

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri
FACULTE DE MEDECINE
TIZI OUZOU



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة مولود معمري
كلية الطب
تيزي وزو

Département de Pharmacie
N° D'ordre :

٢٠٢٣/٢٠٢٢

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté sous forme d'article et soutenu publiquement
En vue de l'obtention du Diplôme de Docteur en Pharmacie

Le : 23/07/2023

Sous le Thème

**ÉVALUATION DE LA TENEUR DU CADMIUM MIGRÉ DANS LES JOUETS
EN PLASTIQUE PAR SPECTROMETRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE
FLAMME CONFORMEMENT A LA DIRECTIVE EUROPEENNE (EN71-
3 :2019)**

Réalisé par :

Melle. **HAMIDI Imane**
Melle. **HAMITOUCHE Kamilia**
Melle. **ZAATCHI Khaoula**

Encadré par :

Promoteur : **MEKACHER Lamine Redouane**
Maitre de conférences classe A en Toxicologie UMMTO
Co-promoteur : **YAMANI Arezki**
Assistant en Toxicologie CHU-TO

Membres du jury :

Dr SADOUS	Maitre-assistante	UMMTO	Présidente
Dr LAHMEK.K	Assistante	CHU-TO	Examinatrice

ANNEE UNIVERSITAIRE :2022/2023

Résumé

Objectif_ L'objectif de cette étude est l'évaluation de la teneur du cadmium migré dans les jouets en plastique qui peut s'avérer toxique, notamment en cas d'ingestion accidentelle par les enfants.

Méthodes_ Les échantillons ont été collectés d'une manière aléatoire dans les wilayas de Boumerdes et de Tizi Ouzou et analysés par spectrométrie d'absorption atomique flamme selon la directive européenne (EN 71-3 : 2019). La migration a été effectuée dans l'acide chlorhydrique (HCl) à 0,07 mol/l afin de simuler le milieu gastrique. Les résultats d'analyse ont été interprétés conformément aux normes de la directive européenne qui fixe la limite du cadmium à 17 mg/Kg pour la catégorie III : matière grattée.

Résultats et discussion_ Sur les cent quatorze (114) pièces analysées provenant de quatre-vingt-quatre (84) jouets, onze (11) étaient positives (9,64%). Les teneurs les plus élevées en cadmium ont été détectées dans les couleurs jaune, rouge, orange, verte, noire, blanche et grise dont 13,92% étaient positifs avec une valeur maximale de 54,19 mg/Kg détectée dans la couleur jaune. Toutes les pièces non conformes étaient usées, principalement des animaux (31,81%). À l'exception d'une seule pièce d'origine locale, toutes les pièces non conformes étaient importées (15,87%). Parmi l'ensemble des pièces de jouets certifiées CE, une était non-conforme.

Conclusion_ Il est primordial d'instaurer une réglementation rigoureuse et de renforcer le contrôle pour garantir la sécurité des jouets pour enfants.

Mots clés : Cadmium migré, jouets en plastique, enfants, SAA flamme, limite, directive européenne.

Abstract

Objective_ The aim of this study is to assess the content of cadmium migrated into plastic toys, which can be toxic, particularly in the event of accidental ingestion by children.

Methods_ Samples were collected randomly in the city of Boumerdes and Tizi Ouzou and were analysed by flame atomic absorption spectrometry in accordance with European guidelines (EN 71-3: 2019). Migration was carried out in 0.07 mol/l hydrochloric acid (HCl) to simulate the

gastric environment. The analytical results were interpreted in accordance with the European directive, which sets the cadmium limit at 17 mg/Kg for category III: scraped material.

Results and discussion_ Of the one hundred and fourteen (114) pieces analysed from eighty-four (84) toys, eleven (11) were positive (9.64%). The highest cadmium levels were detected in the yellow, red, orange, green, black, white and grey colors, of which 13,92% were positive, with a maximum value of 54.19 mg/Kg detected in the yellow color. All the non-compliant parts were worn-out, they were mainly animal toys (31.81%). With the exception of a single piece of local origin, all nonconforming parts were imported (15.87%). Of all the CE-certified toy parts, there is only one was non-compliant.

Conclusion_ Strict regulations and tighter controls are essential to guarantee the safety of children's toys.

Key words : Cadmium migrated, plastic toys, children, flame AAS, limit, European directives.

1. Introduction

Les jouets sont les articles les plus appropriés avec lesquels les enfants aiment se divertir. Ils sont définis par la réglementation algérienne et notamment la directive européenne comme étant tous produit conçu ou manifestement destiné à être utilisé à des fins de jeux par des enfants d'un âge inférieur à 14 ans par plusieurs façons(1-3). Ces articles présentent une grande importance dans le développement psychomoteur des enfants(4).

Les premiers jouets étaient fabriqués à partir de matériaux naturels tels le bois, le tissu et l'argile(5). Après la révolution industrielle, les fabricants ont opté pour le plastique comme principal matériau, d'une part pour le fait d'être facilement malléable en différentes formes et d'autre part en raison de sa disponibilité et son prix abordable(5). La matière plastique, est connue comme étant riche en substances chimiques toxiques essentiellement après sa dégradation tels que les phtalates, formaldéhydes, nitrosamines et notamment les métaux lourds dont : le cadmium (Cd), le plomb (Pb), l'arsenic (As), le zinc (Zn) et autres(1).

Les substances chimiques des jouets entrent en contact avec l'organisme des enfants de différentes manières de main en bouche par léchage ou ingestion favorisant l'interaction avec les enzymes digestives et avec l'acidité gastrique.

Le cadmium est l'élément chimique de numéro atomique « 48 » de la famille des métaux de transition, industriellement utilisé comme colorant et stabilisant pour la matière plastique. Son effet bioaccumulatif est considérablement élevé chez les enfants après contact avec des jouets non conformes. L'exposition aiguë par voie digestive provoque une simple gastro-entérite avec diarrhée, vomissements et des douleurs abdominales jusqu'à des gastro-entérites hémorragiques et parfois l'anurie, des myalgies, insuffisance rénale aigue lors d'intoxications massives et décès par tableau de collapsus cardiovasculaire. L'exposition prolongée cause des atteintes rénales, fragilités osseuses, troubles respiratoires, troubles neurologiques et hépatiques, avec un risque accru de cancer(6).

Les jouets en tant que produits destinés aux enfants ne doivent pas constituer une menace pour leur santé(7). À cet effet, plusieurs états ont réglementé la fabrication et la production des jouets mis sur leurs marchés. Parmi ces réglementations, on retrouve les textes japonais, américain, chinois et ceux de la directive européenne qui ont fixé la limite du cadmium à 17mg/Kg pour les jouets en plastique(2). Il existe aussi une réglementation en Algérie, mais elle reste toujours insuffisante.

L'objectif de cette étude est l'évaluation de la teneur du cadmium migré dans les jouets commercialisés en Algérie, fabriqués localement ou importés, neufs ou usés par spectrométrie d'absorption atomique flamme après validation analytique, en appliquant la procédure de la directive européenne (EN 71-3 : 2019).

2. Matériel et méthodes

2.1 Échantillonnage

L'étude, de type descriptif transversal qui a consisté en une collecte de quatre-vingt-quatre (84) jouets, locaux et d'importation, récoltés aléatoirement dans les wilayas de Boumerdes et de Tizi Ouzou. Certains sont usés, récoltés dans des maisons et les crèches, d'autres sont neufs achetés sur le marché de ces régions. Les jouets appartiennent à différents groupes d'âge (de 6 mois à 14 ans). On y retrouve des voitures, des camions, jeux de construction, poupées, kits de cuisine et de médecine, des animaux en plastique...etc. Certains d'entre eux sont certifiés CE (conformité européenne) d'autres non (Tableau I).

Selon la directive européenne, dans chaque jouet qui contient des couleurs différentes, chaque couleur est considérée comme un échantillon distinct(2).

L'échantillon est composé de cent-quatorze (114) pièces de jouets provenant de quatre-vingt-quatre (84) jouets, étiquetés et numérotés de 1 à 114.

Tableau I : Présentation des catégories de jouets, laboratoire de Toxicologie, 2023

Jouets	Effectif	Etat		Provenance		Certification CE	
		Usés	Neufs	Locaux	Importation	Certifiés	Non certifiés
Animaux	19	19	0	2	17	2	17
Jouets musicaux	2	2	0	1	1	1	1
Jouets pour fillettes	18	14	4	7	11	4	14
Jouets d' eau	7	7	0	5	2	0	7
Moyens de transport	24	14	10	18	6	2	22
Brique de construction	11	11	0	0	11	11	0
Jouets de sports	3	3	0	2	1	0	3
Total	84	70	14	35	49	20	64

2.2 Matériel

L'acide chlorhydrique (HCl) pur (35-38%) (BIOCHEM Chemopharma) a été utilisé pour réaliser la migration du cadmium contenu dans les jouets et simuler le milieu gastrique en cas d'ingestion par l'enfant.

La solution stock étalon de cadmium (Tritisol®, MERCK) a servi à la réalisation de trois gammes d'étalonnage pour la validation et des contrôles.

De l'eau purifiée par le purificateur (Human Power 1 Scholar) a été utilisée pour effectuer les dilutions et le nettoyage de la verrerie.

Le dosage du cadmium dans les jouets a été effectué par un spectromètre d'absorption atomique flamme (AA-6200 SHIMADZU) équipé d'un logiciel (WizAArd) sur ordinateur (HPL1908w) pour la lecture des résultats. Une lampe à cathode creuse spécifique du cadmium (WL 22933, Ref 858801) a été utilisée comme une source d'énergie. La flamme est alimentée par deux gaz : l'acétylène provenant d'une bouteille de gaz (PHYWE SYSTEME GMBH &Co.KG) en combustion avec l'air qui provient d'un compresseur (22901 Ahrensburg Germany).

Un bain-marie (Schutzart DIN EN 60529-IP20, Allemagne) a servi à l'incubation des échantillons à 37°C lors de la phase de migration pour imiter la température corporelle. Une balance électronique (type ABJ 220-4M) a été utilisée pour la pesée, et un pH-mètre (8603 Schwerzenbach) pour ajuster le pH de la solution d'HCl.

Des cutters en acier inoxydable ont été utilisés pour le grattage des jouets et des acrodisc de 0,45µm pour la filtration.

Le logiciel OpenEpi a été utilisé pour calculer le test statistique Khi deux.

2.3 Méthode

2.3.1 Validation analytique

C'est l'ensemble des procédures destinées à démontrer que les résultats obtenus sont fiables et que la méthode est adaptée à l'application prévue.

Dans cette étude, la méthode a été validée selon le protocole SFSTP (2003-2006) basé sur le profil d'exactitude(8), pendant trois jours successifs.

Trois gammes d'étalonnage ont été préparées par trois manipulateurs différents chaque jour. Chaque gamme correspond à cinq niveaux de concentration (0,2 ppm ; 0,4 ppm ; 0,6 ppm ; 0,8

ppm ; 1 ppm) dont la limite y compris. Les échantillons ont été analysés par spectrométrie d'absorption atomique flamme.

Trois standards ont été choisis (0,5 ppm ; 0,7 ppm ; 0,9 ppm), analysés avec trois répétitions par jours sur les trois jours de validation.

- **Limite de détection**

C'est la plus petite teneur en cadmium à doser pouvant être détectée, mais non quantifiée comme valeur exacte(9).

Nous avons procédé au passage du blanc cinq fois de suite.

$$LD = 3\sigma/S$$

Avec : σ : Écart type S : pente

- **Limite de quantification**

C'est la plus petite teneur en cadmium pouvant être dosée dans les pièces de jouets avec une fidélité et une exactitude suffisante(9).

$$LQ = 10\sigma/S$$

- **Profil d'exactitude**

C'est un outil graphique qui permet de statuer sur la validation de la performance de la méthode.

C'est une stratégie de validation associant fidélité et justesse au résultat final d'une mesure.

Les éléments graphiques entrant dans le profil d'exactitude sont les suivants :

- Sur l'axe horizontal, la concentration théorique de chaque niveau (soit les valeurs de références moyennes).
- Sur l'axe vertical :
 - Les limites de tolérance relative haute et basse
 - Les taux de recouvrement moyens
 - Les limites d'acceptabilité hautes et basses relatives(6).

2.3.2 Traitement des échantillons

Le dosage du cadmium a été effectué conformément au protocole établi par la directive européenne de la sécurité des jouets (EN 71-3 : 2019) qui fixe la limite maximale acceptable du cadmium à 17 mg/Kg ou 0,68 ppm selon les prises d'essais utilisées dans le dosage.

Un total de 114 échantillons de jouets en plastique ont été sélectionnés pour réaliser la migration. La partie superficielle de chaque pièce de jouet a été grattée en petites particules à

l'aide de quêtes après avoir été nettoyée et bien séchée. Celle-ci a été pesée avec précision à 200 mg et versée dans des béchers en verre, suivi de l'ajout de 5 ml d'HCl à 0.07 mol/l, d'un pH compris entre [1,1 ; 1,3]. Chaque bécher a été recouvert avec du PARAFILM avant d'être mis dans un bain-marie réglé à 37°C pendant deux heures, la première heure sous agitation continue et la deuxième au repos. Après l'incubation, les échantillons ont été filtrés à l'aide des acrodiscs 0,45µm. Le filtrat récupéré (3ml-4ml de chacun) a été versé dans des tubes secs puis analysé par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) flamme.

2.3.3 Dosage par SAA flamme

La spectrométrie d'absorption atomique de flamme (SAA flamme) est une méthode qui permet principalement le dosage des métaux lourds en solutions. Lors de ce procédé, l'énergie fournie à l'atome provient d'une source lumineuse nommée lampe à cathode creuse. Elle est composée uniquement de l'élément à doser, qui passe de l'état fondamental à un état excité, fournissant une énergie traduite en un signal électronique qui passe par la flamme vers un détecteur qui va déterminer l'intensité lumineuse qui l'aboutie(10).

Les échantillons sont aspirés et transformés en aérosol par un nébuliseur, puis ils seront atomisés par la flamme qui est générée par la combustion de deux gaz (l'acétylène et l'air dans notre cas) et qui les place en travers du faisceau lumineux spécifique de l'élément à doser(10).

Les résultats de ce procédé sont donnés sous forme de concentration de l'élément à doser grâce à un logiciel lié à l'appareil.

3. Résultats

3.1. Validation analytique

Les résultats de la validation sont représentés dans le tableau ci-dessous (Tableau II)

Tableau II : Critères d'évaluation de la validation analytique, laboratoire de Toxicologie, 2023

Critères de validations	Performances		
Limite d'acceptabilité (%)	5		
Fonction de réponse	$y = 0,744x + 0,007$		
Linéarité	$R^2 = 0,9996$		
Limite de détection (ppm)	0,00744		
Limite de quantification (ppm)	0,015		
Niveaux de contrôle	0,5	0,7	0,9
Biais relatif %	0,001333	0,001279	$9,88 \times 10^{-8}$
Limite de tolérance basse %	-0,0128316	-0,0147991	-0,0064471
Limite de tolérance haute %	0,0154982	0,0173388	0,0066446

L'exactitude de la méthode est représentée par le profil d'exactitude comme indiqué ci-dessous (Figure 02).

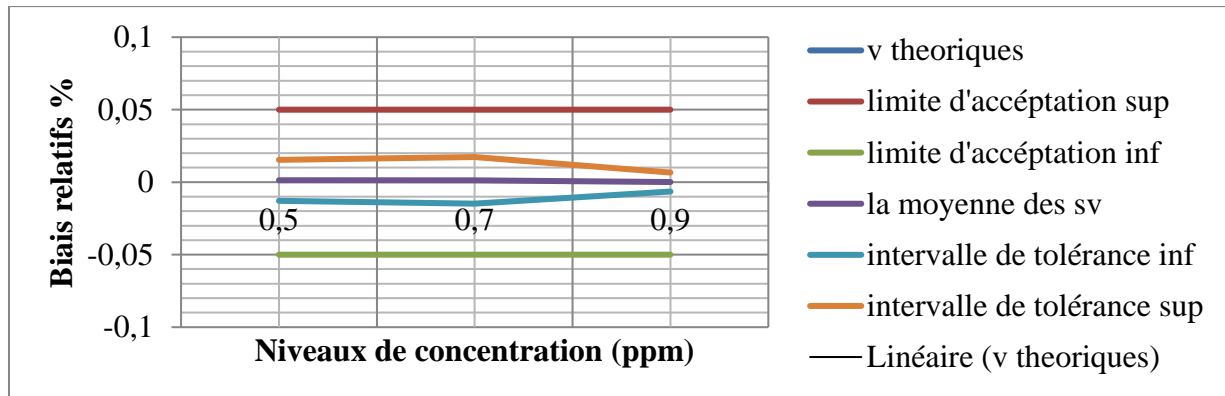


Figure 02 : Profil d'exactitude, laboratoire de Toxicologie, 2023

La **figure 02** montre que la méthode de dosage du cadmium est validée pour l'intervalle de dosage choisi où les limites haute et basse de l'intervalle de tolérance sont comprises dans les limites d'acceptabilité.

3.2. Dosage du cadmium

Au total cent-quatorze (114) pièces de jouets ont été soumises à l'analyse. Ces dernières ont été testées selon la couleur, la provenance, la catégorie, l'état et la certification CE.

Sur les quatre-vingt-quatre (84) jouets utilisés, onze (11) ont été révélés positifs (13,09%) et sur le total des cent-quatorze (114) pièces testées 9,64% étaient non-conforme en présentant des teneurs en cadmium qui dépassent la limite fixée par la directive européenne (EN 71-3 : 2019), cependant d'autres échantillons ont présenté des teneurs en cadmium, mais ne dépassant la norme (Figure 03) (Tableau III).

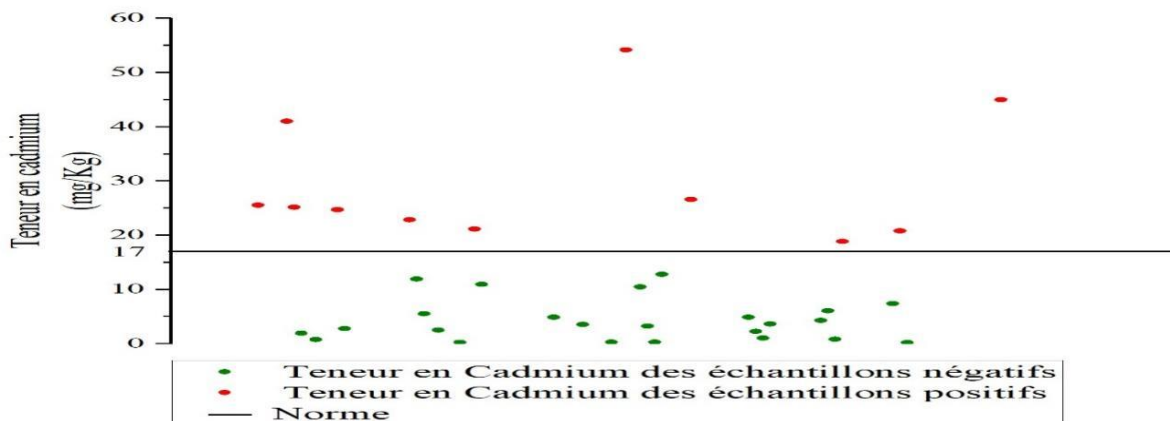


Figure 03 : Nuage de points qui représente les concentrations du cadmium détectables, laboratoire de Toxicologie, 2023

Tableau III : Représentation des résultats des échantillons positifs, laboratoire de Toxicologie, 2023

Echantillons	Concentration		Couleur	Catégorie de jouets	État	Provenance	Certification CE
	Mg/Kg	ppm					
Echantillon 2	25,5475	1,0219	Blanc	Mouton	Usé	Importation	Non certifié
Echantillon 6	41,0375	1,6415	Vert	Boîte de musique	Usée	Importation	Non certifié
Echantillon 7	25,1725	1,0069	Vert	Rhinocéros	Usé	Importation	Non certifié
Echantillon 13	24,7250	0,9890	Jaune	Chèvre	Usée	Importation	Non certifié
Echantillon 23	22,875	0,9150	Jaune	Oreille d'un éléphant	Usé	Importation	Certifié
Echantillon 32	21,1625	0,8465	Gris	Éléphant	Usé	Importation	Non certifié
Echantillon 53	54,1975	2,1679	Jaune	Voiture	Usée	Importation	Non certifié
Echantillon 62	26,6100	1,0644	Noir	Voiture	Usée	Importation	Non certifié
Echantillon 83	18,8650	0,7546	Noir	Éléphant	Usé	Importation	Non certifié
Echantillon 91	20,8200	0,8328	Vert	Kit de cuisine	Usé	Local	Non certifié
Echantillon 105	45,0125	1,8005	Gris	Vache	Usé	Importation	Non certifié

3.3. Facteurs associés

3.3.1. Couleur

13,92% des échantillons de couleurs jaune, verte, noire, blanche, grise, orange et rouge ont été révélés positifs, contre une prévalence nulle pour les autres couleurs avec une différence statistiquement significative ($P = 0,0336 < 0,05$) (Tableau IV).

Tableau IV : Représentation des résultats des positifs selon la couleur, laboratoire de Toxicologie, 2023

Couleur	Effectifs	Positivité au cadmium		Groupe	Effectifs	Positifs au cadmium		P valeur
		Nombre	Prévalence (%)			Nombre	Prévalence (%)	
Gris	4	2	50	Jaune Rouge Orange Blanc Vert Gris Noir	79	11	13,92	0,03361 < 0,05
Noir	9	2	22,22					
Jaune	16	3	18,75					
Blanc	6	1	16,66					
Vert	21	3	14,28					
Autre	58	0	0	Autre	35	0	0	DS

3.3.2. Catégorie de jouets

La prévalence des pièces positives dans les animaux était égale à 31,18%, tandis que celle des autres catégories était à 4,34% avec une différence statistiquement significative ($P = 0,00008 < 0,05$) (Tableau V).

Tableau V : Représentation des résultats des jouets positifs selon la catégorie, laboratoire de Toxicologie, 2023

Catégorie	Effectifs	Positivité au cadmium		Groupe	Effectifs	Positifs au cadmium		P valeur
		Nombre	Prévalence (%)			Nombre	Prévalence (%)	
Animaux	22	7	31,81	Animaux	22	7	31,81	0,00008 < 0,05 DS
Voiture	10	2	20					
Jouets musicaux	8	1	12,5					
Kite de cuisine	14	1	7,14					
Autre	60	0	0	Autre	92	4	4,34	

3.3.3. Etat du jouet

La totalité des pièces de jouets positives au cadmium était usée avec une prévalence de 12,35%. Le taux des pièces de jouets neuves positives était nul (0%) avec une différence non significative ($P = 0,1094 > 0,05$) (Tableau VI).

Tableau VI : Représentation des résultats des jouets positifs selon l'état, laboratoire de Toxicologie, 2023

Etat du jouet	Effectifs	Positivité au cadmium		P valeur
		Nombre	Prévalence (%)	
Usés	89	11	12,35	0,1094 > 0,05 DNS
Neufs	25	0	0	

3.3.4. Provenance

La prévalence des pièces d'origines importées positives était de 15,87%, contre 1,96% pour les pièces d'origine locales avec une différence statistiquement significative ($P = 0,0123 < 0,05$) (Tableau VII).

Tableau VII : Représentation des résultats des jouets positifs selon la provenance, laboratoire de Toxicologie, 2023

Provenance	Effectifs	Positivité au cadmium		P valeur
		Nombre	Prévalence (%)	
Importations	63	10	15,87	0,0123 < 0,05
Locaux	51	1	1,96	DS

3.3.5. Certification CE

La majorité des échantillons positifs appartenait à des jouets non certifiés, ils ont présenté une prévalence de (10,86%) qui était supérieure à celle des pièces positives certifiées (4,54%) avec une différence non significative ($P = 0,3668 > 0,05$) (Tableau VIII).

Tableau VIII : Représentation des résultats des jouets positifs selon la certification CE, laboratoire de Toxicologie, 2023

Certification CE	Effectifs	Positivité au cadmium		P valeur
		Nombre	Prévalence (%)	
Certifiés	22	1	4,54	0,3668 > 0,05
Non certifiés	92	10	10,86	DNS

4. Discussion

4.1 Protocole et cadre juridique

Cette étude a pour objectif le dosage du cadmium migré dans les jouets en plastique selon le protocole de la directive européenne (EN 71-3 : 2019) relative à la sécurité des jouets qui se compose de plusieurs parties. On s'est intéressée à la troisième partie de la directive intitulée « Migration de certains éléments » qui spécifie les exigences, les méthodes d'essai et les limites de migration maximales acceptables de dix-huit (18) éléments y compris le cadmium pour trois catégories de matériaux de jouets différentes(2). L'analyse a été effectuée par spectrométrie d'absorption atomique flamme, où la méthode a été validée suivant le protocole STPST (2003-2006) basé sur le profil d'exactitude(8).

En Algérie, le décret exécutif n°97-449 du 21 chaabane 1418 correspondant au 21 décembre 1997 relatif à la prévention des risques résultant de l'usage des jouets, spécifie dans l'annexe II « les risques particuliers » le seuil de biodisponibilité acceptable du cadmium à 0,6 µg. L'arrêté interministériel du 28 chaabane 1418 correspondant au 28 décembre 1997 fixant la liste des produits de consommation présentant un caractère de toxicité ou un risque particulier ainsi que les listes des substances chimiques dont l'utilisation est interdite ou réglementée pour la fabrication desdits produits, spécifie également dans l'annexe III la dose limite maximale acceptable du cadmium est à 75 mg/Kg. Cependant, ces textes ne définissent aucune catégorie de jouets ni de protocole permettant la réalisation de la migration et de simuler le milieu gastrique. À cet effet, l'étude a été menée conformément aux limites établies par la directive européenne (EN 71-3 : 2019) qui donne une approche plus précise et complète sur la sécurité

chimique des jouets grâce à sa base scientifique, du nombre de métaux lourds étudiés et les limites maximales de concentrations acceptables en métaux définis pour les différents types de jouets(11). Elle classe les jouets en trois catégories différentes, exigeant pour chacune une norme spécifique pour tout élément ; catégorie I : matériaux secs, cassants, pulvérulents et pliables, catégorie II : matériaux liquides ou collants et la catégorie III : matière grattée. Le plastique est classé dans la troisième catégorie avec une limite maximale acceptable en cadmium fixée à 17 mg/Kg(2).

4.2 Conformité

Sur les cent-quatorze (114) pièces de jouets analysées, onze (11) se sont avérées non conformes, avec une prévalence de 9,64%. Sur le total des quatre-vingt-quatre (84) jouets 13,09% étaient non-conformes. Les pièces de jouets dépassant la norme établie par la directive européenne ont présenté des teneurs en cadmium allant de 18,86 à 54,19 mg/Kg. Toutefois, certains échantillons ont révélé des teneurs en cadmium, mais dans les limites autorisées. Des études ont été réalisées dans ce domaine, permettant de comparer les résultats de la nôtre. L'étude menée au Pakistan en 2022 a permis de constater que sur les quarante-quatre (44) jouets analysés, quinze (15) jouets en plastique et cinq (5) jouets en plastique avec peinture ou revêtement n'étaient pas conformes(12). Quant à étude menée en Algérie (Tlemcen) en 2021 portant sur l'évaluation du taux de quatre métaux (cadmium, plomb, cuivre et zinc) dans 44 échantillons provenant de dix types de jouets, aucun jouet n'a révélé une non-conformité(1), une autre réalisée en Turquie (2014) à l'université de Yeditepe et celle du Nigeria portant sur l'évaluation du risque de jouets importés de chine sur la santé pédiatrique, ont déduit la présence du cadmium dans les échantillons analysés, mais à des teneurs ne dépassant par la limite autorisée(13,14).

4.3 Facteurs associés

Les résultats d'analyse ont été interprétés selon la couleur, la catégorie, l'état, la provenance et la certification CE.

4.3.1 Couleur

Les teneurs les plus élevées en cadmium ont été détectées dans les échantillons de couleurs jaune, verte, noire, blanche et grise dont 13,92% étaient positifs. Il existe une différence significative entre les échantillons de couleurs jaune, vert, noir, blanc et gris et les échantillons autres couleurs ($P < 0,05$). La teneur maximale en cadmium de 54,19 mg/Kg a été détectée dans

un échantillon de couleur jaune. En effet, environ vingt pour cent (20%) de l'utilisation industrielle du cadmium est destinée aux pigments et colorants de la matière plastique. Les pigments à base du cadmium sont des agents inorganiques stables, pouvant être produits dans une gamme de nuances jaunes composée essentiellement de sulfure de cadmium (CdS) ou bien de sulfure de cadmium et de zinc (Cd-ZnS), de même dans dans le spectre allant du jaune verdâtre au rouge violet passant par l'orange et le rouge à partir de sulfure de cadmium et de sélénium (Cd-SeS). En outre, d'autres couleurs peuvent contenir du cadmium comme le vert, le noir, le blanc et le brun. L'étude faite au Royaume-Uni par Dr. Andrew Turner à l'université de Plymouth sur deux-cents (200) échantillons de jouets a montré que certains jouets de couleurs jaune et rouge ont dépassé la limite maximale acceptable de cadmium(15). Une autre faite au Pakistan a révélé que certains jouets de couleur jaune, blanche, argenté et bleue ont présenté une non-conformité(12).

4.3.2 Catégorie

Les animaux représentent la majorité des cas non conforme avec une prévalence de 31,81% contre 4,34% dans les autres catégories avec une différence significative. La teneur la plus élevée dans cette catégorie était de 45,012 mg/Kg détectée dans une vache. La teneur maximale révélée sur l'ensemble des jouets soumis à l'analyse était de 54,11 mg/Kg a été détectée dans une voiture de couleur jaune. Les autres pièces positives étaient un kit de cuisine et une boîte à musique. Les résultats de l'étude faite au Pakistan étaient similaires à nos résultats où les animaux représentaient la majorité des cas non conformes(12). En revanche, l'étude faite par André Turner a montré que des briques de lego dépassaient la limite de la directive européenne(15).

4.3.3 Etat

Les pièces de jouets non conformes étaient toutes usées avec une prévalence de 12,35%, tandis que les pièces neuves étaient conformes, donnant une différence non significative. Peu d'études ont été menées dans ce contexte, l'étude faite au Royaume-Unis sur deux-cents (200) jouets d'occasions analysés par spectrométrie de fluorescence X pour caractériser la teneur du cadmium total et une seconde analyse effectuée sur vingt-six (26) jouets par Plasma à couplage inductif (ICP) pour déterminer la teneur en cadmium migré ont révélé que quatre (4) jouets d'occasions étaient non-conformes(15). Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que certains jouets peuvent contenir des substances toxiques telles que le cadmium, plomb et les phtalates. Ces derniers peuvent être libérés du plastique de jouets à l'usure sous l'effet de plusieurs facteurs externes comme la chaleur et l'humidité qui accélèrent sa dégradation, ainsi qu'ils peuvent présenter un risque sur la santé en particulier lorsqu'ils sont ingérés. Cependant,

il faut noter que les jouets usés ne présentent pas nécessairement des risques sur la santé des enfants.

4.3.4 Provenance

Soixante-trois (63) pièces de jouets d'importation ont été soumises à l'analyse dont dix (10) ont présenté des dépassements de la norme, alors que sur les cinquante-et-une (51) pièces de jouets locales analysées une seule était non conforme. La prévalence des pièces de jouets importées était de 5,87% contre 1,96% pour les pièces de jouets locales, il existe une différence significative entre la provenance des pièces de jouets et la teneur en cadmium avec un $P = 0,0123$.

Parmi les principaux fabricants et exportateurs de jouets dans le monde, on trouve la Chine, les États-Unis et certains pays de l'Union-Européenne. Malgré la qualité approuvée de ces derniers, néanmoins certaines études ont montré la présence du cadmium dans leurs jouets. Des rappels de jouets d'importation ont eu lieu dans divers pays du monde, en raison de problèmes de non-conformité aux exigences de fabrication et de sécurité. À titre d'exemple, en 2007 environ vingt millions (20 millions) de jouets importés de Chine ont été retirés aux États-Unis(16). Cependant, une étude menée au Palestine sur l'évaluation du taux de cadmium dans des jouets locaux et d'importations a montré que les jouets locaux étaient non-conformes avec des teneurs allant de 0,47 à 436,42 mg/Kg, tandis que tous les jouets d'importation étaient conformes(16). Ces résultats diffèrent de ceux de notre étude où la majorité des jouets non conforme étaient importés de Chine, ces résultats peuvent être expliqués par le fait que ces dernières années les jouets de fabrication locale sont plus respectueux des normes de sécurité et de qualité.

4.3.5 Certification européenne

Parmi les exigences fixées par les autorités dans les pays de l'Union européenne sur la vente de jouets sur leurs marchés, est le port du marquage CE(17). Selon le règlement européen 2009/48/CE, les jouets doivent porter le marquage CE indiquant que le produit est conforme aux exigences essentielles de santé et de sécurité pertinentes et que leur mise sur le marché était conformément à la législation (réglementation de la certification)(17), mais il est important de signaler que le sigle CE n'est pas forcément gage de sécurité et il ne garantit pas une sécurité absolue. Le processus de l'obtention de ce marquage implique aux fabricants de faire évaluer son jouet par un laboratoire d'analyses accrédité qui vérifie la conformité du jouet. Sur les vingt-deux (22) pièces de jouets certifiées analysées, vingt-et-une (21) étaient conformes aux limites exigées par la directive européenne pour le cadmium à l'exception d'une seule qui a présenté un dépassement de la teneur maximale autorisée. Elle s'agit d'une pièce jaune provenant d'un

éléphant à piles usé certifié CE avec une teneur de 22,87 mg/Kg. La positivité de ce jouet marquée peut être due à son usure.

Conclusion

Des dépassements de la teneur en cadmium ont été détectés dans certains jouets, ce qui peut constituer un danger sur la santé des enfants. Afin de pallier à ce problème de santé infantile, les autorités algériennes doivent mettre à jour les normes en vigueur datant de 1998, de définir des limites pour les métaux non réglementés et instaurer des contrôles qualité des jouets vendus sur les marchés algériens. Les parents doivent aussi être vigilants lors du choix des jouets en privilégiant ceux fabriqués en matières nobles comme le bois. Les fabricants sont appelés à faire preuve de conscience professionnelle en ce qui concerne les procédés de fabrication et la composition chimique des jouets.

Références

1. BECHLAGHEM YS, BENDIMERAD AS. Etude toxicologique des métaux lourds dans les jouets destinés aux enfants moins de 36 mois 2021.
2. Safety of Toys—Part 3: Migration of Certain Elements. British Standard EN. 2019:71-3.
3. JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°85 24 Chaabane 1418 24 décembre 1997/1997.
4. Ahmad N, Nasibullah M, Hassan F, Singh A, Patel D, Khan A, et al. Heavy metal assessment of leachates of some plastic toys purchased from different districts of UP, India. *Internal Res J Environ Sci.* 2012;1(4):32-6.
5. Kamara I, Adie GU, Giwa AS. Total and bio-accessible toxic metals in low-cost children toys sold in major markets in Ibadan, South West Nigeria. *Scientific African.* 2023;20:e01613.
6. Anis M, Arezki Y. ESSAI DE MIGRATION DES METAUX LOURDS DANS LES USTENSILES DE CUISINE EN CERAMIQUE Dosage du plomb et du cadmium lessivables par Spectrométrie d'Absorption Atomique Flamme selon la directive 84/500/CEE 2019.
7. Gryniewicz-Bylina B. Testing of toxic elements migration from the materials used as toy coatings. *Ecological Chemistry and Engineering S.* 2011;18(2):223-31.
8. Hubert P, Nguyen-Huu J, MUZARD G, VALAT L, BOULANGER B, CHAPUZET E. Validation des procédures analytiques quantitatives: Harmonisation des démarches Partie II-Statistiques. *STP pharma pratiques.* 2006;16(1):30-60.
9. BOUDEHANE A, HADDOUCHE T, DELLOUL S, KOUCEM K. Validation d'une méthode analytique de dosage du cuivre urinaire par Spectrométrie d'Absorption Atomique Flamme. 2020.
10. Gestion des déchets dangereux GCI-63617, Université Laval.
11. Guney M, Zagury GJ. Bioaccessibilité de l'As, du Cd, du Cu, du Ni, du Pb et du Sb dans les jouets et les bijoux à bas prix 2013.
12. Gul D-e-S, Gul A, Tanoli AK, Ahmed T, Mirza MA. Contamination by hazardous elements in low-priced children's plastic toys bought on the local markets of Karachi, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research.* 2022;29(34):51964-75.
13. Charehsaz M, Güven D, Bakanoğlu A, CELİK H, Ceyhan R, EROL DD, et al. Lead, cadmium, arsenic, and nickel content of toy samples marketed in Turkey. *Turk J Pharm Sci.* 2014;11(3):263-8.
14. Igweze ZN, Ekhatior OC, Orisakwe OE. A pediatric health risk assessment of children's toys imported from China into Nigeria. *Heliyon.* 2020;6(4).
15. Turner A. Concentrations and migratabilities of hazardous elements in second-hand children's plastic toys. *Environmental science & technology.* 2018;52(5):3110-6.
16. Al-Qutob M, Asafra A, Nashashibi T, Qutob AA. Determination of different trace heavy metals in children's plastic toys imported to the West Bank/Palestine by ICP/MS—environmental and health aspects. *Journal of Environmental Protection.* 2014;5(12):1104.
17. Directive 2009/48/CE du parlement européen et du conseil du 18 juin 2009 relative à la sécurité des jouets 2009.