analogues in the United States. Sci Rep. 2025 Jan 25;15(1):3269. doi: 10.1038/s41598-025-87563-x.
35. Nadir D, Djamila A, Samira DT, Nadira DK, Moufida DB, Hassina DH, et al. Bureau de coordination de l'enquête: [Information incomplète - référence à compléter]
36. Analysis on Nitrite in Meat Products by Ion Chromatography [Internet]. [cited 2025 Jul 10]. Available from: https://scispace.com/papers/analysis-on-nitrite-in-meat-products-by-ion-chromatography-1mmwuiu46pm8
37. Dennis MJ, Key PE, Papworth T, Pointer M, Massey RC. The determination of nitrate and nitrite in cured meat by HPLC/UV. Food Addit Contam. 1990;7(4):455-61. doi: 10.1080/02652039009373904.
38. Sasaki T, Tahara S, Tanaka M, Mizumachi T, Yamajima Y, Miyakawa H, et al. Determination of Nitrite in Meat and Fish Products using Dialysis Extraction. Shokuhin Eiseigaku Zasshi. 2018;59(1):18-23. doi: 10.3358/shokueishi.59.18.
39. Almana HA, Gomaa EA. A rapid and sensitive evaluation of nitrite content in Saudi Arabian processed meat and poultry using a novel ultra performance liquid chromatography–mass spectrometry method. J Food Sci Technol. 2018 Apr;55(4):1691-6. doi: 10.1007/s13197-017-2908-x.