

الجمهورية الجزائرية الشعبية الديمقراطية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAÏD

FACULTÉ DE MÉDECINE

Dr B. BENZERDJEB - TLEMCEM



جامعة أبو بكر بلقايد تلمسان

كلية الطب

د. ب. بن زرجب

DEPARTEMENT DE PHARMACIE

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
DE DOCTEUR EN PHARMACIE**

*Etude toxicologique des métaux lourds dans les jouets destinés aux
enfants moins de 36 mois*

Présenté par : **BECHLAGHEM Yasmine Sabrina**

BENDIMERAD Amel Saliha

Soutenu le 11 octobre 2021

Le jury :

Président : Pr Y. HAREK

Professeur en chimie analytique

Les membres :

Dr D. MILOUD ABID

Maitre Assistante en toxicologie

Dr FZ. BEN ABBED

Maitre Assistante en pharmacologie

Encadré par : Dr N. ABOUREJAL

Maitre de conférences classe A en toxicologie

Co-encadré par : Dr A. BARKA

Assistante en toxicologie

ANNÉE ACADEMIQUE : 2020-2021

Remercîments

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous à donner la volonté pour accomplir ce modeste travail.

On remercie notre encadrante Madame **N. ABOUREJAL** maitre de conférences en toxicologie, d'avoir cru en notre sujet qui était unique dans son genre, et de nous avoir donner l'opportunité de le réaliser malgré les difficultés qu'on a rencontré tout au long de notre période de travail.

On remercie également notre Co-encadrante Madame **A. BARKA** assistante en toxicologie, pour les heures interminables qu'elle nous a consacré, pour ses précieux conseils, pour sa générosité et sa bienveillance.

Nous exprimons nos respectueux remerciements à Monsieur **Y. HAREK** professeur en chimie analytique, de nous avoir ouvert les portes de son laboratoire pour concrétiser notre étude, de nous avoir transmis autant d'informations et de conseils inestimables, nous sommes très chanceux de l'avoir comme président de jury.

Nos remerciements s'adressent aussi à Madame **D. MILOUD ABID** et Madame **FZ. BEN ABBED** qui ont toutes les deux répondu présente pour examiner notre travail.

Enfin, nous réservons un vif remerciement à tous nos amis et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Louange à **Dieu** tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu. Je dédie ce modeste travail à :

Mon père, qui m'a soutenu et m'a encouragé durant toutes ces années. « Ma fille, tu réussiras », telle est la phrase qui réconfortait mes moments de doute. Être fière de m'avoir comme fille est certainement pour moi un but inestimable, et te rendre hommage par ce modeste travail n'est qu'un tout petit geste par rapport à tout l'amour que tu nous as donné et toutes les valeurs que tu nous as transmis.

Ma mère, la lueur d'espoir, qui a toujours cru en moi et qui n'a jamais cessé de formuler des prières à mon égard. Maman chérie, si je suis arrivé jusque-là c'est grâce à toi et à tous les sacrifices que tu as faits pour nous voir toujours au sommet de la liste, j'espère que ce travail n'est que le début d'un enchaînement de succès qui te rendront fière de moi.

Ma petite sœur, qui était toujours à mon écoute, elle a partagé avec moi chaque seconde de ce long parcours. La fraternité et l'amour qui nous uni avait un grand rôle dans ma motivation dans mes études. Tu m'as toujours pris comme exemple, j'espère le rester à tout jamais.

A mon mari, le meilleur choix que j'ai fait dans ma vie. A toi le mari, le frère, le confident et l'ami que tu as toujours été. Ensemble, on a appris à affronter nos peurs, à se relever après un échec, et à combattre jusqu'à concrétiser nos rêves. Tu m'as toujours tendu la main d'un bonheur infini, ton amour et ton intension m'ont poussé à surpasser mes limites pour réussir.

A mon fils chéri, le plus beau cadeau de ma vie, la prunelle de mes yeux et l'âme de mon corps. Si un jour on m'avait dit que tu vas dédier ton mémoire à ton fils je ne l'aurais jamais cru. Les nuits blanches se rappelleront de nous, une main te bercer et l'autre qui tenait le polycopier, Il faut dire que ce n'était pas facile mais on est arrivé. J'espère être une maman dont tu seras fière, ce n'est que le début et le meilleur reste à venir. Je t'aime mon prince, mon héros et ma raison de vivre.

A la mémoire de ma grand-mère, ma deuxième maman, une femme qui a marqué mon enfance par son amour, sa tendresse et sa générosité. Ses encouragements ont renforcé ma confiance en moi-même, grand-mère j'aurai aimé partager ce moment avec toi, j'espère que tu es fière de moi là où tu es. Pais à ton âme.

A ma binôme Yasmine, avec qui j'ai adoré préparer ce mémoire, une amie digne de ce nom qui m'a soutenu dans mes moments difficiles, je lui souhaite plein de réussites.

A mes deux amies **Wisseem et Souhila**, avec qui j'ai partagé les meilleurs moments de mon cursus, puisse l'amour et la fraternité nous unissent à jamais.

A ma belle-famille, qui m'a accueilli avec plein d'amour et de fierté, votre soutien m'a aidé à persévérer et à franchir les nombreux obstacles que j'ai rencontré.

A mes clientes et mes élèves, grâce à qui j'ai pu exercer ma passion et la transmettre, le crochet était mon détox tout au long de mon cursus surtout aux moments les plus difficiles.

A tous mes oncles, mes tantes, mes cousins, mes cousines et à la mémoire de mes grands-parents.

Bendimered Amel Saliha

DÉDICACES

En guise de reconnaissance envers toute personne qui m'est chère, qui m'a soutenue dans mon parcours, qui m'a dirigée vers les bonnes voies, qui m'a secondée dans mes tâches et qui m'a aidée à atteindre mes objectifs, je lui dédie cet humble mémoire qui inspire les richesses, les savoirs et surtout la volonté d'apprendre et de vulgariser les compétences théoriques, sociales et pratiques acquises avec amour et plaisir durant notre cursus .

Aujourd'hui, l'opportunité m'est offerte pour présenter mes plus grands Hommages à tous mes professeurs d'université en l'occurrence, les maîtres assistants, les maîtres conférenciers qui n'ont cessé chacun de nous apporter leur assistance et nous inculquer les savoirs.

A mes chers parents : Mohammed et Fadéla qui m'ont poussé à aller jusqu'au bout sans relâche et m'ont encouragée à franchir les obstacles de ce parcours si difficile mais si précieux à mes yeux ! Que Dieu les protège et les garde pour moi, sans eux, ma vie n'aura aucun sens !

A ma petite sœur : Sérine, adorable, brillante dans ses études et qui a supporté mes délires, je lui tire chapeau pour sa maturité précoce.

A ma très chère défunte grand-mère Vietnamiennne : Thu Thi Binh qui me chérissait et m'aimait, j'ai tant voulu qu'elle soit là parmi nous parce qu'elle reflétait l'espoir et l'amour d'un travail bien entrepris, j'en suis fière vu que ces qualités représentent ma devise.

A mes tantes : HALIMA , DJAMILA et HAFIDA et cousines sympathiques qui m'ont inculqué des valeurs et principes dans le domaine de la conscience professionnelle, elles portent en elle les graines de sagesse, du sérieux, du respect, de l'ambition et de la rigueur, des exemples de femmes bosseuses et sérieuses à suivre en toute confiance .

A ma très chère amie et binôme : Amel qui s'efforce à comprendre ma façon de faire les choses, chacune de nous interprète les choses différemment, nous éprouvons une complicité indescriptible et nous nous enrichissons mutuellement, d'ailleurs, ne dit-on pas toujours que de la différence jaillit la lumière.

A mes chers amis : Nihal , Ikhlass et Zaki merci pour votre soutien morale , encouragement et fraternité , je me sens si chanceuse de vous avoir dans ma vie .

A tous les autres que je n'ai pas cités mais à qui je pense aussi

A tous ceux qui m'aiment

Que ce modeste ouvrage apporte son fruit après un long labeur.

Benchelaghem Yasmine Sabrina

Table des matières

Chapitre I: Généralités sur les jouets	3
I.1 Historique du jouet	3
I.2 Définitions	5
I.2.1 Dans la réglementation nationale.....	5
I.2.2 Dans la réglementation Internationale	5
I.3 Rôle des jouets dans le développement de l'enfant	6
I.4 Composition des jouets	6
I.5 Classifications des jouets	7
I.5.1 Nationale.....	7
I.5.2 Internationale	7
I.5.2.1 Européenne.....	7
I.5.2.2 Américaine	8
I.5.2.3 Selon l'ISO.....	8
I.6 Scénarios d'exposition aux contaminants présents dans les jouets	9
I.6.1 La voie orale	9
I.6.2 La voie cutanée	9
La voie pulmonaire	9
I.7 Les facteurs favorisant la toxicité par les jouets	12
Chapitre II: Les éléments traces métalliques (ETM)	13
II.1 Définition des éléments traces métalliques (ETM)	13
II.2 Classification des éléments traces métalliques	14
II.2.1 Classification basée sur les propriétés de complication	14
II.2.2 Classification physiologique et toxique	14
II.2.2.1 Métaux essentiels.....	14
II.2.2.2 Métaux non essentiels (toxiques).....	14
II.3 Origine des métaux lourds	15
II.4 Les propriétés physiques des métaux	16
II.5 Mécanisme d'action des métaux lourds au sein de l'organisme	16
II.5.1 Le plomb.....	16
II.5.2 Le cadmium.....	17
II.5.3 Arsenic.....	18

II.5.4 Le zinc	18
II.5.5 Le cuivre.....	19
II.6 Toxicité des métaux lourds	20
II.6.1 Le plomb.....	20
II.6.2 Le cadmium.....	20
II.6.3 L'arsenic.....	21
II.6.4 Le mercure.....	21
II.6.5 Le zinc	21
II.6.6 Le cuivre.....	22
II.7 Rôle des métaux lourds et autres composants toxiques dans les jouets.....	22
Chapitre III: Réglementations et analyses	24
III.1 Réglementation.....	24
III.1.1 Nationale	24
III.1.2 Internationale	25
III.1.2.1 Européenne.....	25
III.1.2.2 Chinoise.....	27
III.1.2.3 Normes ISO.....	27
III.1.2.4 Américaine et canadienne	28
III.2 Statistiques et fraudes dans le monde des jouets.....	29
III.3 Méthodes d'analyse des métaux lourds dans les jouets	30
III.3.1 Etape pré analytique (La minéralisation).....	30
III.3.2 Etape analytique	31
III.3.2.1 Spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA).....	31
III.3.2.2 La spectrométrie de masse sur plasma à couplage inductif (ICP-MS).....	32
III.3.2.3 La polarographie.....	33
III.3.2.3.1 Le principe de la polarographie	33
III.3.2.3.2 Limites de la méthode.....	34
III.3.2.3.3 Appareillage.....	34
III.3.2.3.4 Applications	35
III.3.2.3.5 Inconvénients	35
Chapitre IV: Partie pratique	36
IV.1 Objectifs	36
IV.1.1 Objectif principal	36
IV.1.2 Objectifs secondaires	36
IV.2 Matériel et méthodes.....	36

IV.2.1 Type, lieu et durée de l'étude.....	36
IV.2.2 Échantillonnage	36
IV.2.2.1 Population d'étude	36
IV.2.2.2 Les jouets à doser	36
IV.2.3 Recueil d'information	36
IV.2.4 Analyses statistique.....	37
IV.2.5 Déroulement de l'étude.....	38
IV.2.5.1 Minéralisation des Jouets	38
IV.2.5.1.1 Matériels	38
IV.2.5.1.2 Produits chimiques et réactifs.....	40
IV.2.5.1.3 Le protocole.....	40
IV.2.5.2 Dosage de la concentration totale en métaux lourds.....	41
IV.2.5.2.1 Les solutions utilisées.....	42
IV.2.5.2.2 Mode opératoire.....	43
IV.2.5.2.3 La conversion des résultats du dosage (du mg/L au mg/Kg)	45
IV.2.5.2.4 Le calcul de la dose estimée journalière EDI (the estimated daily intake) et l'indice de la prise relative RII (the relative intake indices)	45
IV.3 Résultats	46
IV.3.1 Caractéristiques descriptives de la population.....	46
IV.3.1.1 Profile de la population	46
IV.3.1.1.1 Le sexe.....	46
IV.3.1.1.2 Le niveau d'instruction.....	46
IV.3.1.1.3 Le niveau économique.....	47
IV.3.1.1.4 Avoir un enfant en bas âge (moins de 36 mois)	47
IV.3.1.2 Les habitudes d'achats des jouets	48
IV.3.1.2.1 La personne responsable de l'achat des jouets	48
IV.3.1.2.2 Fréquences d'achats de jouets	49
IV.3.1.2.3 Critères principaux de choix des jouets.....	49
IV.3.1.2.4 Le choix de la matière des jouets	50
IV.3.1.2.5 Le packaging des jouets.....	50
IV.3.1.2.6 Les jouets les plus achetés par la population.....	51
IV.3.1.3 Usage et comportement.....	51
IV.3.1.3.1 Nettoyage des jouets avant leur utilisations	51
IV.3.1.3.2 Le contact des jouets avec la bouche	52
IV.3.1.3.3 Accompagnement des enfants lors du jeu	53

IV.3.1.3.4 L'usage des jouets destinés au frères et sœurs plus âgés.....	53
IV.3.1.4 Usage et devenir des jouets	54
IV.3.1.4.1 Les anciens jouets.....	54
IV.3.1.4.2 Le devenir des jouets après leur utilisation	54
IV.3.1.4.3 Accidents dus aux jouets	55
IV.3.1.4.4 La nature de l'accident	55
IV.3.1.4.5 L'impact de l'accident.....	56
IV.4 Résultats du dosage	56
IV.4.1 Statistiques descriptives des teneurs en métaux	57
IV.4.2 Les résultats du dosage	57
IV.4.2.1 Peluche	57
IV.4.2.2 Ballon	57
IV.4.2.3 Pâte à modeler	58
IV.4.2.4 Vieux lego	58
IV.4.2.5 Lego	59
IV.4.2.6 Puzzle en bois.....	59
IV.4.2.7 Puzzle en carton	60
IV.4.2.8 Petite poupée	60
IV.4.2.9 Grande poupée	61
IV.4.2.10 Slime	61
IV.4.3 Etude de la corrélation	61
IV.4.3.1 La corrélation entre les concentrations des métaux	61
IV.4.3.2 La concentration en métaux en fonction de la couleur des jouets.....	62
IV.4.3.3 La concentration en métaux en fonction de la taille et du type du jouet.....	62
IV.4.3.4 La concentration des éléments dosés en fonction de la dissolution et du prix :	62
IV.4.3.5 La concentration en métaux en fonction de la matière utilisée.....	63
IV.4.4 Etude de la dose journalière d'exposition EDI et l'indice de risque relatif RII:	63
IV.5 Discussion.....	65
IV.6 Conclusion.....	70

Liste des figures

Figure 1 : Ancien musée de la toupie de Shuicheng avant le déménagement.....	3
Figure 2 ; Cheval en bois, musée Laduz actuellement fermé.....	4
Figure 3 : Musée de lego à Prague	4
Figure 4 : Musée de la poupée, Paris	5
Figure 5 : courbe polarographique	34
Figure 6 : montage polarographique	35
Figure 7 : logiciels utilisés	38
Figure 8 : Le matériel utilisé pour couper et gratter les jouets.....	39
Figure 9 : Balance analytique.....	39
Figure 10 : Etuve de digestion Analytikjena	39
Figure 11 : les réactifs utilisés pour la minéralisation.....	40
Figure 12 : solution tampon d'acétate d'ammonium.....	42
Figure 13 : Les solutions étalons des quatre éléments métalliques.....	42
Figure 14 : cellule polarographie	43
Figure 15 : Polarogramme de l'échantillon 02 (Petit Ballon bleu)	44
Figure 16 : Les droites d'étalonnage pour les quatre ions métalliques (Zn, Cd, Pb et Cu)	45
Figure 17 : Répartition de la population d'étude selon le sexe.....	46
Figure 18 : Répartition des participants selon le niveau d'instruction.....	47
Figure 19 : Répartition des participants selon le niveau économique.....	47
Figure 20 : répartition des participants selon la présence d'un enfant moins de 3 ans.....	48
Figure 21 : répartition selon les responsables d'achats de jouets	48
Figure 22 : Répartition des participants selon la fréquence d'achats de jouets	49
Figure 23 : Répartition des participants selon les critères de choix de jouets.....	49
Figure 24 : Le choix de la matière des jouets.....	50
Figure 25 : Répartition des participants selon leur attention à lire la tranche d'age ainsi que le marquage CE sur le packaging	50
Figure 26 : les types de jouets achetés	51
Figure 27 : répartition des participants en fonction de leur attitude a nettoyer ou non les jouets avant leur usage	52
Figure 28 : Répartition des enfants selon la fréquence à mettre les jouets en bouche	52
Figure 29 : La fréquence des parents qui accompagnent leurs enfants lors du jeu	53
Figure 30 : répartition des enfants qui jouets avec leurs grands frères et sœurs	54
Figure 31 : Répartition des participants selon la réutilisation des anciens jouets	54
Figure 32 : Le devenir des jouets après utilisation.....	55
Figure 33 : Fréquence des enfants qui ont eu un accident dû aux jouets	55
Figure 34 :Les types d'accidents engendrés.....	56
Figure 35 : Les types d'impacts d'accidents	56

Liste des tableaux

Tableau I : Catégories de jouets selon le développement psychologique et physiologique des enfants de bas âge.....	7
Tableau II : Catégories et sous catégories des jeux selon les lignes directives américaines	8
Tableau III : Classification basée sur les propriétés de complication	14
Tableau IV : principale source d'exposition des métaux	15
Tableau V : Les propriétés physiques de certains éléments de traces métalliques	16
Tableau VI : Limites acceptables de biodisponibilité des métaux lourds par jour	24
Tableau VII : Doses limites acceptables de certaines substances chimiques dans les jouets..	25
Tableau VIII : Limites de migration acceptables de certains métaux lourds dans les jouets..	26
Tableau IX : les limites de migration acceptables pour certains métaux lourds dans les jouets selon les normes ISO (99)	28
Tableau X : Tableau de température utilisé pour la minéralisation des jouets	41
Tableau XI : Les statistiques descriptives des teneurs en Pb, Cd, Cu et Zn	57
Tableau XII : Les teneurs des 4 métaux dans différentes parties de la peluche	57
Tableau XIII : Les teneurs des 4 métaux dans différentes tailles de ballons	57
Tableau XIV : Les teneurs des 4 métaux dans différentes couleurs de la pâte à modeler.....	58
Tableau XV : Les teneurs des 4 métaux dans différentes tailles et couleurs de vieux lego....	58
Tableau XVI : La teneurs des 4 métaux dans différentes tailles et couleurs de lego.....	59
Tableau XVII : Les teneurs des 4 métaux dans différentes tailles et couleurs d'un puzzle en bois	59
Tableau XVIII : Les teneurs des 4 métaux dans différentes parties d'un puzzle en carton ...	60
Tableau XIX : Les teneurs des 4 métaux dans différentes parties d'une petite poupée	60
Tableau XX : Les teneurs des 4 métaux dans différentes parties d'une grande poupée.....	61
Tableau XXI : Les teneurs des 4 métaux dans différentes couleurs du slime	61
Tableau XXII : La corrélation entre les concentrations des métaux	61
Tableau XXIII : La concentration en métaux en fonction de la couleur des jouets	62
Tableau XXIV : La concentration en métaux en fonction de la taille et du type du jouet.....	62
Tableau XXV : La concentration des éléments dosés en fonction de la dissolution et du prix	62
Tableau XXVI : La concentration en métaux en fonction de la matière utilisée.....	63
Tableau XXVII : La dose journalière d'exposition EDI des échantillons.....	63
Tableau XXVIII : Indice de risque relatif RII dans les échantillons	64
Tableau XXIX : Les échantillons en teneur élevé du pb.....	65

Liste des abréviations

A

ABS : Acrylonitrile butadiène styrène

AC : Anhydrase carbonique

ADN: Acide désoxyribonucléique

AFNOR : Association française de normalisation

ALA : Acide delta-aminolévulinique

Ar : Arsenic

ARN : Acide ribonucléique

AsH₃ : Arsine

ASTM: Anciennement American Society

B

Ba: Barium

C

Ca: calcium

Cd: cadmium

CE : Conformité aux exigences fixées par la réglementation communautaire

CIRC : Centre international de recherche sur le cancer

CMR : Cancérogènes, mutagènes , reprotoxique

COPRO : coproporphyrine

CPA: Carboxypeptidase

CPSA: Consumer Product Safety Act

CPSC: Consumer Safety Product Commission

CPSIA: Consumer Product Safety Improvement

Cu : Cuivre

D

DGCCRF: Direction générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des fraudes

DINCH : Ester diisonylique d'acide 1,2-cyclohexane dicarboxylique

DMA : Diméthylamphétamine

DTU : Université Technique du Danemark

E

EDI : La dose journalière d'exposition

EP : Epoxydes

ETM : Eléments traces métalliques

EVA : Ethylène-acétate de vinyle

F

Fe : Fer

G

GB : Guobiao (norme nationale)

GSH : Glutathion

H

HCl : Acide chlorhydrique

Hg : Mercure

I

ICP-MS : Spectrométrie de masse sur plasma à couplage inductif

ICP-OES : Spectrométrie à émission optique sur plasma à couplage inductif

ISO : Organisation internationale de normalisation

J

J-C : Jésus-Christ

M

Mg : Magnésium

MMA : Acide méthylmalonique

N

Ni : Nickel

O

OIT : Organisation internationale du travail

P

P : Phosphore

PAL : Phosphatases alcalines

Pb : Plomb

PC : Polycarbonate

PES : Polyesters

PP : Polypropylène

PU : Polyuréthane

PVC : Polychlorure de vinyle

R

RII : L'indice de risque relatif

S

SAA : Spectrométrie d'absorption atomique

Se : Selenium

SOD: Superoxyde dismutase

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

T

TDI : La dose journalière tolérable

U

UE: Union européenne

V

VEGF: Vascular Endothelial Growth Factor

VTR : Valeur toxicologique de référence

Z

Zn : Zinc

Introduction :

Les jouets existaient depuis toujours, à travers les siècles ces derniers ont bien évolué suite au développement de la matière première utilisée. La terre cuite, la paille et d'autres matériaux périssables ont été remplacé par du bois, du métal et du plastique.

Des milliers de jouets se vendent chaque jour dans le monde. Le chiffre d'affaires total du marché mondial des jouets a été enregistré à environ 94,7 milliards de dollars américains en 2020. Il a connu une croissance de plus de 13 % depuis 2010 (1).

Ce développement à double tranchant a rendu le jouet plus accessible, plus diversifié, plus facile à manier, mais aussi plus dangereux et plus redoutable surtout pour les enfants en bas âge. Souvent reconnus sous le nom du danger invisible, les jouets actuels sont bourrés de substances chimiques, de phtalates, de formaldéhyde ou encore de nitrosamines et surtout de métaux lourds. Ces derniers au contact de la salive peuvent migrer à l'intérieur de l'organisme de l'enfant (2).

Par le biais du pouvoir d'accumulation dans les organes vitaux, les métaux lourds sont à l'origine de plusieurs pathologies chroniques. Évidemment, les tous petits sont plus exposés au risque de subir les méfaits d'une surdose de métaux lourds, car leur organisme est en plein croissance. Aussi leur faible poids limite la capacité de régulation et d'élimination des toxines, vient s'ajouter la faible capacité d'élimination rénale et la grande perméabilité du cerveau qui facilite le passage de ces substances.

Les dernières études toxicologiques ont révélé que de nombreux jouets contenaient des substances toxiques potentiellement dangereuses pour l'enfant, ces dernières engendraient l'augmentation de la prévalence des allergies, des maladies chroniques et des cancers(3). Cependant, des décrets nationaux et internationaux ont fixé des limites pour ces substances, notamment en ce qui concerne le taux des métaux lourds dans les jouets de moins de 3 ans(4).

Le jouet reste malgré toutes les réglementations déposées une mine de danger pour nos enfants. Le nombre d'enfants blessés par des jouets en Europe est d'environ 52 000 par an, soit 142 accidents avec des jouets chaque jour. Ces accidents peuvent être d'origine toxiques, mécaniques ou autre (5).

Ce dernier est censé être anodin et doit obligatoirement l'être, une restriction de certaines limites ainsi que la révision des textes réglementaires est demandée, vient s'ajouter la vigilance parentale et la conscience professionnelles du fabricant et du fournisseur.(4)

En Algérie, le marché du jouet reste mal élucidé d'où l'absence de données fiables et précises. Malgré les divers réglementations et restrictions qui existent dans notre pays, l'absence de control et de surveillance a laissé place à de multiples dépassements au niveau de ce secteur.

Ce travail de recherche a pour but de prouver si oui ou non nos jouets contiennent des métaux lourds, notamment dans l'ouest du pays, où une telle étude se fait pour la première fois. Les objectifs sont les suivants :

Objectif principal : Déterminer les taux de certains métaux dans différents échantillons de jouets et vérifier leur conformité par rapport aux valeurs fixées par la réglementation Algérienne et internationale.

Objectifs secondaires : Evaluer les connaissances et les habitudes d'achats des jouets pour les enfants de moins de 3 ans chez la population. Sensibiliser à la nécessité et l'importance du choix des jouets pour les enfants de bas âge.

Chapitre I: Généralités sur les jouets

I.1 Historique du jouet :

Le mot jouet est apparu à la fin du moyen âge et le début de la renaissance. Il semble venir du latin « *jocari* » qui signifie plaisanter(6). Chronologiquement parlant, L'origine du jouet remonte à la préhistoire où des cailloux et des petits coquillages étaient utilisés pour distraire les enfants(7). A priori les jouets ont peu évolué dans le temps ; les yoyos, les toupies ainsi que les poupées existaient déjà durant l'antiquité. Les billes seraient apparues au VIII^e siècle av. J-C au Caire et le hockey, en 510 av JC chez les grecs, la forme de la crosse n'ayant pratiquement pas changé depuis ce temps. Durant cette période, le jouet avait un sens beaucoup plus religieux. Malheureusement peu de ces jouets ont survécu jusque-là vu qu'ils étaient fabriqués de matériaux périssables type : paille, tissu et la terre cuite(8). (Figure 1) (9).



Figure 1 : Ancien musée de la toupie de Shuicheng avant le déménagement

Au-cours du moyen âge, un véritable artisanat du jouet est apparu. Et c'est à partir du 19^e siècle que l'industrialisation des jouets et la baisse de leurs prix ont permis leur commercialisation à grande échelle(10). Les jouets ont alors commencé à prendre de jolies formes aux détails soignés. Ainsi, les premiers magasins de jouets virent le jour après la première guerre mondiale. Les classes moyennes profitent alors de cette expansion : petites voitures fabriquées par les grandes marques automobiles, puzzle et chemin de fer électrique (7). Dès les années 1950, l'introduction du plastique de manière récurrente dans la fabrication des jouets a permis de réaliser des objets plus légers, aux couleurs qui ne ternissent pas et surtout à plus bas prix(6). (Figure 2) (11).



Figure 2 ; Cheval en bois, musée Laduz actuellement fermé

Parmi les jouets les plus cultes, les Lego et les poupées, Les premiers ont été inventés en 1948 au Danemark. D'abord fabriqués en bois puis en plastique en raison des incendies survenus au niveau de leurs sites de production(12). (Figure 3) (13).



Figure 3 : Musée de lego à Prague

L'ancêtre de la poupée est le pantin. Ce n'est qu'à partir du 16ème siècle que la poupée devient un vrai jouet de prédilection pour les enfants issus de l'aristocratie(7).

Elle est alors faite de bois et de chiffon. En ce qui concerne la poupée Barbie en elle-même, elle est née en 1959, Sa créatrice eut cette idée en voyant sa fille Barbara jouer avec des poupées en papier(14). (Figure 4) (15)



Figure 4: Musée de la poupée, Paris

I.2 Définitions :

Le mot Jouet est défini dans le Larousse comme un objet conçu pour amuser un enfant(16).

I.2.1 Dans la réglementation nationale :

Selon le journal officiel de la république algérienne N°85, décret exclusif n°97-494 du 21 Chaàbane 1418 correspondant au 21 Décembre 1997 relatif à la prévention des risques résultants de l'usage des jouets, dans l'Article 2 on entend par jouet, tout produit conçu ou manifestement destiné à être utilisé à des fins de jeu par des enfants d'un âge inférieur à 14 ans(17).

I.2.2 Dans la réglementation Internationale :

La directive européenne concernant les jouets a défini ces derniers, comme tout produit conçu ou manifestement destiné à être utilisé à des fins de jeux par des enfants d'un âge inférieur à 14ans (18). Quant à la réglementation américaine, elle a parlé des jouets de manière général : Un jouet est tout objet conçu, fabriqué et commercialisé pour les enfants de moins de 14 ans. Puis les jouets pour enfants : Un jouet est un produit de consommation conçu ou prévu par le fabricant pour un

enfant de 12 ans ou moins, pour être utilisé lorsque l'enfant joue(19).

La réglementation Canadienne, possède presque la même définition, le guide des exigences de Santé en matière de sécurité des jouets pour enfants et des produits connexes dans son article 1 définit le jouet comme suite : c'est un produit destiné à être utilisé par un Enfant de moins de quatorze ans à des fins éducatives ou récréatives (20).

I.3 Rôle des jouets dans le développement de l'enfant :

Un jouet doit avoir généralement un but bien précis, allant du simple babillage aux gestes les plus complexes, un jouet a toujours un rôle primordial dans n'importe quel geste ou fait de l'enfant.

Chaque type de jouet est adapté à une tranche d'âge bien précise. Les six premiers mois, on a tendance à utiliser des hochets, des peluches, des tapis d'éveil pour stimuler la sensation d'une présence autour du bébé, pour les six mois qui suivent sa gestuelle est plus précise, on recommande alors des jouets et des livres sonores, ou bien des cubes à remplir pour booster la compréhension de la relation geste-effet. A l'âge de la marche, les jouets qui se poussent ou qui se tirent lui donneront de l'assurance, les jeux d'encastrement confirmeront sa manipulation minutieuse, et les livres avec de grandes images développeront son imagination.(21), (22).

En psychologie, le jeu aide les enfants moins verbaux et ceux avec des troubles psychologiques à être en mesure d'exprimer leurs points de vue, leurs expériences et même leurs frustrations par le jeu, ce qui permet à leurs parents de mieux les comprendre(23).

Chaque type de jouet a un impact différent sur le développement de l'enfant, par exemple les jeux sensoriels donnent le plaisir à éprouver des sensations, les jeux moteurs développent l'adresse, la force, l'agilité du mouvement et le langage. Tandis que les jeux intellectuels accroissent l'imagination, Ils poussent à la curiosité et le désir de comprendre, les jeux d'inhibition volontaire incitent à promouvoir la volonté (24).

La matière du jouet a aussi son impact aussi, par exemple ceux en bois ou en tissu sont plus agréables au toucher, ces derniers peuvent avoir un rôle sur l'appréciation esthétique de l'enfant plus tard(25).

I.4 Composition des jouets :

Autre fois les jouets étaient à base de terre cuite, de métal, de bois, d'os, de paille et de tissus.(6) Actuellement, ils sont beaucoup plus sophistiqués et leur fabrication fait appel à différents matériaux notamment : le bois (puzzles cubiques, pyramides...), rarement utilisé à l'état brute, il est généralement recouvert d'un revêtement ou d'un vernis. Le plastique est, pour sa part, présent dans la plupart des jouets (lego, poupées, ballons...). Selon la Swedish Chemical Agency et Plastics Europe, les matières plastiques utilisées dans les jouets sont : le polyéthylène, les polyesters (PES), le polychlorure de vinyle (PVC), le polypropylène (PP), le polyuréthane (PU), le polycarbonate (PC), le poly acrylonitrile butadiène styrène (ABS), le poly acétate de vinyle (EVA) et les époxydes (EP).

On retrouve également des jouets composés de métal (petites voitures de collection ...), de tissu (peluche, tapis d'éveil...), de carton (puzzles et livres sonores....) ou bien même d'un mélange de différents matériaux(22).

I.5 Classifications des jouets :

I.5.1 Nationale :

Il n'existe à ce jour aucune classification algérienne harmonisée des jouets permettant de catégoriser un jouet en particulier.

I.5.2 Internationale :

I.5.2.1 Européenne :

En se basant sur la directive européenne 88/378/CEE relative à la sécurité des jouets, la commission européenne a fixé des dispositions strictes concernant les jouets destinés aux enfants de moins de 36 mois. Ces derniers sont plus exposés à des risques en raison de leur immaturité physique et mentale et leur tendance à tout mettre dans la bouche. En vue de distinguer la catégorie de jouets destinés à cette tranche d'âge un groupe d'experts a identifié quelques facteurs clés : Le développement mental et les capacités d'abstraction, la psychologie des enfants à cet âge, leur attitude à tout ce qui est petit (enfant, bébé...) et la maniabilité du jouet(26).

Selon ces facteurs les jouets ont été classés en différentes catégories de jouets. (Tableau I) (27).

Tableau I : Catégories de jouets selon le développement psychologique et physiologique des enfants de bas âge

L'âge	Le développement psychologique et physiologique	Jouets
De 0 à 6 mois	Stimulation des sens du bébé.	Les hochets, le mobil musical, les peluches.
De 6 à 9 mois	Développement de la sensation de toucher et l'envie d'attraper des choses.	Les petits jouets qui font du bruit, les jeux de bain, et les tapis d'éveil.
De 9 à 12 mois	Apprendre à faire la relation geste/effet.	Un petit piano, des cubes à remplir et des livres sonores.

De 12 à 18 mois	Le pouvoir de marcher et se déplacer.	Les jeux d'encastrement Les livres avec de grandes images
-----------------	---------------------------------------	--

I.5.2.2 Américaine :

Selon les lignes directrices américaines, il existe huit catégories principales de jeux. Chaque catégorie de jeu est à son tour divisée en deux à cinq sous-catégories. Ces sous-catégories correspondent aux types généraux de produits que les enfants utilisent lorsqu'ils jouent. Les informations présentées dans chaque sous-catégorie de produits sont réparties par tranches d'âge : De la naissance à 3 mois, de 4 à 7 mois, de 8 à 11 mois, de 12 à 18 mois, de 19 à 23 mois, de 2 ans, 3 ans, de 4 à 5 ans, de 6 à 8 ans et de 9 à 12 ans (tableau II) (28).

Tableau II : Catégories et sous catégories des jeux selon les lignes directrices américaines

Catégorie des jeux	Sous-catégorie	Exemples
Jeu d'exploration et d'entraînement	Miroirs, jouets mobiles à pousser et à tirer	Hochets, jouets à presser, Jouet avec roues et corde à tirer
Jeu de construction	Blocs / Matériaux de construction	Blocs /Blocs de raccordement de brique.
Jeux de simulation	Poupées et leurs accessoires	Poupées / maison de poupée /costumes
Jeux d'activité	Puzzles / Cartes	Puzzles cubiques / table de Carte
Jeux de sport /jeux de plein air	Equipement de sport	Bicyclettes
Jeux de media	Arts et Craft / équipement musical	Peintures, papier, paillettes, Ciseaux
Jeux éducatifs et académiques	Livres / produits d'apprentissage	Papier, colorant
Jeux de technologie	Ordinateur / jeux vidéo	DVDs / CDs / Mp3s

I.5.2.3 Selon l'ISO :

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) s'est elle aussi intéressé à la conformité des jouets aux règles de sécurité par le biais de son document ISO/TR 8124-8 publié en 2016,

L'ISO 8124 comprend 8 parties présentées sous le titre général de sécurité des jouets, la 8^{ème} partie représentant les lignes directrices pour la détermination de l'âge a classé les jouets comme suite (29) :

- Activités sensorimotrices : premier âge.
- Jouets pour les activités physiques.
- Jouets pour les activités intellectuelles.
- Jouets reproduisant le monde de la technique.
- Jouets pour le développement des sentiments et de l'empathie.
- Jouets pour les activités créatives.
- Jouets favorisant les relations sociales.

I.6 Scénarios d'exposition aux contaminants présents dans les jouets :

Le jouet est un outil à double tranchant, son développement à travers le temps a fait de lui un objet ludique par excellence, mais aussi une véritable mine de dangers mécaniques et toxiques suite au dépassement des limites de certaines normes de contaminants ainsi que le non-respect des consignes de sécurité. Des études ont montré que la population la plus concernée avait une tranche d'âge comprise entre 6 mois et 4 ans avec une prédominance masculine. La principale source d'exposition des enfants aux contaminants présents dans les jouets reste la voie orale, suivie des voies cutanée et respiratoire (30).

I.6.1 La voie orale :

Les enfants en bas-âge sont les plus concernés par cette voie d'exposition, un jouet peut être ingéré directement en entier (piles, roues...) ou en partie (peinture des revêtements...). Un jouet peut aussi être mis dans la bouche avec un effet de succion ou de léchage, la salivation permettra alors aux contaminants de migrer vers l'organisme (31).

I.6.2 La voie cutanée :

Le passage cutané des métaux lourds par cette voie est négligeable voir nul pour certains composants, son principal effet se résume au pouvoir allergisant que pourraient avoir certains parfums et contaminant (32).

I.6.3 La voie pulmonaire :

La présence de certains aérosols toxiques dans des jouets, permet l'inhalation de contaminants, elle peut être importante si la voie orale s'ajoute elle aussi, les gouttelettes passeront ainsi par les deux voies d'exposition.

Le schéma suivant démontre les différents scénarios d'exposition : (Figure 5) (22).

scenario I :	Ingestion directe
Scenario II :	Mise en bouche (léchage/succion)
Scenario III :	Inhalation <i>via</i> évaporation
Scenario IV :	Inhalation <i>via</i> la poussière ou les sprays
Scenario V :	Contact cutané

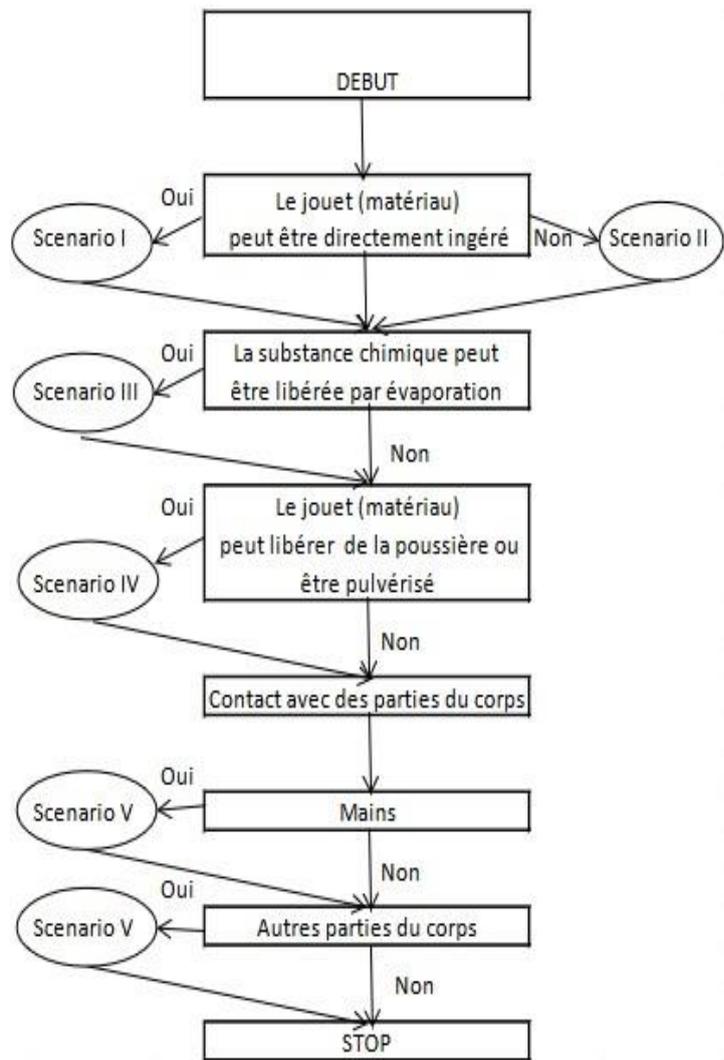


Figure 5 : Arbre de décision des scénarios d'exposition

Selon une approche fondée sur le risque des substances chimiques, on envisage des scénarios qui se diffèrent les uns des autres par la voie de pénétration. (Figure 6) (33).

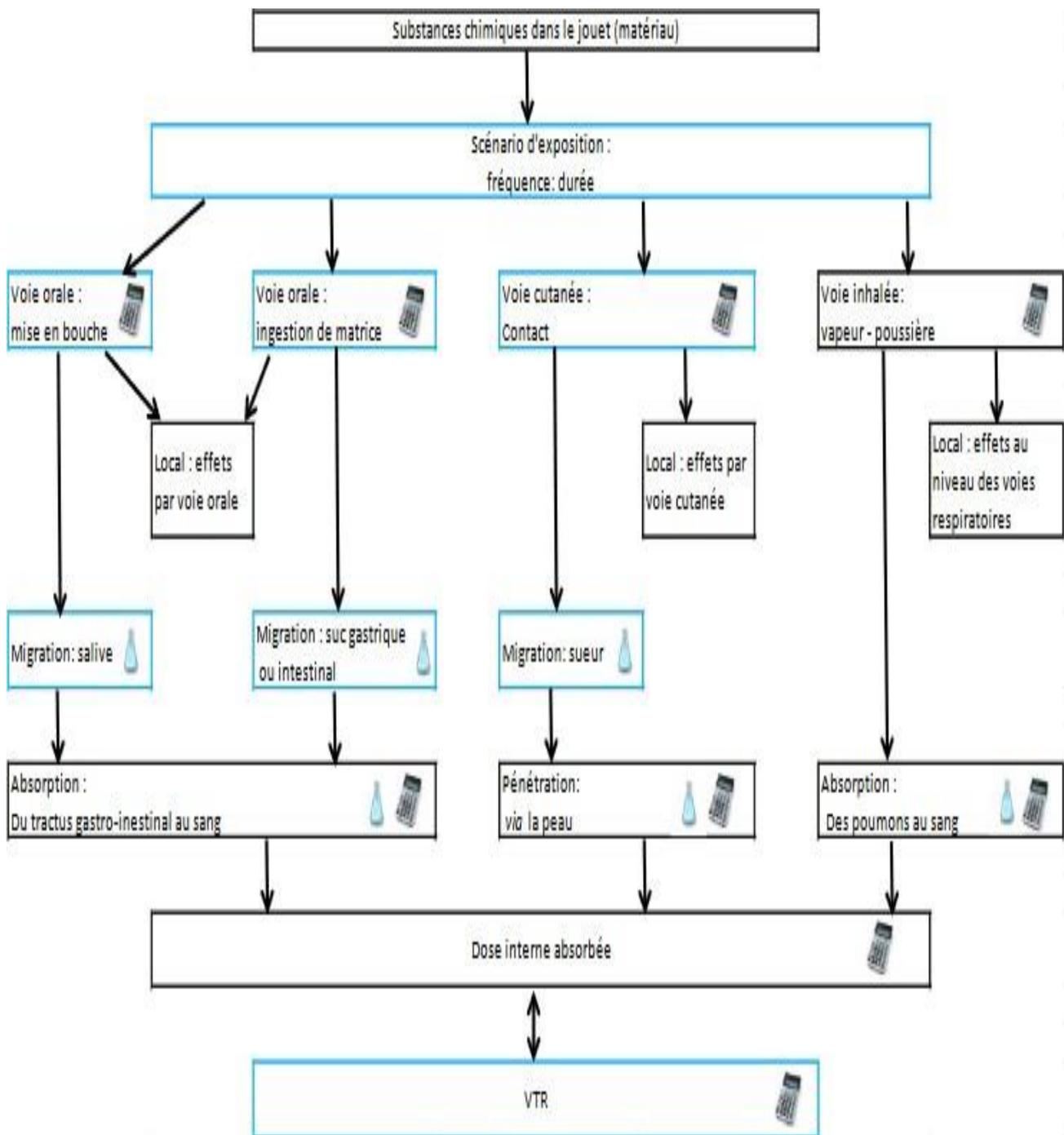


Figure 6 : Schéma basé sur les risques des substances chimiques présentes dans les jouets

La quantité de substances ayant migré à partir d'une quantité maximum de jouet pouvant être ingéré divisé par le poids corporel de l'enfant, doit être inférieure à la fraction allouée de VTR (valeur toxicologique de référence) (22).

I.7 Les facteurs favorisant la toxicité par les jouets :

Pour but de trouver des solutions qui protégeront nos enfants au cours du jeu, il est impératif de connaître les facteurs favorisant l'éventuelle toxicité par les multiples contaminants :

- **La voie d'exposition** : c'est le paramètre le plus important, la voie orale est la plus incriminée. On parle surtout de la qualité de la salive, cette dernière varie selon des facteurs :

- **Des facteurs liés à l'individu** : le type de glande produisant la salive, la viscosité de la salive, les facteurs constitutionnels ou génétiques, l'âge, le degré d'hydratation, l'état de vigilance du sujet, la position du corps, ou encore d'éventuelles pathologies (stomatodynie, syndrome de Gougerot-Sjögren, etc.).
- **Des facteurs extérieurs** : le moment de la journée avec une diminution durant le sommeil et des pics lors repas/stimulations acides, le moment de l'année avec une diminution en été et des sécrétions maximales en hiver, l'exposition à la lumière, les médicaments, la durée et la nature de la stimulation (34).

-**Le type de jouet utilisé** : les vieux jouets sont plus incriminés d'être plus chargés en métaux lourds à cause de l'absence de lois et de réglementations dans ce domaine à l'époque. Des chercheurs de l'université de Plymouth à l'Angleterre ont trouvé du chrome, du plomb, du sélénium et de l'antimoine dans une série de vieux jouets datant de 1970 et 1980 (35).

-**L'âge** : généralement les enfants de moins de 36 mois sont les plus touchés par ce type d'intoxication, ils ont tendance à tout mettre dans la bouche, ils ont un système immunitaire encore immature et des organes en développement (36).

-**La durée et la surface d'exposition** : ces deux paramètres varient dans le même sens de la toxicité, l'augmentation de l'une entraîne systématiquement l'augmentation de l'autre.

- il y a une approche qui prouve que certaines couleurs seraient plus concentrées en métaux que d'autres, notamment pour la pâte à modeler et les legos. Les chercheurs de l'université de Plymouth ont trouvé que la couleur jaune, rouge et noir contenaient beaucoup plus de brome, de cadmium et de plomb, donc ils seraient plus toxiques (37).

Chapitre II: Les éléments traces métalliques (ETM)

II.1 Définition des éléments traces métalliques (ETM) :

Le terme « élément trace » regroupe les vrais métaux et les éléments qui s'en rapprochent physiquement et chimiquement. En biologie, un élément est dit « trace » lorsque sa concentration est inférieure à 0.1‰ dans l'organisme de l'être vivant. L'appellation « métal lourd » est souvent utilisée. C'est un terme imprécis utilisé pour désigner des éléments métalliques ayant un effet néfaste sur l'environnement (38).

En 1983, le congrès de Heidelberg sur les métaux lourds a défini les éléments traces métalliques sur le plan physique, comme tout élément de masse atomique élevée (> 100 uma) ou de masse volumique supérieure à 5g/ml, en se basant sur le tableau de Mendeleïev(39). (Figure 7) (40).

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

Le tableau périodique des éléments est présenté ci-dessous. Un encadré met en évidence les données de l'élément Fer (Fe) :

- Masse atomique : 55.845
- Numéro atomique (nombre de protons dans le noyau) : 26
- Symbole chimique : Fe
- Nom : fer

Le tableau est coloré par groupes d'éléments :

- métaux alcalins
- alcalino-terreux
- métaux pauvres
- métaux de transition
- métalloïdes
- non-métaux
- halogènes
- gaz rares

Sources : IUPAC, Wikimedia Commons

Figure 7 : Tableau périodique des éléments

Les métaux les plus souvent considérés comme toxique pour l'homme sont : le plomb, le mercure, l'arsenic et le cadmium, d'autres comme le cuivre, le zinc, le chrome, qui sont nécessaires pour l'organisme en petites quantités, peuvent devenir toxiques à doses plus importantes(41).

Toute fois le mot toxique est souvent relatif à la concentration de l'élément, en ayant à l'esprit la célèbre phrase de Paracelse : Tout est poison, rien n'est poison, seule la dose fait le poison(42).

II.2 Classification des éléments traces métalliques :

Il existe plusieurs classifications des éléments traces métalliques .

II.2.1 Classification basée sur les propriétés de complication :

Cette classification est proposée par Nieboer et Richardsonont (43). (Tableau III)

Tableau III : Classification basée sur les propriétés de complication

Classe A	Elle regroupe les éléments qui ont une affinité pour des ligands contenant des atomes d'oxygène.
Classe B	Elle regroupe des éléments qui ont une affinité pour des ligands contenant des atomes d'azote et du soufre.
ClasseC (intermédiaire)	Elle regroupe des éléments ayant une affinité à la fois pour l'oxygène, l'azote et le soufre.

II.2.2 Classification physiologique et toxique :

II.2.2.1 Métaux essentiels :

C'est des éléments indispensables, à l'état de trace, pour de nombreux processus cellulaires en proportion très faible dans les tissus biologiques. Ils peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe) (44).

II.2.2.2 Métaux non essentiels (toxiques) :

Ils ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique pour la cellule ; la toxicité se fait par bioaccumulation le long de la chaîne alimentaire. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg) et du cadmium (Cd)(45).

II.3 Origine des métaux :

Les métaux lourds sont présents dans une multitude de déchets en proportions très variables. Les métaux les plus souvent retrouvés sont le cuivre, le chrome, le nickel, et le zinc en raison de la diversité de leurs applications. Les éléments très toxiques, tels que le mercure, le plomb, l'arsenic et le cadmium, qui normalement ne sont pas très utilisés font l'objet de plusieurs études de fraudes et de dépassements dans différents domaines (46).

La complexité et la difficulté du contrôle des émissions de métaux lourds dans l'environnement résultent de la diversité des sources de rejets. Mais certains secteurs restent plus incriminés que d'autres (47). (Table IV) (48),(49).

Tableau IV : principale source d'exposition des métaux

Le métal	L'origine
Plomb	Ferraille, piles, batteries, matière plastique, ancienne peinture, céramiques et porcelaine, alliage à base d'étain, engrais, eau de boisson (canalisation en plomb), métallurgie du zinc et du plomb, soudure...
Arsenic	Peinture, alliage et soudure, colorants, les semis conducteurs, engrais et pesticides, combustion du charbon, sous-produit important de l'exploitation de l'or et du cuivre, herbicides, pesticides, produits de préservation du bois, incinération de déchets, industrie électronique et fabrication de verres décoratifs.
Cadmium	Batteries, alliages et soudure, résidus d'engrais phosphatés, matières plastiques, verre, céramiques et peintures.
Cuivre	Les épandages, engrais, insecticides, molluscicides, bactéricides, herbicides, fongicides, chaudronnerie et plomberie.
Mercure	Piles, lampes à décharge, composants électriques et électronique, thermomètres, peintures et certains produits pharmaceutiques, amalgames dentaires qui contiennent presque 50% de mercure.
Le zinc	Batteries, pigments, alliage et soudure, engrais et pesticide, déchet de combustion.

II.4 Les propriétés physiques des métaux :

On ne peut déduire le mécanisme d'action, ainsi que la toxicologie des métaux lourds si on ne connaît pas les propriétés physiques de ces derniers. (Table V) (50),(51),(52),(53).

Tableau V : Les propriétés physiques de certains éléments de traces métalliques

Le métal	Température de fusion	Température d'ébullition	Densité à 20°C (g/cm³)	Solubilité dans l'eau
Plomb	327°C	1740°C	11,35	Insoluble
Arsenic	817°C	613°C	5.7	Insoluble
Cadmium	321°C	767°C	8.65	Insoluble
Mercure	-39°C	356.9°C	13.6	Insoluble
Chrome	1907°C	2671°C	7.15	Insoluble
Zinc	419.527°C	907°C	7.13	Insoluble
Cuivre	1 084,62 °C	2 562 °C	8,96	Insoluble

II.5 Mécanisme d'action des métaux au sein de l'organisme :

La toxicité des métaux est due essentiellement à leur non-dégradabilité, leur toxicité à faible concentration et leur tendance à s'accumuler dans les organismes vivants et à se concentrer le long des chaînes trophiques.

La fonction thiolooprive est commune entre la plupart des métaux lourds, cette dernière signifie que les métaux se fixeront sur des protéines, des enzymes et des acides aminés soufrés perturbant ainsi le bon fonctionnement de l'organisme. Néanmoins chacun d'eux possède un mécanisme toxique propre à lui.

II.5.1 Le plomb :



Figure 8 : Le plomb

La similarité des cations de plomb Pb^{2+} avec le Ca^{2+} , Zn^{2+} et le Mg^{2+} est la cause principale d'interférence avec de nombreux processus biochimiques. La toxicité peut se manifester par la perturbation de l'homostasie calcique, l'inhibition de l'initiation de la synthèse protéique au niveau ribosomal et par l'interférence avec la synthèse de l'hème, des porphyrines, de la myoglobine et du cytochrome P450. Il en résulte une baisse de l'hémoglobine avec apparition de coproporphyrine et d'acide delta-aminolévulinique dans les urines. Par ailleurs, l'inhibition de l'acide delta-aminolévulinique déshydrogénase reste l'indice le plus sensible à l'action biochimique du plomb (54), (55).

II.5.2 Le cadmium



Figure 9 : Le cadmium

Suite au caractère thioloprive, le cadmium inhibe la protéine kinase C, il provoque aussi une déplétion intracellulaire en glutathion (GSH) et par la suite une inhibition du processus de détoxification cellulaire.

Concernant le métabolisme calcique, le cadmium freine l'absorption intestinale du calcium, et prévient ainsi son dépôt sur l'os. Il stimule aussi la mobilisation progressive du calcium osseux provoquant par suite l'ostéoporose. La similitude du cadmium et le calcium fait que le cadmium inhibe la Ca^{2+} -ATPase, enzyme calmoduline dépendante, entraînant ainsi une diminution intracellulaire de la concentration du calcium et l'inhibition de la transmission de l'influx nerveux(40),(56).

II.5.3 Arsenic :



Figure 10 : L'arsenic

L' As^{3+} exerce sa toxicité en inactivant environ 200 enzymes, notamment celles participant à la détoxification cellulaire et d'autres participant à la synthèse et à la réparation de l'ADN (57).

La toxicité des sels trivalents (As^{3+}) est beaucoup plus importante que celle des dérivés pentavalents (As^{5+}). L' As^{3+} se fixe sur les groupements thiols. Il est à l'origine d'une asphyxie thioloprive responsable d'atteintes métaboliques et organiques multiples. Tandis que les dérivés minéraux de l'arsenic sont doués de propriétés cancérigènes et mutagènes. L'arsine (AsH_3) entraîne, en se fixant sur l'hémoglobine, une anémie hémolytique avec une induction de lésions rénales. L'arsenic donne lieu également à une diminution du VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor). Il en résulte des lésions vasculaires pouvant aller jusqu'à l'ischémie ou la thrombose (58),(59).

II.5.4 Le zinc :



Figure 11 : Le zinc

Le zinc est un constituant essentiel d'au moins 120 métalloenzymes (l'anhydrase carbonique, les phosphatases alcalines, la carboxypeptidase, les oxydoréductases, les transférases, les ligases, les hydrolases, les isomérase,...).Il a également un rôle important dans la synthèse des acides nucléiques ARN (acide ribonucléique) et ADN (acide désoxyribonucléique) et dans la régulation du catabolisme de l'ARN Il intervient aussi dans la transformation des lymphocytes T et agirait dans la synthèse de l'insuline. Ainsi, le zinc participe au métabolisme des glucides, des lipides, des protéines. Il tient une place indispensable dans la croissance du prématuré, du nourrisson et de l'enfant (60).

II.5.5 Le cuivre :



Figure 12 : Le cuivre

Le cuivre est essentiel à l'action de nombreuses enzymes. A ce titre, il intervient dans le métabolisme de plusieurs nutriments notamment les glucides , les lipides et le fer. Il contribue à la formation des globules rouges, aux défenses immunitaires, à la minéralisation osseuse, à la régulation des neurotransmetteurs, à la production de mélanine (pigment qui protège la peau du soleil). Vient s'ajouter son action antioxydante, il est un cofacteur de la superoxyde dismutase (une enzyme clé dans la défense contre les phénomènes excessifs d'oxydation) (61),(62).

II.6 Toxicité des métaux :

Les métaux lourds sont à l'origine d'un grand nombre de pathologies : maladies neurodégénératives de type Alzheimer, Parkinson, sclérose en plaque, troubles du système nerveux, des voies respiratoires, cancers du rein, du poumon, du foie, irritations et fatigue chronique (63).

II.6.1 Le plomb :

Le plomb est la cause d'un grand nombre d'empoisonnement par rapport aux autres métaux, il touche principalement le système nerveux central, le système nerveux périphérique, le système hématopoïétique et le rein.

Les symptômes fréquents sont les douleurs abdominales, l'hypertension, la fatigue, l'autisme, la faiblesse musculaire ; l'encéphalopathie saturnique est l'atteinte la plus grave dans l'atteinte saturnique du plomb. On note aussi l'anémie, une atteinte rénale sous forme d'une néphropathie, l'hypertension artérielle, ou plus rarement une atteinte thyroïdienne ou reprotoxique (64).

Certes le Pb est très toxique pour l'homme, mais le fœtus et le jeune enfant y sont particulièrement plus sensibles, il est plus neurotoxique, il provoque aussi une hyperactivité et un déficit de l'attention surtout pour les enfants ayant un comportement picabe (la consommation habituelle d'objets non alimentaires) (65).

Le risque d'intoxication saturnique est plus élevé chez les jeunes enfants, plus particulièrement de 1 à 3 ans. Le système nerveux central des enfants est particulièrement sensible à l'action toxique du plomb. Une encéphalopathie aiguë convulsivante apparaît généralement lorsque la plombémie est de l'ordre de 1.000 ug/l. Elle n'a jamais été observée lorsque la concentration sanguine de plomb est inférieure à 700 ug/l. Chez les enfants dont la plombémie est comprise entre 500 et 700 ug/l, des troubles neurologiques moins sévères sont souvent observés (diminution de l'activité motrice, irritabilité, troubles du sommeil, modifications du comportement et stagnation du développement intellectuel) (66).

L'exposition au plomb lors de la grossesse entraîne des changements épigénétiques transmissibles non seulement aux enfants mais également aux générations suivantes (67). Les composés du plomb sont des agents chimiques CMR (cancérogènes, mutagènes, reprotoxique). Le plomb et ses dérivés inorganiques sont classés par le CIRC dans le groupe 2A (probablement cancérigène pour l'homme) (68).

II.6.2 Le cadmium :

Les effets du cadmium n'apparaissent qu'après ingestion d'au moins 10mg de cadmium, généralement, on observe des gastro-entérites avec des vomissements, des diarrhées, des myalgies et des crampes épigastriques. Une exposition à long terme peut conduire à des

maladies d'obstruction pulmonaire, rénale et une fragilité des os , ainsi qu'à des retards de croissance, de l'ostéoporose et des maladies cardio-vasculaires (69).

Le cadmium interagit aussi avec un certain nombre de minéraux tel que le Zn, Fe et le Cu. Il peut affecter le métabolisme du Ca et du P (69).

Au Japon, en 1912 le Cadmium a causé une maladie osseuse dite la maladie Itai-Itai. Le CIRC a également confirmé un effet cancérigène du cadmium sur l'organisme depuis 1993, principalement au niveau pulmonaire (70). Il est classé dans le groupe 1 par le CIRC (cancérigène certain pour l'homme) (71).

II.6.3 L'arsenic :

L'exposition à l'arsenic associe des nausées, vomissements, douleurs abdominales et diarrhées sévères. Cette symptomatologie digestive est appelée le « choléra arsenical » qui peut être hémorragique. Il peut y avoir une rémission trompeuse des symptômes digestifs avec possibilité d'encéphalopathie et de neuropathie périphérique entraînant des fourmillements et engourdissements dans les extrémités (72). Tout cela pouvant conduire à la mort par défaillance multi-systémique avec un choc cardiogénique et hypovolémique, une acidose, une coagulopathie de consommation et une détresse respiratoire (73).

L'exposition continue même à faible dose, peut provoquer des modifications nerveuses et sensorielles, elle cause aussi un assombrissement de la peau et l'apparition de petits « cors » ou « verrues » sur les paumes, la plante des pieds et le torse (74).

L'arsenic inorganique est un cancérigène connu et peut causer le cancer de la peau, des poumons, du foie et de la vessie (75). Le CIRC classe l'arsenic comme étant cancérigène de groupe 1. Les dérivés MMA et DMA intermédiaires trivalents seraient cytotoxiques, génotoxiques et cancérigènes (76).

II.6.4 Le mercure :

Le mercure cause l'anxiété, la perte de mémoire, la dépression, les migraines chroniques, les allergies et certains cancers. L'exposition aux vapeurs de certains amalgames dentaires au mercure augmente le risque d'Alzheimer, des maladies des reins, des arthrites et de la sclérose en plaques (77).

L'exposition à des niveaux élevés peut endommager de façon permanente le cerveau, diminuer la sensibilité des extrémités (paresthésie), causer des tremblements et des incoordinations de mouvements (ataxie) ainsi que le rétrécissement du champ visuel(78).

II.6.5 Le zinc :

Physiologiquement, le zinc est un oligoélément essentiel pour le bon fonctionnement de l'organisme.

Les interférences de cet élément avec le métabolisme du cuivre et du fer causent principalement une anémie. Généralement, le zinc peut avoir des effets protecteurs vis-à-vis d'autres métaux. Il protège des effets du cadmium en stimulant la synthèse de métallothionéines, et il limite les effets inhibiteurs du plomb sur l'alanine déshydrogénase des hématies (79).

Les sels solubles de zinc sont toxiques par ingestion, Ils peuvent provoquer des irritations des muqueuses gastro-intestinales (chlorure de zinc), l'inhalation de leurs fumées peut également provoquer des irritations des muqueuses respiratoires (chlorure de zinc), des dermatoses et ulcérations de la muqueuse nasale (chromate de zinc. Les chromates de zinc sont classés cancérigènes catégorie 1 par l'UE et groupe 1 par le CIRC, les données ne permettent pas d'évaluer la toxicité sur la reproduction (80).

Le zinc n'est pas classé comme carcinogène pour les humains par le CIRC (68).

II.6.6 Le cuivre :

Malgré le nombre peu élevé de cas d'intoxication notés, le risque est toujours présent, car il existe des produits contenant de fortes concentrations de cuivre. Dans la majorité des cas, il y a une atteinte gastro-intestinale suivie d'une évolution favorable (81). L'intoxication au cuivre peut provoquer des symptômes mentaux et émotionnels (anxiété, irritabilité, dépression...). La toxicité à long terme du cuivre peut également être mortelle ou causer des problèmes rénaux, hépatiques, cardiaques et cérébraux (82). Selon le CIRC le cuivre appartient au groupe 3 (l'agent ne peut être classé du point de vue de sa cancérigénicité pour l'homme) (68).

II.7 Rôle des métaux lourds et autres composants toxiques dans les jouets :

On peut trouver plusieurs substances toxiques dans les jouets comme le bisphénol A dans les jouets en plastique, le formaldéhyde dans les jouets en bois, le formamide dans les tapis en mousse et les métaux lourds dans les revêtements et la peinture des jouets. On retrouve également les perturbateurs endocriniens, les substances neurotoxiques comme le plomb, les parfums, ou encore les substances cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction appelée CMR, ainsi que les phtalates(83).

Généralement ces éléments sont ajoutés intentionnellement à des fins esthétiques, économiques ou bien pour améliorer la stabilité du matériel utilisé :

- Le Pb, le Cd et le Zn, sont utilisés comme stabilisants.
- Le plomb dans le revêtement compte beaucoup moins cher que ses alternatives sans pb (65).
- Les phtalates sont utilisés comme plastifiants et fixateurs d'arômes artificiels.
-

- Le cadmium comme colorant (du jaune au rouge) utilisé pour la fabrication des jouets en plastique surtout le PVC (84).
- Le DINCH est utilisé dans les plastiques pour rendre le matériau mou et souple, par exemple dans les anneaux de dentition pour bébé (85).

Les métaux lourds retrouvés dans les jouets en bois et en plastique sont principalement présents dans les peintures et les pigments. Ils permettent de colorer les jouets. C'est le cas par exemple du plomb, du baryum, du sélénium et de l'antimoine (86).

Beaucoup de vieux jouets et de jouets vintage des années 80 contiennent aussi des teneurs importantes en métaux lourds. Ils ont notamment de trop fortes concentrations en plomb et en arsenic car nos anciens jouets ne respectaient aucune réglementation (87).

Chapitre III: Réglementations et analyses

III.1 Réglementation :

Un jouet est censé être conçu et fabriqué de manière à ne pas présenter, en cas d'utilisation ou d'usage prévisible des risques pour la santé de l'enfant, une multitude de réglementations existent afin de neutraliser tout dépassement de normes (88).

III.1.1 Nationale :

Selon le journal officiel de la république algérienne n°85, décret exclusif n°97-494 du 21 Chaàbane 1418 correspondant au 21 Décembre 1997 relatif à la prévention des risques résultants de l'usage des jouets ; la biodisponibilité de quelques constituants ne doit pas dépasser certaines normes (17). (Table VI)

Lorsque l'on parle de la biodisponibilité d'une substance chimique dans le contexte de l'innocuité des jouets, on se réfère à la faculté qu'a cette substance chimique à migrer d'un produit ou d'un jouet pour être absorbé par le corps de l'enfant en passant par les voies gastro-intestinales, les poumons ou la peau et les muqueuses (89).

Tableau VI : Limites acceptables de biodisponibilité des métaux lourds par jour

Le métal	Seuil de biodisponibilité acceptable
Antimoine	0,2 microgramme
Arsenic	0,1 microgramme
Baryum	25 microgrammes
Cadmium	0,6 microgramme
Chrome	0,3 microgramme
Plomb	0,7 microgramme
Mercure	0,5 microgramme
Sélénium	5 microgrammes

Une année après, une mise à jour des normes a été faite. Le journal officiel de la république algérienne n°18, a fixé quelques doses limites acceptables de certaines substances chimiques qu'on peut retrouver dans les jouets) (90).

Tableau VII: Doses limites acceptables de certaines substances chimiques dans les jouets

	Jouets	Revêtement du jouet par poids sec du produit concentré	Pâte à modeler
Antimoine	60 mg/kg	1000mg/kg	60mg/kg
Arsenic	25mg/kg	1000mg/kg	25mg/kg
Alcool méthylique	1% du poids total		
Baryum	500mg/kg	1000mg/kg	250mg/kg
Bromoacétate d'éthyle	Interdit	1000mg/kg	
Cadmium	75mg/kg		50mg/kg
Chrome	25mg/kg	1000mg/kg	25mg/kg
Hexachlorophène	0,2% du poids total		
Hydrocarbures aliphatiques ou aromatiques	Moins de 0.5% du poids total du produit concentré		
Mercure	60 mg/kg	200mg/kg	25mg/kg
Plomb et composés	90mg/kg	5000mg/kg	90mg/kg
Sélénium	500mg/kg	1000mg/kg	500mg/kg
Terpènes	10% du poids total du produit concentré		

III.1.2 Internationale :

III.1.2.1 Européenne :

La sécurité des jouets est harmonisée au niveau européen par la directive n° 2009/48/CE ? transposée en droit national début 2010, cette directive a précisé et renforcé les exigences de la directive précédente, qui datait de 1988, notamment en matière de substances chimiques, et

cela en abaissant les valeurs limites concernant certains métaux lourds, des allergènes, ou certaines substances cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques, ainsi qu'en instaurant de nouveaux seuils pour de nouvelles substances (par exemple : aluminium, cuivre, nickel, étain, zinc, ...)(91). Le tableau ci-dessus (tableauVIII) représente les limites de migration acceptables de certains métaux lourds dans les jouets dans ses différents états :(26)

Tableau VIII: Limites de migration acceptables de certains métaux lourds dans les jouets

Éléments	Mg/kg de matière de jouet sèche, friable, poudreuse ou souple	Mg/kg de matière de jouet liquide ou collante	Mg/kg de matière grattée du jouet
Aluminium	5625	1406	70000
Antimoine	45	11,3	560
Arsenic	3,8	0,9	47
Baryum	4500	1125	56000
Bore	1200	300	15000
Cadmium	1,9	0,5	23
Chrome trivalent	37,5	9,4	460
Chrome pentavalent	0,02	0,005	0,2
Cobalt	10,5	2,6	130
Cuivre	622,5	156	7700
Plomb	13,5	3,4	160
Manganèse	1200	300	15000
Mercur	7,5	1,9	94
Nickel	75	18,8	930
Sélénium	37,5	18,8	930
Strontium	4500	1125	56000
Etain	15000	3750	180000
Etain organique	0,9	0,2	12
Zinc	3750	938	46000

Toutefois, l'Allemagne ne se soumet pas à ces règles et préfère garder ses propres limites qui sont plus stricts.

La France, a également élaboré une nouvelle norme dite NF EN 71-3, cette dernière a été publiée en juillet 2013 par AFNOR (Association française de normalisation). Elle est spécifique aux exigences et aux méthodes d'essai de la migration de nombreux composants chimiques retrouvés dans la fabrication des jouets afin de répondre aux enjeux fixés par la réglementation (directive européenne 2009/48/CE Sécurité des jouets). (92)

Les jouets importés d'Asie vers l'UE doivent être exempts de substances mutagènes,

cancérogènes et reprotoxiques (CMR). D'un autre côté, le caoutchouc utilisé pour la fabrication des jouets destinés aux enfants de moins de 3 ans doit être dépourvu de nitrosamines. Parmi les produits parfumants utilisés dans la fabrication des jouets, 55 composés allergisants ont été interdits. La présence de toute substance allergisante doit être mentionnée sur l'étiquette des jouets fabriqués en Chine. Pour les jouets importés en Europe ils doivent être exempts de métaux lourds.(93)

III.1.2.2 Chinoise :

Aujourd'hui, 75 % des jouets vendus à travers le monde sont fabriqués en Chine dans des conditions qui ne respectent pas les droits fondamentaux des travailleurs tels que reconnus par l'organisation internationale du travail (OIT).(94)

La norme GB 6675 de conformité de base du jouet est applicable à tous les produits vendus en Chine. En outre, la nouvelle norme pour les jouets en peluche et en tissus, appelée GB/T 9832, entrée en vigueur depuis septembre 2008, a fixé les exigences de qualité pour les jouets en peluche, en particulier la qualité des fourrages et la finesse des lignes décoratives.(95)

Les normes GB pour les jouets sont :

GB6675: Code national de sécurité technique pour les jouets

GB 19865 Electric : Sécurité des jouets

GB / T 9832 : Couture jouets en peluche et en tissu

GB 5296,5 : Instructions pour l'utilisation de produits de consommation / Intérêt des instructions pour l'utilisation de jouets. (96)

III.1.2.3 Normes ISO :

La série de normes ISO 8124 a été élaborée par l'organisation internationale de normalisation (ISO). Ces normes visent à minimiser les risques potentiels associés aux jouets et à fournir des méthodes de test complètes. Les exigences de cette norme comprennent des critères acceptables pour les caractéristiques structurelles des jouets : telles que la forme, les dimensions, les petites pièces, les pointes et les ouvertures de charnière.(97)

L'ISO 8124 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général « sécurité des jouets » :

Partie 1 (2018) : Aspects de sécurité relatifs aux propriétés mécaniques et physiques.

Partie 2 (2014) : Inflammabilité.

Partie 3 (2010) : migration de certains éléments. Elle spécifie les niveaux maximaux acceptables et les méthodes d'échantillonnage et d'extraction avant analyse pour la migration des éléments antimoine, arsenic, baryum, cadmium, chrome, plomb, mercure et sélénium à partir de matériaux et de parties de jouets (tableau IX).(98)

Tableau IX: les limites de migration acceptables pour certains métaux lourds dans les jouets selon les normes ISO (99)

Élément	Pb	Cr	Cd	Ba
Limite(mg/kg)	90	60	75	1000

Partie 4 (2014) : Balançoires, glissoires et jouets à activité similaire à usage domestique familial intérieur et extérieur.

Partie 5 (2015) : Détermination de la concentration totale de certains éléments dans les jouets.

Partie 6 (2014) : dosage de certains esters de phtalate dans les jouets et les produits pour enfants.

Partie 7 (2015) : Exigences et méthodes d'essai pour les peintures digitales.

Partie 8 (2016) : Règles de détermination de l'âge.

III.1.2.4 Américaine et canadienne :

Les réglementations américaine et canadienne sont basées sur les documents de l'UE ; les législations nord-américaines se concentrent actuellement sur la sécurité mécanique des jouets et la prévention de l'exposition au plomb, alors qu'il existe des lacunes réglementaires dans le domaine de la sécurité chimique. (100)

Le Consumer Product Safety Act (CPSA) de 1972 et sa version modifiée de 2008, la Consumer Product Safety Improvement Act (CPSIA) par Consumer Safety Product Commission (CPSC) des États-Unis sont des réglementations qui incluent des exigences légales pour les produits de consommation. La section 101 (a) de la CPSIA mise à jour aux États-Unis a fixé la quantité maximale admissible de Pb dans la peinture et le revêtement de surface des jouets à 90 mg/kg en août 2009. (100)

Au Canada, la teneur en métaux lourds dans les matériaux de revêtement des jouets est fixée à 600 mg/kg pour le plomb et à 10 mg/kg pour le mercure. En ce qui concerne les jouets destinés aux enfants de moins de 3 ans, la teneur en plomb ne doit pas dépasser 90 mg/kg. Il faut savoir que les normes canadiennes utilisent une approche principalement basée sur la prévention de l'exposition au plomb, les limites de la teneur en métal autre que le Pb ne sont pas définies dans la réglementation, à l'exception de Sb, As, Cd, Se et Ba dans les revêtements de surface à 1000 mg/kg dissous dans 5% HCl à 20 ° C (les limites pour As, Cd et Sb sont très élevés par rapport à l'ASTM).(100)

Les parties accessibles lors du jeu qui peuvent être touchées, léchées, portées à la bouche ou avalées ne doivent pas contenir plus de 90 mg/kg de plomb si les conditions ci-après sont respectées:

- a) le plomb est nécessaire pour conférer à la partie sa caractéristique essentielle.
- b) il n'existe pas d'autre partie équivalente contenant moins de plomb.
- c) la partie ne libère pas plus de 90 mg/kg de plomb lors de sa mise à l'essai faite conformément aux bonnes pratiques de laboratoire (101).

III.2 Statistiques et fraudes dans le monde des jouets :

Parmi les peintures et les jouets en PVC (polychlorure de vinyle) pour enfants existant dans différents pays du monde, certains des articles examinés ont révélé des niveaux significatifs de plomb, bien au-delà des limites permises. Des niveaux élevés de plomb dans les peintures ont été enregistrés en Chine (116 200 ppm), au Cameroun (500 000 ppm), en Afrique du Sud (189 000 ppm), en Tanzanie (120,8 62,1 ppm), l'Ouganda (150 000 ppm), la Thaïlande (505 716 ppm) et le Brésil (170 258,4 ppm) pour n'en citer que quelques-uns. Les pays où des niveaux élevés de plomb dans les jouets en PVC pour enfants ont été relatés comprennent la Chine (860 000 ppm), Afrique du Sud (145 000 ppm), États-Unis (22 550 ppm), Thaïlande (4 486,11 ppm), Palestine (6 036 ppm) et l'Inde (2 104 ppm) (102).

Selon une étude faite en 2015 et publiée dans le journal *Environmental Health*, les poupées Barbie et les petits poneys renferment un taux élevé de métaux lourds. Les jouets les plus concernés sont ceux fabriqués entre 1970 et 1980. Il est noté aussi que c'est dans les jouets en plastique jaune des années 1970 et 1980 que les chercheurs ont trouvé les plus fortes concentrations de plomb et de cadmium. Les jouets verts, oranges et bruns contenaient beaucoup de cadmium, tandis que le plomb était plus présent dans les jouets de couleur rouge. Les jouets blancs, noirs, gris ou magenta se sont révélés être les plus sûrs (103).

Fin 2009 en Amérique, le journal *Associated Press* a révélé que 12 % des 103 articles de jouets chinois testés renfermaient 10 % ou plus de cadmium ; la norme recommandant un maximum de 0,01 % (104).

En 2017, la douane française a saisi 1,2 million de boîtes de jeux, dont 801 102 jouets non conformes et 143 784 jouets non conformes et dangereux. La majorité des jouets saisis était fabriquée en Chine (105).

D'autre part, le chercheur Peter Fantke, de l'Université Technique du Danemark (DTU), explique dans un communiqué que sur 419 produits chimiques trouvés dans les matières plastiques dures, molles et en mousse utilisées dans les jouets pour enfants, 126 substances ont été identifiées comme susceptibles de nuire à la santé des enfants, parmi lesquels, 31 plastifiants, 18 ignifuges et 8 parfums. Parmi les 126 produits chimiques alarmants détectés, 27 sont des phtalates, des retardateurs de flamme et plastifiants (106).

La DGCCRF a réalisé une enquête sur les kits de slime. Parmi 15 kits analysés, 2 d'entre eux contenaient une teneur en bore supérieure à la limite autorisée (107).

III.3 Méthodes d'analyse des métaux lourds dans les jouets :

La norme européenne NF EN 71-3, publiée en juillet 2013, a spécifié les exigences et les méthodes d'essai applicables à la migration de nombreux composants chimiques qui peuvent être contenus dans les matériaux entrant dans la fabrication des jouets.

EN 71-1 (Propriétés mécaniques et physiques) : elle inclut des tests pour éviter le détachement de petites parties pouvant provoquer des risques d'étouffement, et d'autres pour détecter les pointes et les bords trop acérés pouvant engendrer des blessures.

EN 71-2 (Inflammabilité) : c'est l'analyse de la vitesse de propagation des flammes sur un jouet pour s'assurer que l'enfant aurait le temps de s'en éloigner si le jouet venait à prendre feu.

EN 71-3 (Migration de certains éléments) : elle permet de simuler une digestion par l'enfant d'un morceau du jouet, afin d'analyser si des métaux lourds migreraient de la matière vers l'organisme (108).

Des équipements d'analyse ultrasensibles sont requis pour mesurer les éléments traces métalliques, comme le plomb (Pb), le mercure (Hg), l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le zinc (Zn) etc. Généralement, les métaux présents dans un échantillon sont mesurés en ppm (partie par million) ou ppb (partie par billion), ceci en fonction de la complexité de la matrice de l'échantillon et de la technique d'analyse utilisée.

Les méthodes d'analyse classiques les plus souvent utilisées pour le dosage des métaux à l'état de traces sont : la spectrométrie d'absorption atomique (SAA), la spectrométrie à émission optique sur plasma à couplage inductif (ICP-OES), la spectrométrie de masse sur plasma à couplage inductif (ICP-MS) et la polarographie (109).

III.3.1 Etape pré analytique (La minéralisation) :

En chimie analytique et en toxicologie, la minéralisation est une calcination d'un échantillon où on aura une dissolution des minéraux sous haute température en présence d'acides et d'eau oxygénée, dans l'objectif de détruire les composants organiques. On obtient des sels, des oxydes, et des minéraux inorganiques. Elle permet de limiter ou de faire disparaître les interférences liées aux matières organiques et de réaliser en outre une concentration qui améliore la sensibilité des mesures.

On décrit deux types de méthodes de digestion fondées sur le principe : de la fusion (voie sèche) ou de la digestion par les acides (voie humide).

- **Digestion par voie sèche** : elle reste peu utilisée. Par cette voie, les échantillons solides sont mélangés à différents types de réactifs et chauffés à hautes températures (supérieures à 600 C°). L'acide nitrique ou un autre acide est ensuite ajouté pour permettre l'analyse de l'échantillon.

Cette méthode présente les inconvénients de conserver une quantité de particules non dissoutes qui augmente le bruit de fond, et d'entraîner la perte des métaux volatils.

- **Digestion par voie humide** : elle se fait par solubilisation à l'aide de l'acide sulfurique ou un autre type d'acide en présence d'agents oxydants comme l'eau oxygénée. La minéralisation par voie humide impose l'utilisation de réactifs de qualité ultrapure bien concentrés avec des valeurs de blanc aussi faibles que possible. Elle présentent toutefois les inconvénients d'être consommatrices de temps.

Ainsi, une nouvelle alternative est actuellement largement utilisée :

- **La minéralisation assistée par micro-ondes** : dès l'arrivée de cette méthode, de nombreuses applications ont été décrites dans la littérature à partir du début des années 1970. Les méthodes de digestion par microondes sont classées selon leur mode opérationnel. On décrit le mode « en réacteur ouvert » favorable à la contamination extérieure et à la perte de métaux volatils, ou le mode « en réacteur fermé » sous pression, plus rapide et plus efficace. La méthode de minéralisation assistée par micro-ondes peut être optimisée en faisant varier quelques paramètres comme le volume, la nature ou la concentration des acides et de l'agent oxydant ou en faisant varier les paramètres physiques des micro-ondes comme la pression, la température ou le temps de chauffage. Cependant, cette méthode n'est pas applicable à de grands nombres d'échantillons car un nombre peu important de réacteurs est placé dans chaque cycle. D'autre part, il est important d'alterner ces cycles avec des cycles de nettoyage indispensables pour éviter la contamination par effet mémoire. On privilégiera pour cette méthode de minéralisation les réacteurs en téflon (110).

III.3.2 Etape analytique :

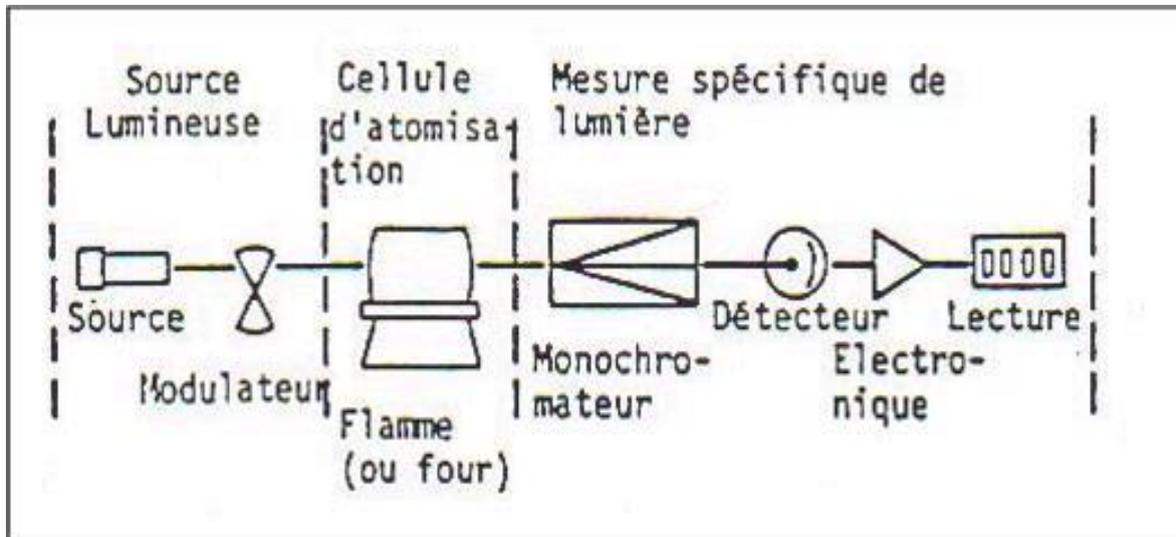
III.3.2.1 Spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) :

L'absorption atomique est une méthode utilisée pour l'analyse quantitative d'un grand nombre d'éléments chimiques. Un rayonnement monochromatique, émis par une lampe et correspondant à la raie de résonance de l'élément à doser est envoyé sur une population d'atomes du même élément à l'état de vapeur. La mesure de l'affaiblissement de l'intensité lumineuse dépend de la concentration de l'élément à doser dans des conditions bien déterminées.

Les mesures quantitatives sont basées sur l'existence d'une loi qui se ramène formellement à celle de Beer-Lambert.

L'appareillage prend en compte une source lumineuse, un nébuliseur, un four en graphite (SAA-four) ou une flamme (SAA-flamme), ainsi qu'un monochromateur (prisme ou réseau), un détecteur et un système de recueil et d'analyse des données.

Cette méthode s'applique pour les atomes non excitables par la chaleur (températures inatteignables) et est utilisée pour le dosage de nombreux métaux et métalloïdes (inutilisable pour halogène , oxygène , azote , carbone , soufre et phosphore)(111), (figure5) (112).



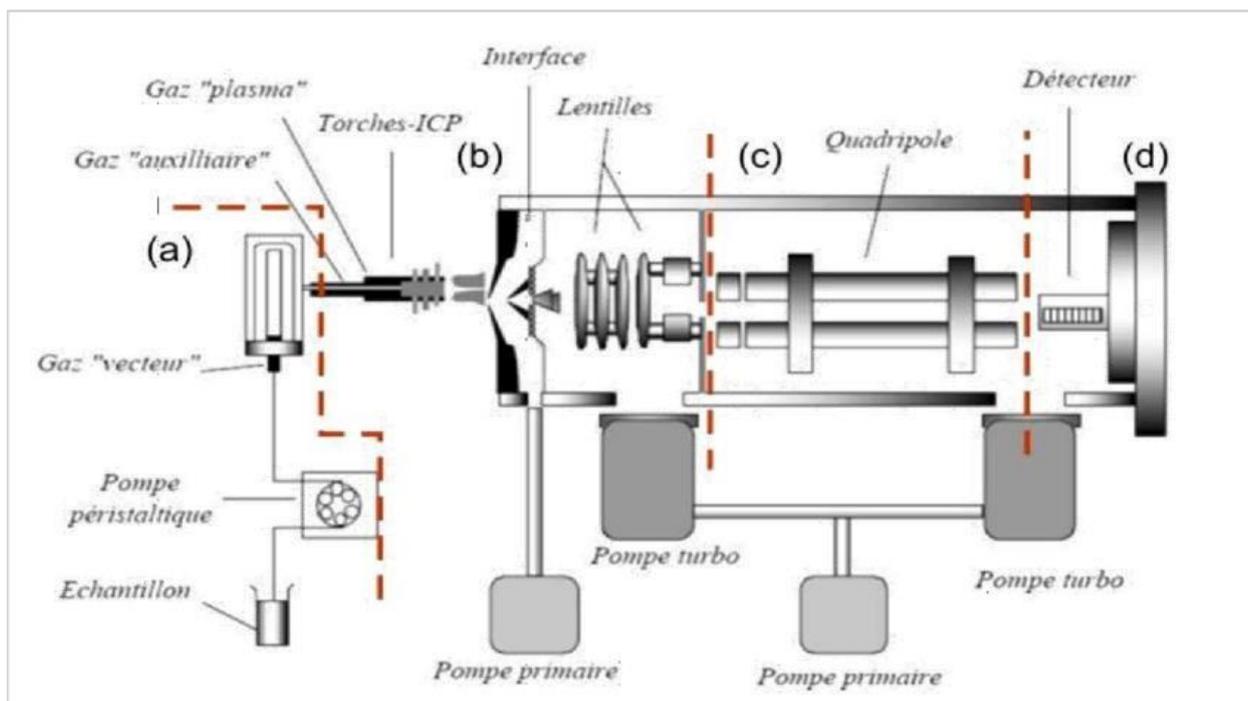
: Schéma représentant le principe du spectrophotomètre d'absorption atomiques

III.3.2.2 La spectrométrie de masse sur plasma à couplage inductif (ICP-MS) :

C'est un instrument de choix pour les analyses inorganiques. Une ICP-MS se compose d'un système d'introduction de l'échantillon qui transforme l'échantillon à la forme gazeuse et le transmet vers le plasma à couplage inductif. L'argon gazeux à haute température (8000 à 10000 K°) et fortement ionisé, décompose la matrice, atomise et ionise les espèces introduites avant de les transférer vers le spectromètre de masse (MS) qui détecte et quantifie les ions après les avoir sélectionnés en fonction de leur rapport masse/charge grâce à l'analyseur.

Le détecteur est linéaire sur 9 ordres de grandeur. Deux cônes (un cône échantillonneur et un cône écrêteur) assurent le transfert des ions de l'ICP (partie à pression atmosphérique) vers la MS (la partie à pression réduite) . Un jeu de lentilles, placé après les cônes, permet de refocaliser le faisceau d'ions, qui diverge fortement du fait du gradient de pression, et d'éliminer les espèces neutres et les photons.

La réponse des différents éléments chimiques dépend grandement de la température du plasma, de la densité des ions, atomes et électrons dans le plasma ainsi que l'énergie d'ionisation de ces éléments (113).



Fi : schéma explicatif du fonctionnement de ICP-SM(114)

III.3.2.3 La polarographie :

La polarographie est une méthode électrochimique performante et reproductible, basée sur l'interprétation des courbes intensité-potential. C'est un moyen physicochimique d'investigation intéressant, mais c'est dans le domaine de la chimie analytique que la polarographie connaît l'application la plus importante.

En 1922, Heyrovsky expliqua la première allure des courbes polarographiques. En 1925 Heyrovsky accompagné de Shikata construisit le premier polarographe à enregistrement automatique.

III.3.2.3.1 Le principe de la polarographie :

La cellule potentiostatique de mesure contient la solution à analyser et deux électrodes immergées permettent d'imposer une tension électrique croissante proportionnellement avec le temps. On enregistre alors le courant d'électrolyse correspondant. La tension est appliquée entre une électrode de référence dont le potentiel reste constant et une électrode à goutte de mercure tombante, dont le potentiel pourra varier dans un domaine compris entre le potentiel d'oxydation du mercure et le potentiel de réduction de l'électrolyte support ou du solvant. La courbe (courant-tension) d'une solution contenant un élément électro réductible est alors indiqué (figure 7).

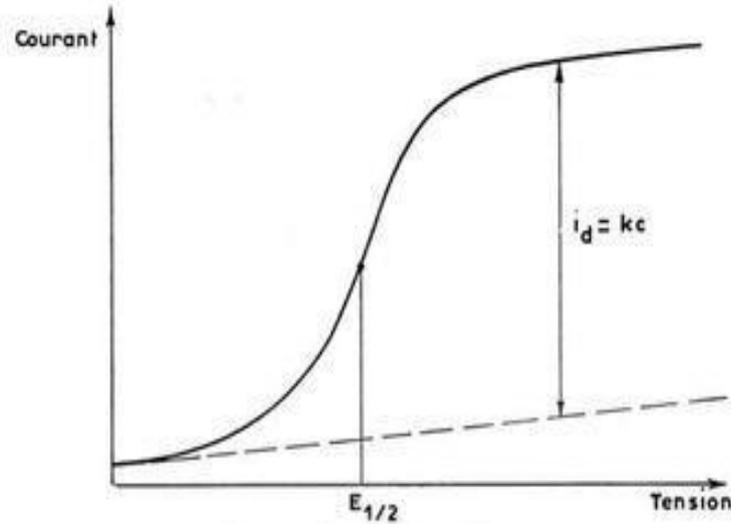


Figure 5 : courbe polarographique

Les renseignements obtenus sont, pour des conditions opératoires fixes (à la fois d'ordre qualitatif et quantitatif). Qualitatif, par la mesure du potentiel de demi-vague $E_{1/2}$ (position) spécifique d'un élément, et quantitatif par la mesure d'un courant (un pic) proportionnel à la concentration de l'espèce électro active en solution (111).

III.3.2.3.2 Limites de la méthode :

- Le pouvoir de résolution ne permet pas de distinguer deux espèces si celles-ci ont des potentiels de demi-vagues distants de moins de 200 mV. Cette limite est due à la forme des polarogrammes.
- La sensibilité est limitée par l'existence d'un courant résiduel. La mesure du courant limite, qui est dû à la diffusion de l'espèce qui subit l'électrolyse, ne donne une grandeur précise que lorsque sa valeur est importante par rapport au courant résiduel. Il faut noter que le transport de masse peut s'effectuer également par convection (ensemble de mouvements internes horizontaux ou verticaux générés dans une masse fluide d'un liquide ou d'un gaz) et de migration. Ces phénomènes peuvent être négligés si la solution n'est pas agitée, si elle ne présente pas de gradient de température, et si elle contient un excès d'électrolyte indifférent. Le courant résiduel est la conséquence de la charge du condensateur que constitue la couche double formée au niveau du contact électrode-électrolyte. (115)

III.3.2.3.3 Appareillage :

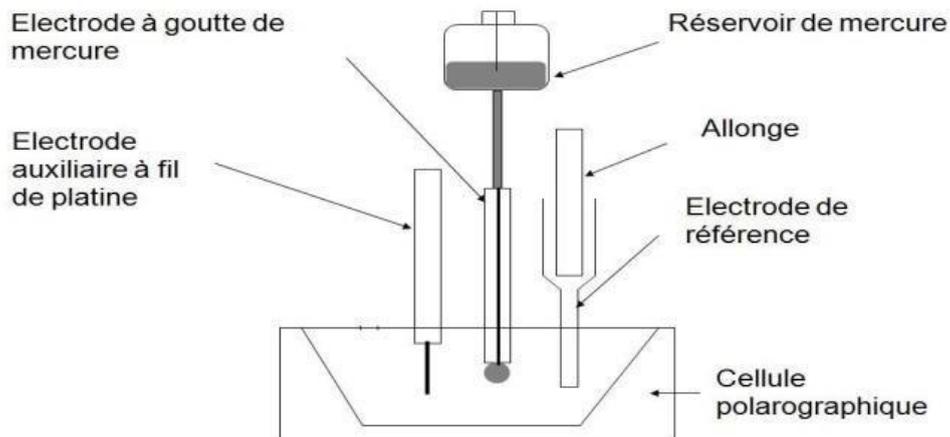


Figure 6 : montage polarographique

III.3.2.3.4 Applications :

La polarographie est une méthode de choix pour le dosage des faibles quantités, Elle est utilisée pour l'analyse de minerais, d'alliages et des eaux. Certains corps non électro actifs peuvent être dosés aussi. La polarographie sert ainsi au dosage des aldéhydes, des cétones, des dérivés nitrés aliphatiques et aromatiques, des azoïques, de certaines vitamines et des stéroïdes (116).

III.3.2.3.5 Inconvénients :

Le grand problème réside dans l'usage de l'électrode à goutte de mercure qui doit être pur. Ce dernier nécessite un traitement particulier. Tout d'abord, On doit oxyder les métaux nobles en passant un courant d'air (ou oxygène) à travers le mercure et une solution de sel de mercure acidifié à l'acide nitrique. Après, le tout est filtré et suivi de plusieurs distillations. Cette technique nécessite beaucoup de mercure. Ce dernier considéré comme très toxique n'est pas trop apprécié par les manipulateurs, avec le risque d'être ensuite rejeter dans l'environnement par la suite (117).

Chapitre IV: Partie pratique

IV.1 Objectifs

IV.1.1 Objectif principal :

Cette étude se fixe pour objectif de :

Déterminer les taux de certains métaux lourds dans un échantillon de jouets.

IV.1.2 Objectifs secondaires :

Evaluer les connaissances et les habitudes d'achats de jouets pour enfants de moins de 3 ans chez la population.

IV.2 Matériel et méthodes :

IV.2.1 Type, lieu et durée de l'étude :

C'est une étude expérimentale transversale descriptive. Elle s'est déroulée au niveau du laboratoire de toxicologie de la faculté de médecine de Tlemcen en collaboration avec le laboratoire de recherche de chimie analytique-Université Abou Bakr Belkaid.

La durée de l'étude s'est étendue de décembre 2020 au septembre 2021.

IV.2.2 Échantillonnage :

IV.2.2.1 Population d'étude :

Notre étude s'est portée sur une population prise au hasard, habitant dans la wilaya de Tlemcen et ses environs.

IV.2.2.2 Les jouets à doser :

Des différents jouets commercialisés dans le marché algérien ont été choisis pour cette étude.

IV.2.3 Recueil d'information :

Après avoir expliqué l'objectif de l'étude, le recueil d'informations auprès des participants a été fait à l'aide d'un questionnaire informatisé préétabli. Ce dernier a été diffusé via les réseaux sociaux (Facebook) afin d'avoir de la diversité dans la population.

Ce questionnaire comprend 19 questions à choix simple ou multiple, réparti en trois rubriques :

- Première rubrique : comporte des questions sur les informations sociodémographiques (âge, sexe, niveau d'instruction, niveau économique...)
- Deuxième rubrique : concerne les informations sur les jouets achetés (en bois, plastiques, puzzle, lego...)
- Troisième rubrique : s'intéresse aux habitudes des gens concernant les jouets (hygiène, surveillance des enfants...)

IV.2.4 Analyses statistique :

La saisie, le contrôle et l'analyse statistique des données ont été réalisés à l'aide du logiciel Microsoft office Excel 2010 et IBM SPSS Statistics 23, ainsi que Google Drive pour le questionnaire informatisé.

Code de l'échantillon	Poids (g)	Dissolution	Cu(mg/L)	Cu (mg/dans 12ml)	Cu(mg/poids(kg))	Pb(mg/L)	Pb(mg dans 12ml)	Pb(mg/poids(kg))	Cd(mg/L)	Cd(mg dans 12ml)	Cd(mg/poids(kg))	Zn(mg/L)	
1	2	0,253	oui	78,958	947,496	3 745,043	2,256	27,071	107,061	0,251	3,008	11,889	475,74
2	3	0,216	oui	6,168	74,012	340,648	0,176	2,113	9,790	0,020	0,235	1,088	17,00
3	4	0,212	oui	68,199	818,383	3 860,296	1,949	23,382	110,294	0,217	2,598	12,255	409,19
4	5	0,256	oui	72,487	869,843	3 397,826	2,071	24,853	97,081	0,230	2,761	10,787	434,92
5	6	0,242	oui	66,072	795,868	3 276,313	1,888	22,653	93,609	0,210	2,517	10,401	396,43
6	7	0,241	non	73,530	882,360	3 711,007	2,101	25,210	20,314	0,233	2,801	2,257	441,18
7	8	0,261	oui	76,227	915,089	3 956,087	2,178	26,145	100,174	0,242	2,905	11,130	457,54
8	9	0,235	oui	58,243	698,915	2 974,122	1,664	19,969	84,975	0,185	2,219	9,442	349,45
9	10	0,250	non	12,132	145,581	582,324	0,347	4,159	16,638	0,039	0,463	1,849	72,79
10	11	0,242	oui	57,697	692,364	2 861,009	1,648	19,782	81,743	0,183	2,198	9,083	346,18
11	12	0,244	oui	65,387	784,640	3 215,739	1,868	22,418	91,878	0,208	2,491	10,209	392,10
12	13	0,231	oui	70,816	849,787	3 678,720	2,023	24,280	105,107	0,330	3,960	17,143	424,89
13	14	0,250	oui	68,217	818,843	3 275,374	1,950	23,396	93,582	0,217	2,600	10,398	409,42
14	15	0,252	oui	57,575	693,088	2 750,348	1,650	19,803	78,581	0,183	2,200	8,731	346,54
15	16	0,289	oui	8,011	96,127	332,620	0,229	2,746	9,501	0,025	0,305	1,056	48,06
16	17	0,229	non	1,202	14,424	62,988	0,034	0,412	1,800	0,004	0,046	0,200	7,21
17	18	0,231	non	1,491	17,893	77,460	0,043	0,511	2,211	0,005	0,057	0,246	9,34
18	19	0,229	non	13,082	156,988	685,536	0,374	4,485	19,587	0,042	0,458	2,176	78,49
19	20	0,266	oui	84,096	1 009,158	3 793,826	2,403	28,833	108,395	0,267	3,204	12,044	504,57
20	21	0,230	oui	60,600	727,200	3 161,739	1,731	20,777	90,335	0,192	2,309	10,037	363,60
21	22	0,227	oui	67,431	809,170	3 564,626	1,927	23,119	101,846	0,214	2,569	11,316	484,58
22	23	0,247	non	8,861	106,334	430,500	0,253	3,038	12,300	0,038	0,338	1,367	53,16
23	24	0,276	non	3,595	43,139	156,300	0,103	1,233	4,466	0,011	0,137	0,496	21,56
24	25	0,233	non	11,553	138,631	594,984	0,330	3,961	17,000	0,037	0,440	1,889	69,31

type_de_jo...	dissolution	Pb	Cd	Cu	Zn	couleur	blanc	jaune	rouge	noir	couleur_p_a_m	Pb_p_a_m	Cd_p_a_m	Zn_p_a_m
1	2.000	1.000	107.001	11.889	3745.043	22470.261	5	.00	.00	.00	1.00	105.11	17.14	3678.73
2	3.000	1.000	9.790	1.880	342.648	2055.888	4	.00	1.00	.00	2.00	99.07	11.01	3457.37
3	4.000	1.000	110.294	12.255	3860.296	23161.774	4	.00	1.00	.00	3.00	98.87	16.90	3432.39
4	5.000	1.000	97.081	10.787	3397.826	20386.957	5	.00	.00	.00	4.00	103.33	11.48	3616.68
5	6.000	1.000	93.609	10.401	3276.313	19657.878	3	.00	.00	1.00	.00	.00	.00	.00
6	7.000	2.000	20.314	2.257	711.007	4266.044	4	.00	1.00	.00	.00	.00	.00	.00
7	8.000	1.000	100.174	11.130	3506.087	21036.522	5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
8	9.000	1.000	84.975	9.442	2974.122	17844.730	5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
9	10.000	2.000	16.638	1.849	582.324	3493.944	4	.00	1.00	.00	.00	.00	.00	.00
10	11.000	1.000	81.743	9.083	2861.009	17166.052	11	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
11	12.000	1.000	91.878	10.209	4555.636	27333.783	2	.00	.00	.00	1.00	.00	.00	.00
12	13.000	1.000	105.107	11.143	3678.720	22072.383	3	.00	.00	1.00	.00	.00	.00	.00
13	14.000	1.000	93.582	10.398	3275.374	19652.243	5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
14	15.000	1.000	78.581	8.731	2750.348	16502.087	10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
15	16.000	1.000	9.503	1.056	332.620	1995.720	3	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
16	17.000	2.000	1.800	.200	62.988	377.928	5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
17	18.000	2.000	2.213	.246	77.460	464.760	2	.00	.00	.00	1.00	.00	.00	.00
18	19.000	2.000	19.587	2.176	685.536	4113.216	10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
19	20.000	1.000	108.395	12.044	3793.826	22762.957	10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
20	21.000	1.000	90.335	10.037	3161.739	18970.435	4	.00	1.00	.00	.00	.00	.00	.00
21	22.000	1.000	101.846	11.316	3564.626	21387.757	5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
22	23.000	2.000	12.300	1.367	430.500	2583.000	3	.00	.00	1.00	.00	.00	.00	.00

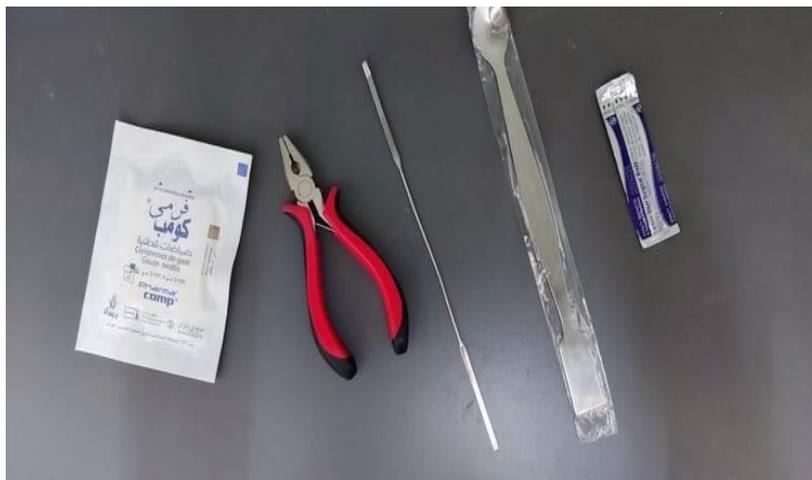


Figure 7 : logiciels utilisés

IV.2.5 Déroulement de l'étude :

IV.2.5.1 Minéralisation des Jouets :

IV.2.5.1.1 Matériels :



- Balance analytique
- Lames stériles chirurgicaux
- Tubes en plastiques
- Ciseau inoxydable
- Pince inoxydable
- Boîtes de pétrie
- Compresses médicales
- Microonde de digestion **Analytikjena®**
- Réfrigérateur
- Pipettes graduées (5 ml et 10 ml)
- Une hotte a flux lamellaire
- Entonnoir
- Bêchers

Figure 8 : Le matériel utilisé pour couper et gratter les jouets

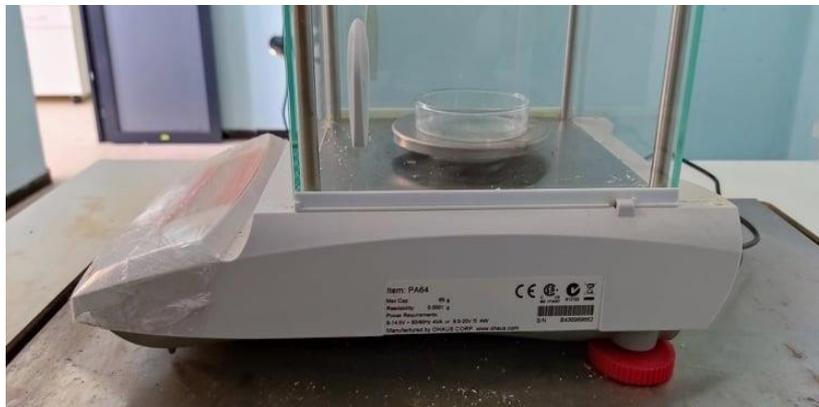


Figure 9 : Balance analytique



Figure 10 : Etuve de digestion Analytikjena

IV.2.5.1.2 Produits chimiques et réactifs :

- Eau ultra pure **Cro BIOTECH**
- Peroxyde d'hydrogène **Honeywell**
- Acide nitrique a 69% **VWR CHEMICALS**

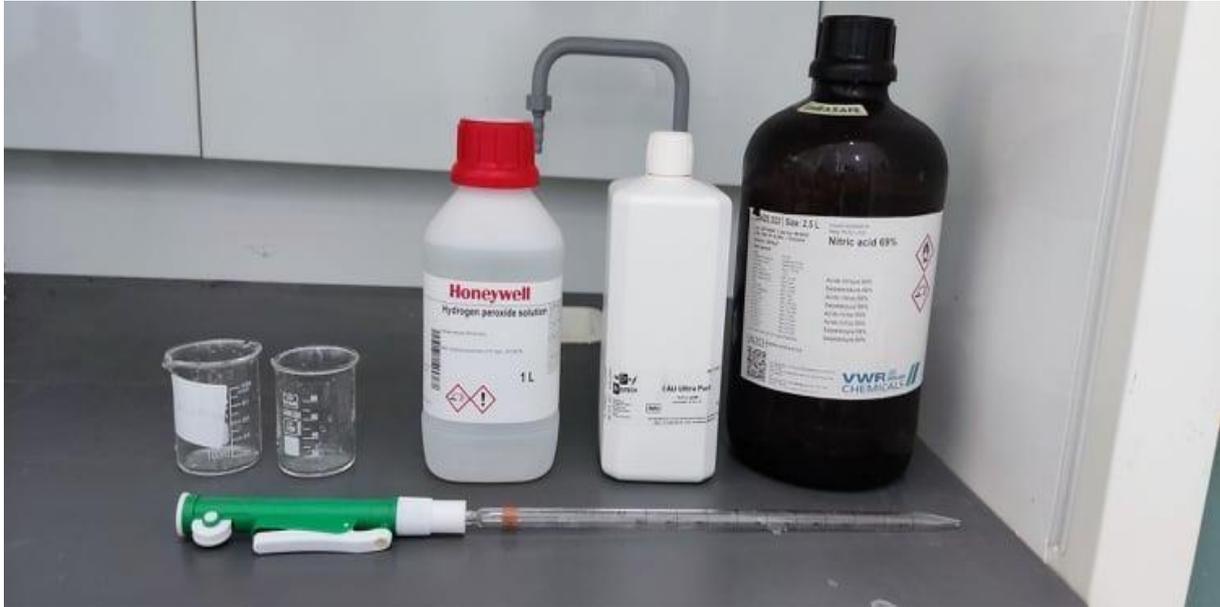


Figure 11 : les réactifs utilisés pour la minéralisation

IV.2.5.1.3 Le protocole :

- Les articles, en plastiques ou autres matériaux solides (legos), à tester ont été coupés en petits morceaux à l'aide d'une pince décontaminée .
- Pour les jouets peints ou vernis, la couche de peinture (puzzle, ..) ont été complètement grattés par les lames stériles.
- Les jouets de consistance visqueuse ou pâteuse (pâte à modeler, ..) ont directement été coupés à l'aide d'un ciseau décontaminé.
- Chaque partie de jouet a été mis dans une boite de pétrie, pesée dans une balance analytique et puis placé dans des tubes coniques et codifiée. Une décontamination a été faite entre chaque pesée à l'aide de compresses médicale.



Figure 9 : Représentation des échantillons mis dans des tubes en plastique après la pesée.

La digestion acide a été portée sur 0,2g à 0,3g d'échantillon. Celle-ci a été réalisée par addition successive, dans les tubes coniques, de :

- 1- 2ml d'eau ultra pure
- 2- 4ml de Peroxyde d'hydrogène pour analyse de traces
- 3- Et en fin, 6 ml d'acide nitrique pur pour analyse, sous la hotte.

Les tubes sont hermétiquement fermés à l'aide d'un bouchon. Le contenu des tubes a été versé dans réacteurs et puis ces derniers ont été mis au micro-ondes selon le programme de température (programme Rubber voir Tab X).

- Les minéralisât ont été transférés dans des tubes de 12ml, à l'aide d'un entonnoir.
- Un blanc minéralisât est lancé au même temps et dans les mêmes conditions que les échantillons analysés pour éliminer toutes interférences ou sources de contamination qui peuvent être apportée par les réactifs, l'air ambiant ou le manipulateur.
- Les minéralisât sont conservées à 4°C jusqu'à l'analyse.

Tableau X : Tableau de température utilisé pour la minéralisation des jouets

Phase	Température (°C)	Rampe (min)	Palier (min)	Extract
1	100	10 :00	10:00	1
2	200	20	45 :00	1
3	0	0	15	3

IV.2.5.1 Dosage de la concentration totale en métaux lourds :

IV.2.5.1.1 Les solutions utilisées :

Une solution tampon d'acétate d'ammonium 500 µg/L pH= 4,6 servant d'électrolyte support.

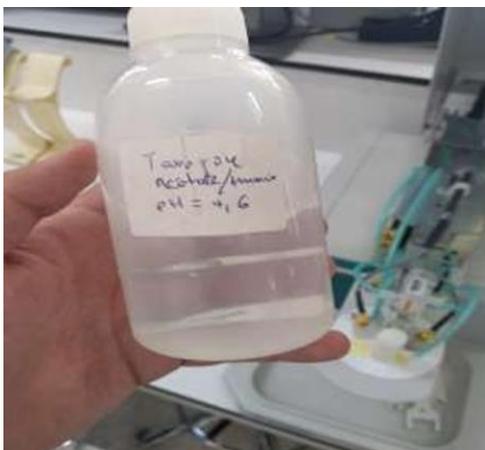


Figure 12 : solution tampon d'acétate d'ammonium

La solution étalon de métaux utilisés a été préparée à partir des solutions suivantes :

- ✓ Zinc (solution étalon ,1000mg/l Zn, volume 500ml)
- ✓ Cadmium (solution étalon ,1000mg/l Cd, volume 500ml)
- ✓ Plomb (solution étalon ,1000mg/l Pb, volume 500ml)
- ✓ Cuivre (solution étalon ,1000mg/l Cu, volume 500ml)

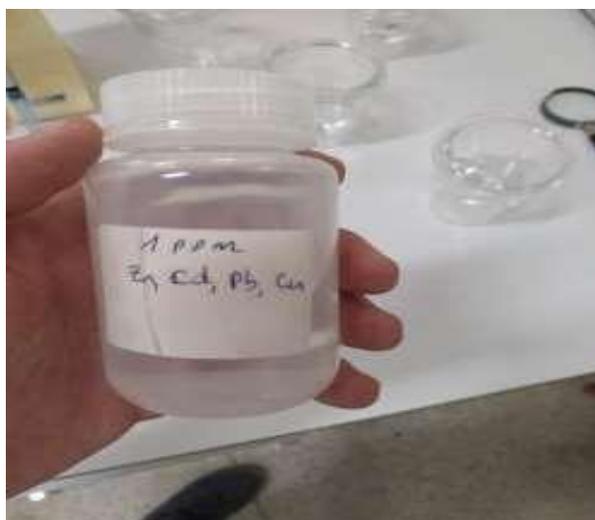


Figure 13 : Les solutions étalons des quatre éléments métalliques

Pour tracer les polarogrammes, nous avons employé un polarographe de marque **Metrohm 797 VA Computrace**.

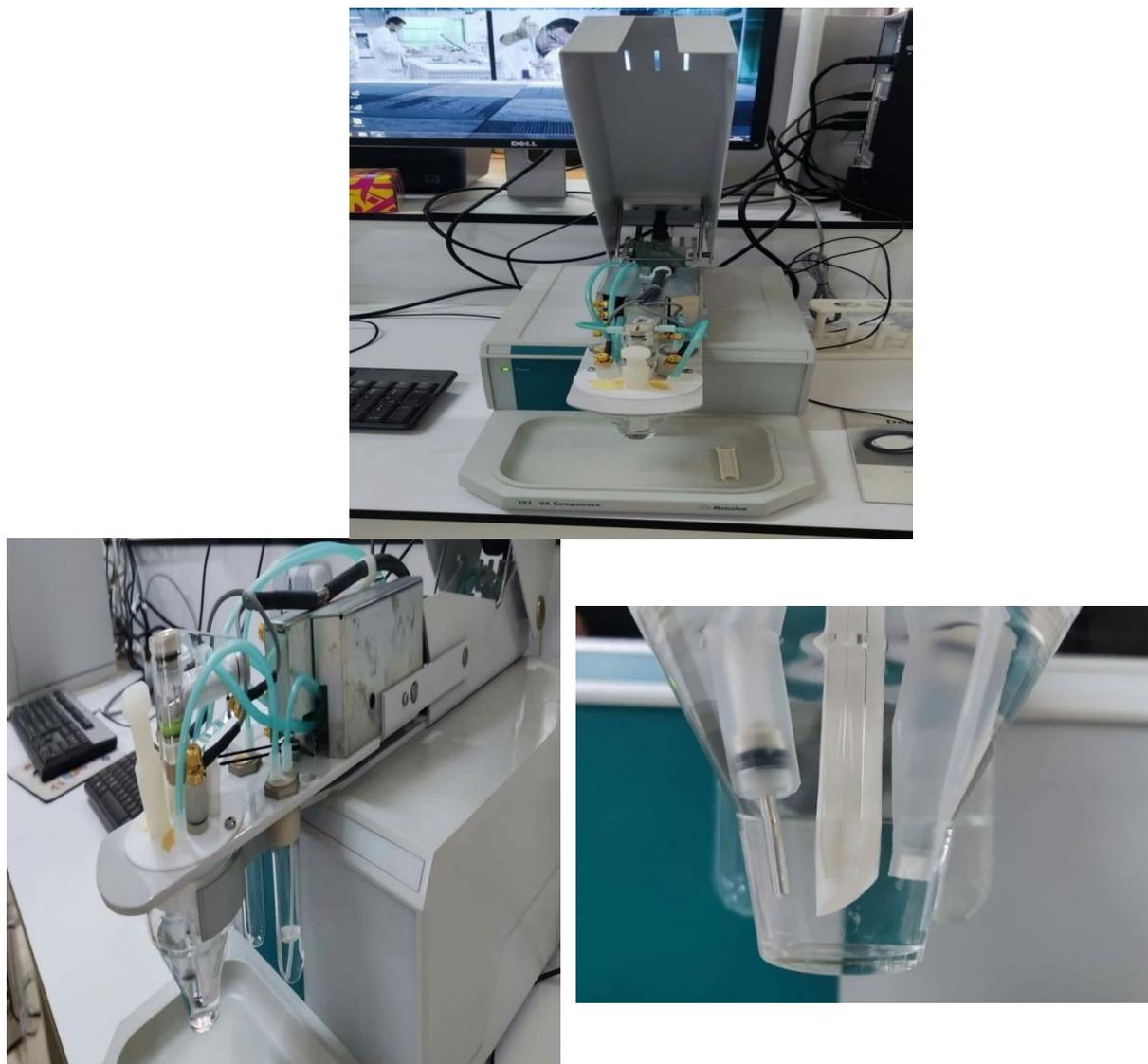


Figure 14 : cellule polarographique

IV.2.5.1.2 Mode opératoire :

A 12 ml de la solution analysée placée dans la cellule polarographique, on ajoute 0.5ml de l'électrolyte support (pH=4.6) et on trace le polarogramme de l'échantillon. On ajoute ensuite deux ajouts de solution standards. Les concentrations de ces derniers sont choisies en fonction des résultats attendus dans l'échantillon (10 μ L, 25 μ L).

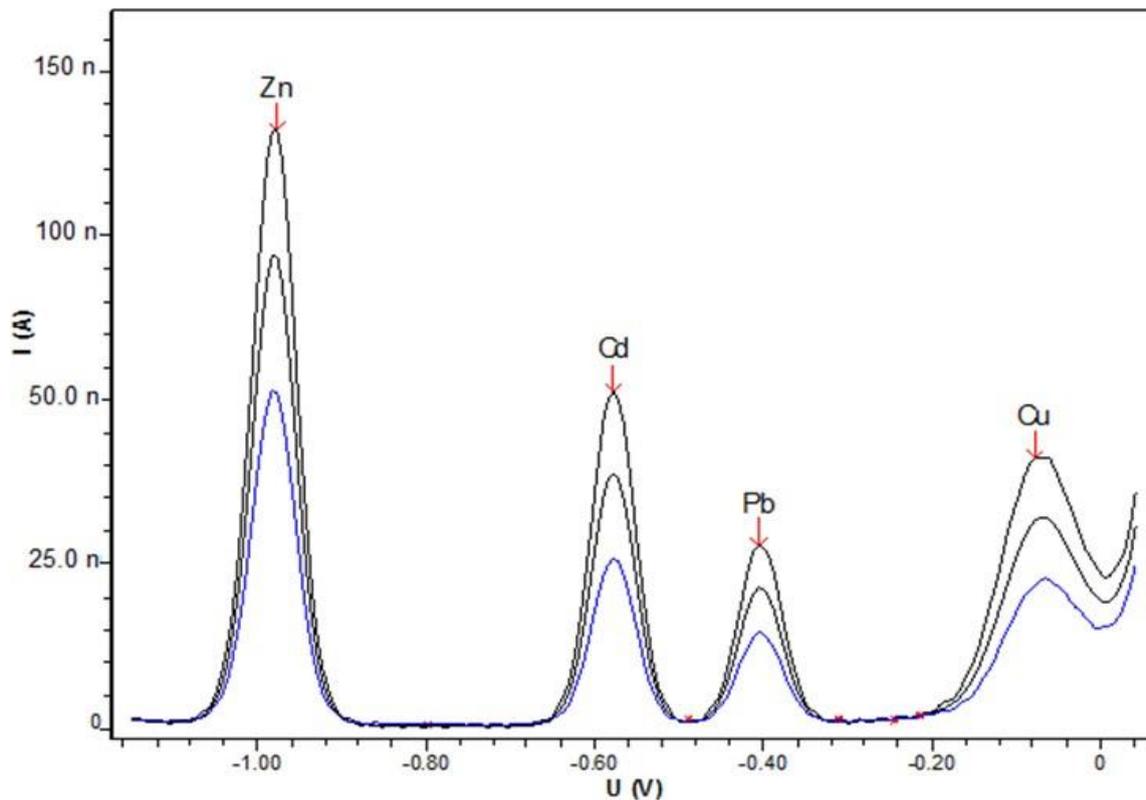
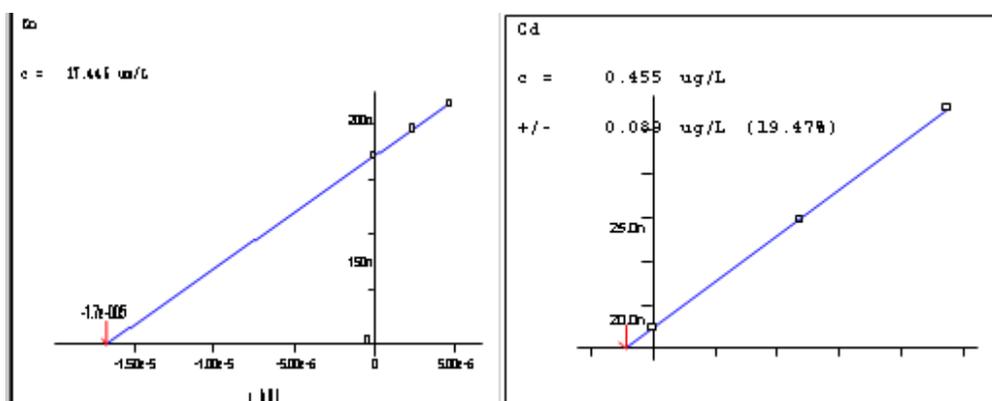


Figure 15 : Polarogramme de l'échantillon 02 (Petit Ballon bleu)

C'est la méthode de dosage par addition qui se déroule en deux étapes. Dans un premier temps, les ions métalliques tels que le zinc, le cadmium, le plomb et le cuivre présent dans la solution d'essai se déposent sur la surface de l'électrode de mercure, Dans la deuxième étape, tous les ions déposés sont décapés anodiquement par balayage de la gamme de potentiel. La procédure a été répétée trois fois avec la mesure du courant. Après, la courbe d'extrapolation des mesures a été tracée entre le courant et la concentration. Cette dernière indique la quantité de métaux présents dans la solution de l'échantillon.

Le traitement des résultats par ordinateur nous a permis à tracer les courbes de dosage pour les 04 ions métalliques :



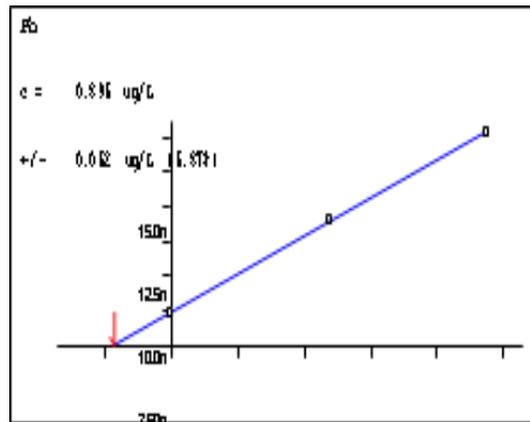


Figure 16: Les droites d'étalonnage pour les quatre ions métalliques (Zn, Cd, Pb et Cu)

IV.2.5.1.3 La conversion des résultats du dosage (du mg/L au mg/Kg) :

On prend pour exemple le cas du Cu dans l'échantillon 2 :

On a trouvé : 78,958 mg/L = 78,958 ml dans 1000 ml

On a X (quantité du Cu dans le Vt) avec Vt=12 ml

Par une règle de trois on aura : $X = 947,496 \cdot 10^{-3}$ mg dans 12 ml

$947,496 \cdot 10^{-3}$ mg se trouve dans la pesé (Y) (comprise entre 0,2 et 0,3 g de notre échantillon)

Dans notre cas $Y = 0.253$ g = $253 \cdot 10^{-6}$ Kg

On a $947,496 \cdot 10^{-3}$ mg (Cu) dans $253 \cdot 10^{-6}$ Kg (échantillon)

On doit chercher Z (Cu en mg) dans 1Kg d'échantillon

Par une règle de trois on trouve : 3745.043 mg/K

IV.2.5.1.4 Le calcul de la dose estimée journalière EDI (the estimated daily intake) et l'indice de la prise relative RII (the relative intake indices) :

$EDI (\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}) = (\text{élément contenant dans un produit } (\mu\text{g}/\text{g}) \times \text{le poids du produit ingérée } (\text{g}/\text{j})) / \text{poids du corps } (\text{kg})$

Avec : poids d'un enfant moins de 3 ans = 12 kg

$RII \% = (EDI / TDI) \times 100$

Avec la dose tolérable journalière TDI (Tolerable daily intake)

IV.3 Résultats :

IV.3.1 Caractéristiques descriptives de la population :

IV.3.1.1 Profile de la population :

IV.3.1.1.1 Le sexe :

La population étudiée est à prédominance féminine avec 93% (353) et seulement 7% d'hommes (27), avec un sexe ratio est de 0,075.

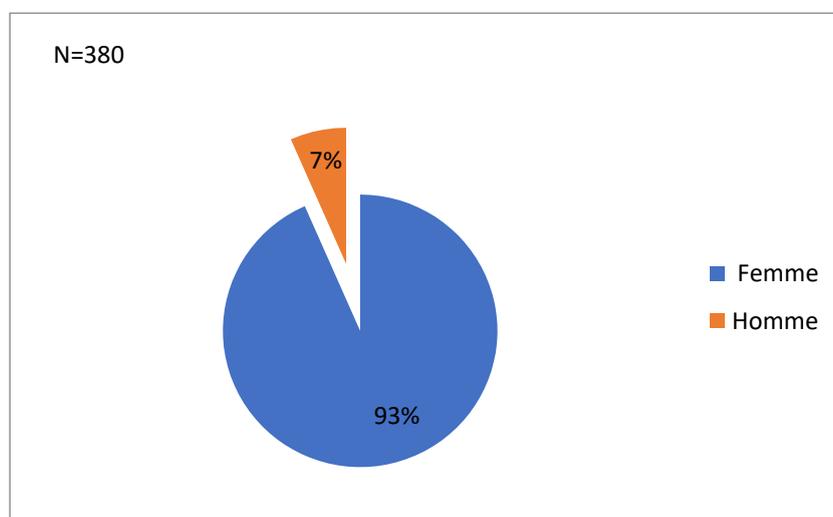


Figure 17: Répartition de la population d'étude selon le sexe

IV.3.1.1.2 Le niveau d'instruction :

Presque la totalité des participants avaient un niveau d'instruction universitaire tandis que 1 % (4) avaient un niveau primaire.

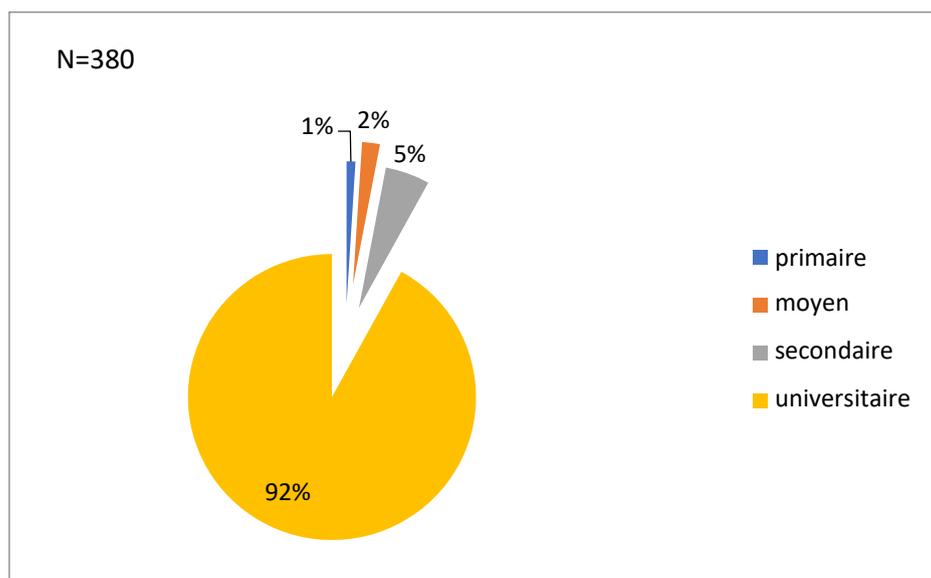


Figure 18: Répartition des participants selon le niveau d'instruction

IV.3.1.1.3 Le niveau économique :

Un bon niveau économique est rapporté chez 67% des participants (254), et moyen chez 30% (114).

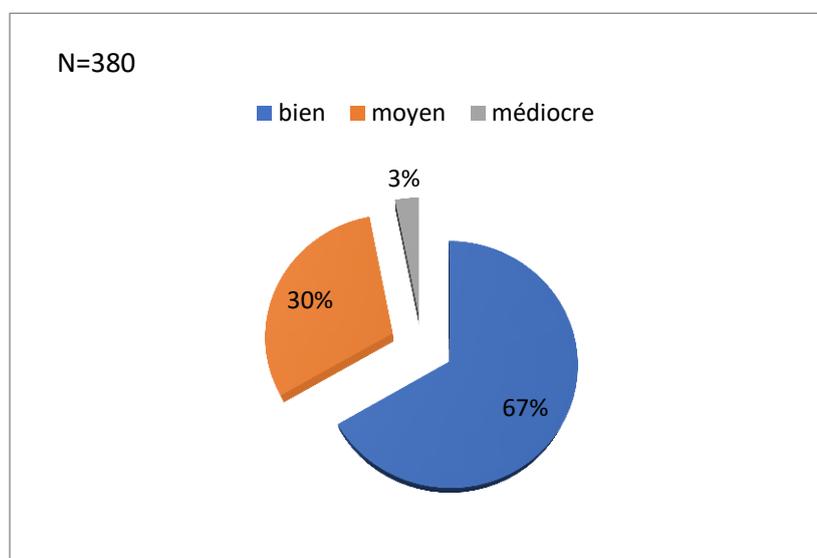


Figure 19: Répartition des participants selon le niveau économique

IV.3.1.1.4 Avoir un enfant en bas âge (moins de 36 mois) :

Les participants qui ont un (des) enfant (s) moins de 36mois représente 25% (97) uniquement.

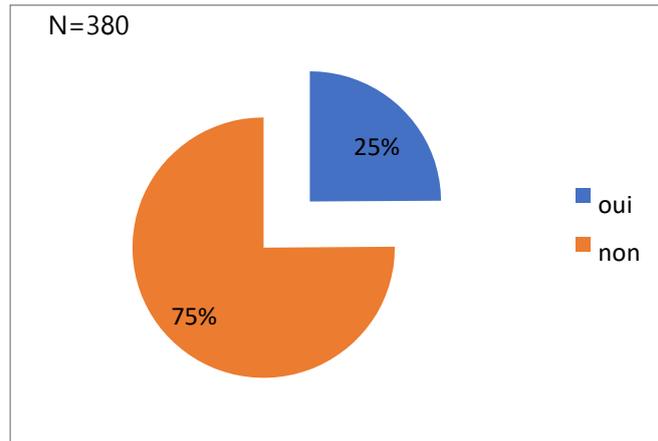


Figure 20: répartition des participants selon la présence d'un enfant moins de 3 ans

IV.3.1.2 Les habitudes d'achats des jouets :

IV.3.1.2.1 La personne responsable de l'achat des jouets :

Pour l'achat des jouets, c'est la maman qui s'en charge dans 82.9% des cas (315), et le papa dans 60% des cas (219).

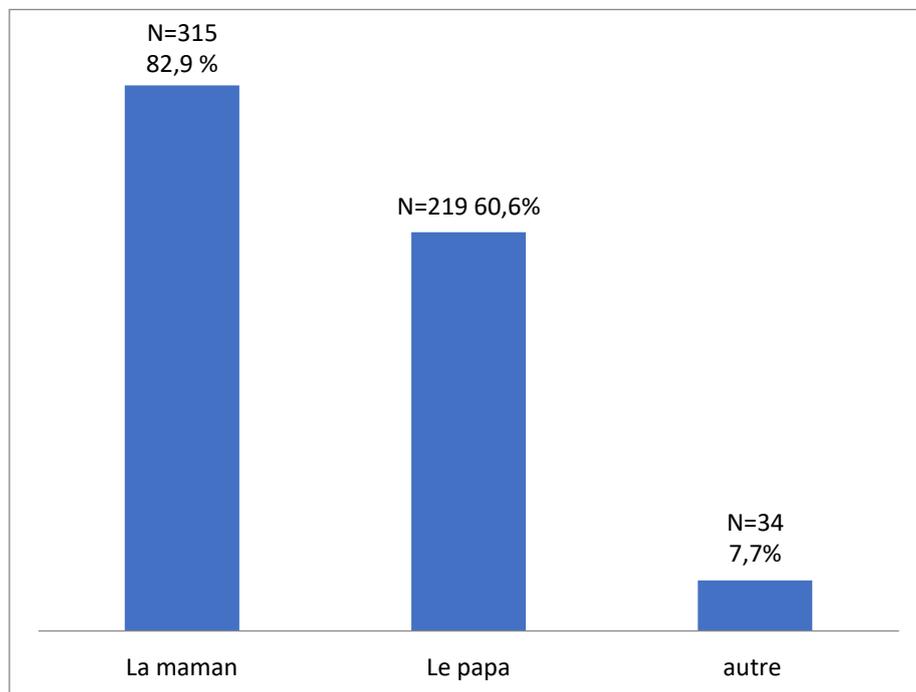


Figure 21: répartition selon les responsables d'achats de jouets

IV.3.1.2.2 Fréquences d'achats de jouets :

La majorité des participants 63% (239) achètent les jouets à leurs enfants occasionnellement, et 34% (129) régulièrement.

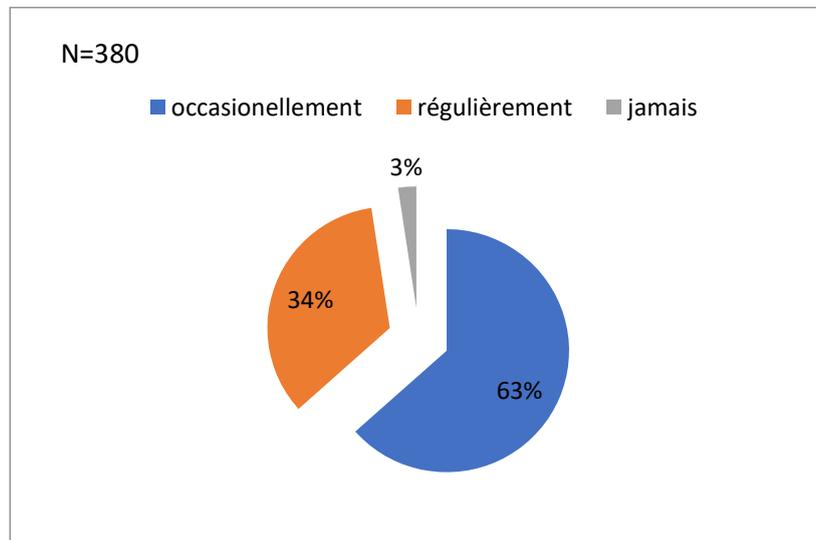


Figure 22: Répartition des participants selon la fréquence d'achats de jouets

IV.3.1.2.3 Critères principaux de choix des jouets :

La majorité des participants représentant 70,8 % (269) choisissent la qualité.

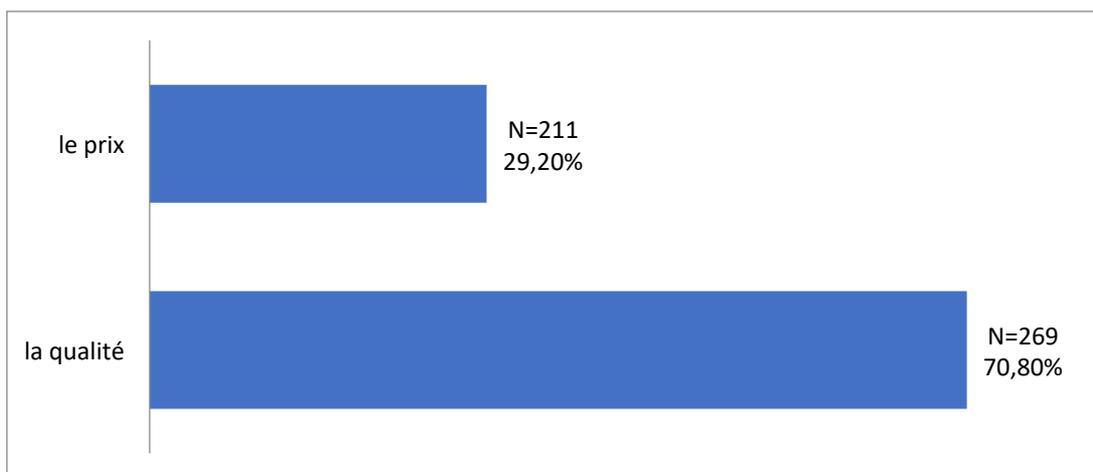


Figure 23: Répartition des participants selon les critères de choix de jouets

IV.3.1.2.4 Le choix de la matière des jouets :

La majorité des jouets achetés 87,3 % sont en plastique 40,8 % tissus, 37,9 % en bois, 12,9 % en carton, alors que 0,3 % représente la pâte à modeler et les jouets métalliques.

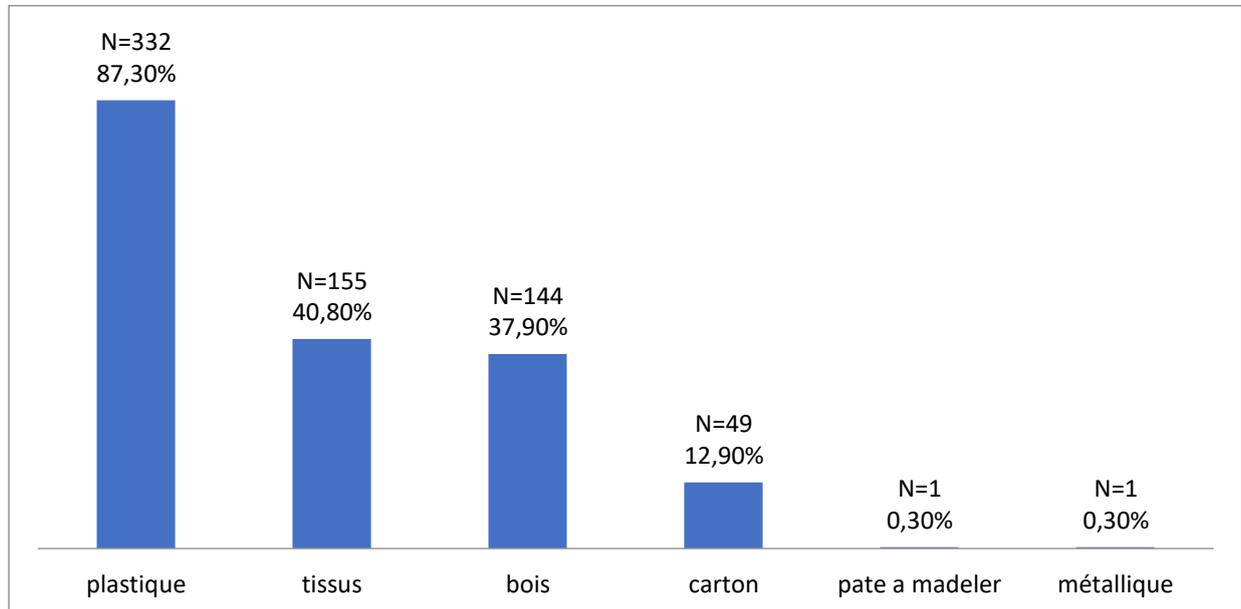


Figure 24: Le choix de la matière des jouets

IV.3.1.2.5 Le packaging des jouets :

La majorité des participants, soit 67 % (255) sont attentifs à la tranche d'âge (0-3 ans) et au marquage CE (validation par le contrôle qualité) indiqués sur le packaging des jouets.

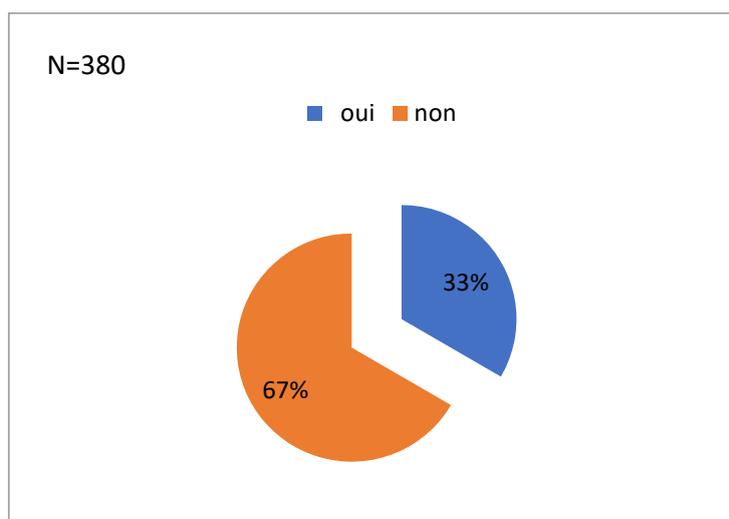


Figure 25: Répartition des participants selon leur attention à lire la tranche d'âge ainsi que le marquage CE sur le packaging

IV.3.1.2.6 Les jouets les plus achetés par la population :

Les jouets les plus achetés pour les enfants de moins de 3 ans sont comme suite : les legos 83% (314), les peluches 74% (280), les poupées et la pâte à modeler 63 % (238), il y a aussi les puzzles en carton qui représente 53% (201) des achats ou aussi les puzzles en bois 38% (144), avec des pourcentages moindres pour le slime 25% (95), les voitures 6 % (6) et les ballons 1% (2).

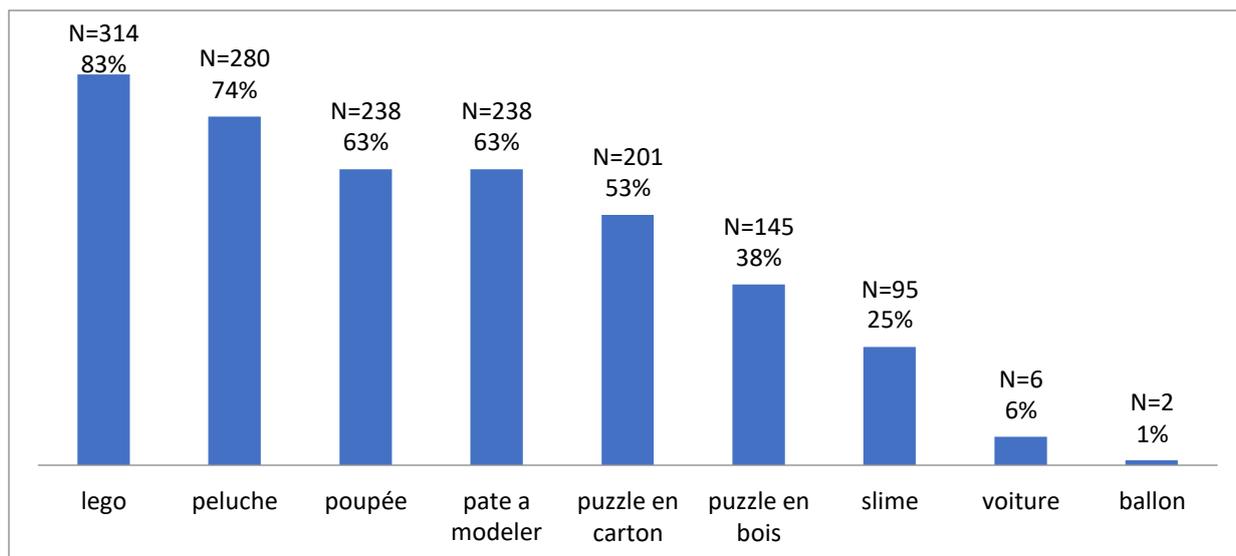


Figure 26: les types de jouets achetés

IV.3.1.3 Usage et comportement :

IV.3.1.3.1 Nettoyage des jouets avant leur utilisations :

La majorité des participants 62 % (236) ne nettoient pas les jouets de leurs enfants après les avoir achetés.

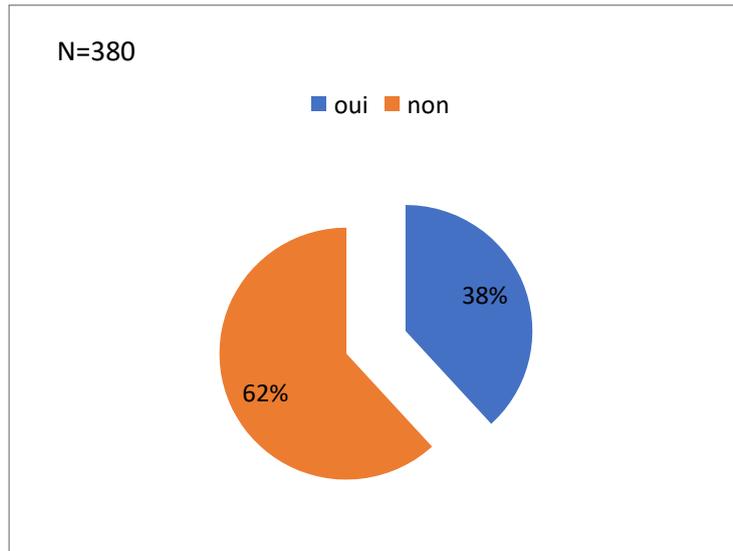


Figure 27: répartition des participants en fonction de leur attitude à nettoyer ou non les jouets avant leur usage

IV.3.1.3.2 Le contact des jouets avec la bouche :

Les enfants qui mettent les jouets dans leur bouche toujours représentent 53% (201), tandis que seulement 4% (15) de ces derniers ne les mettent jamais.

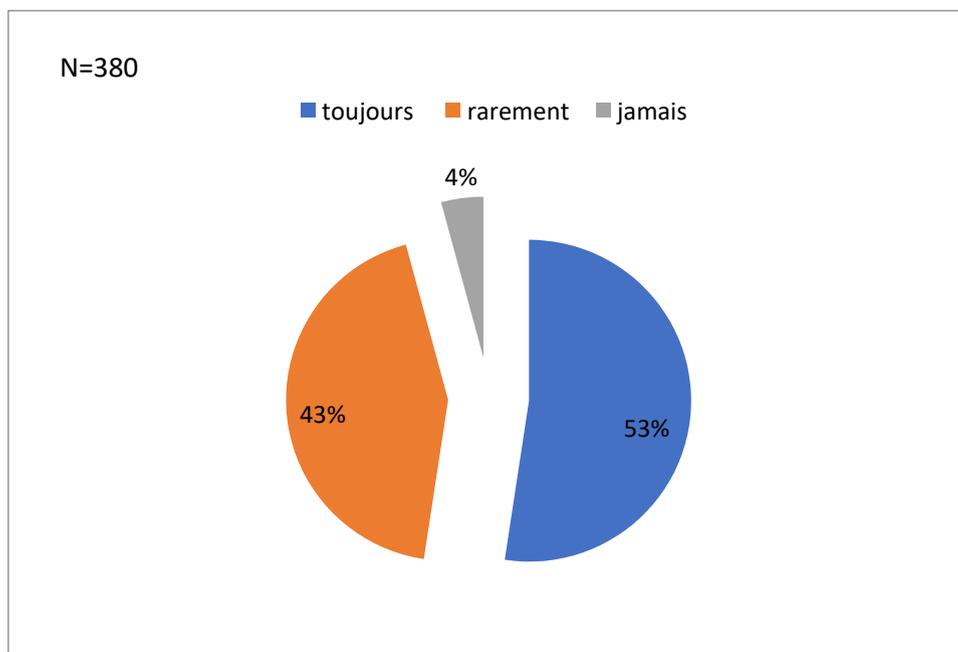


Figure 28: Répartition des enfants selon la fréquence à mettre les jouets en bouche

IV.3.1.3.3 Accompagnement des enfants lors du jeu :

Lors du jeu, 76 % (289) des participants accompagnent leurs enfants des fois, tandis que 21% (80) les accompagnent toujours.

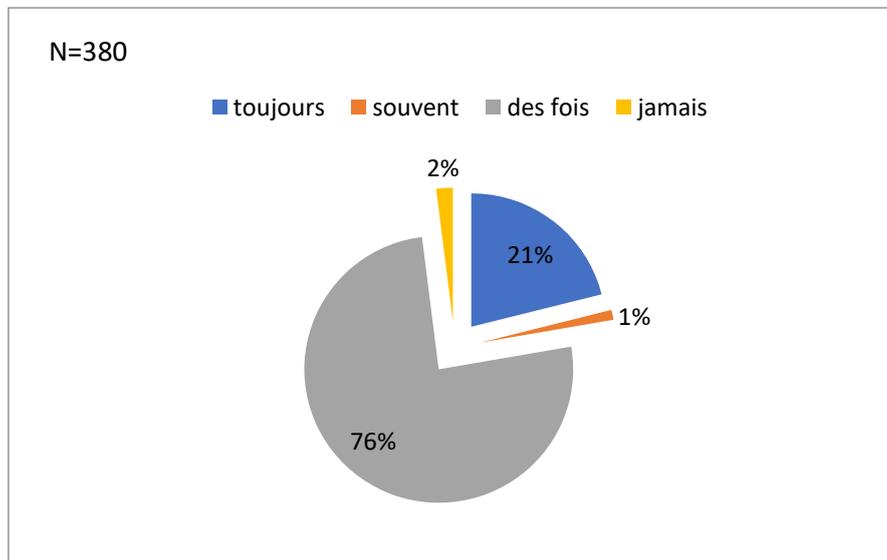


Figure 29: La fréquence des parents qui accompagnent leurs enfants lors du jeu

IV.3.1.3.4 L'usage des jouets destinés au frères et sœurs plus âgés :

Les enfants de 36 mois qui jouent avec les jouets destinés à des enfants plus âgés (frères et sœurs) représentent 63% (239). Une minorité de 10 % représente des enfants uniques en bas âge.

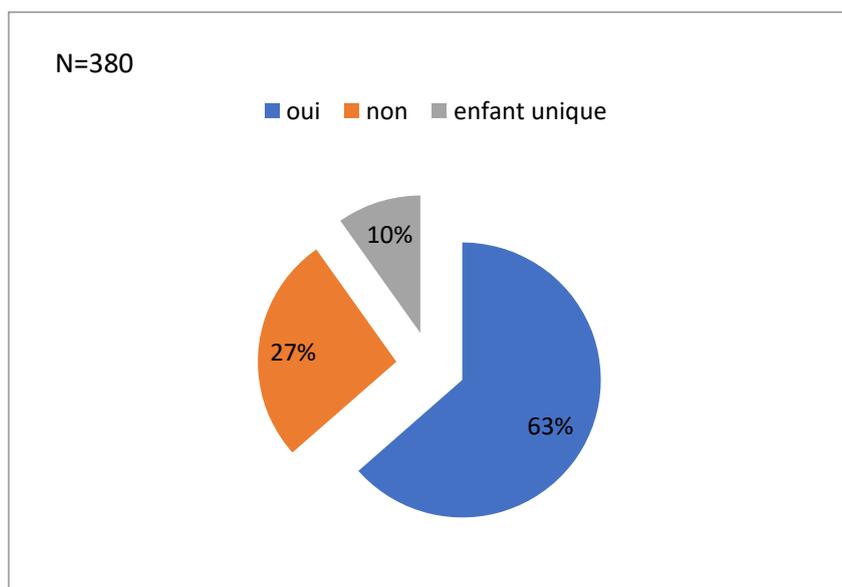


Figure 30 : répartition des enfants qui jouent avec leurs grands frères et sœurs

IV.3.1.4 Usage et devenir des jouets :

IV.3.1.4.1 Les anciens jouets :

Les participants qui ont donné leurs propres jouets (restants de leur enfance) à leurs enfants représentent 54 % (205), soit plus que la moitié de la population étudiée.

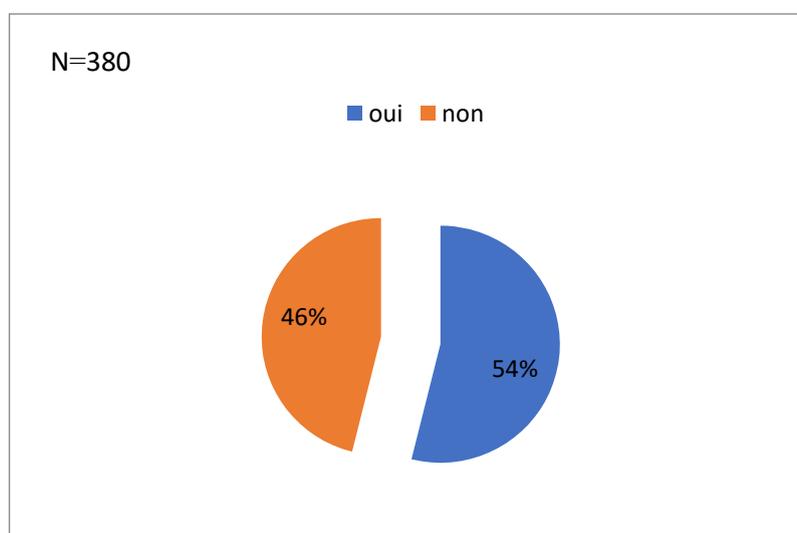


Figure 31: Répartition des participants selon la réutilisation des anciens jouets

IV.3.1.4.2 Le devenir des jouets après leur utilisation :

Selon 48% (182) des participants les jouets de leurs enfants seront donnés, 40% (152) seront cachés pour les générations suivantes et 11% (42) seront jetés.

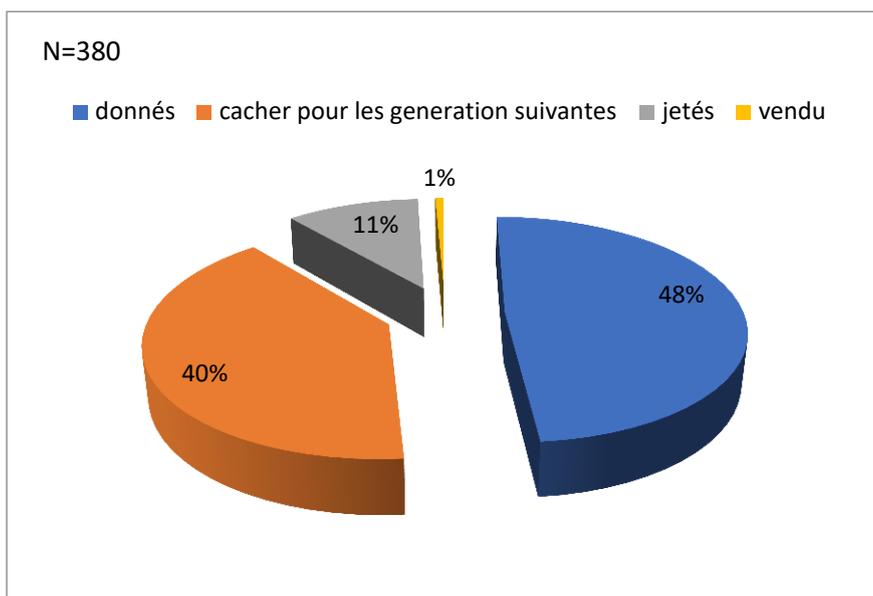


Figure 32: Le devenir des jouets après utilisation

IV.3.1.4.3 Accidents dus aux jouets :

Les enfants qui ont eu un accident lors du jeu représentent 16% (61).

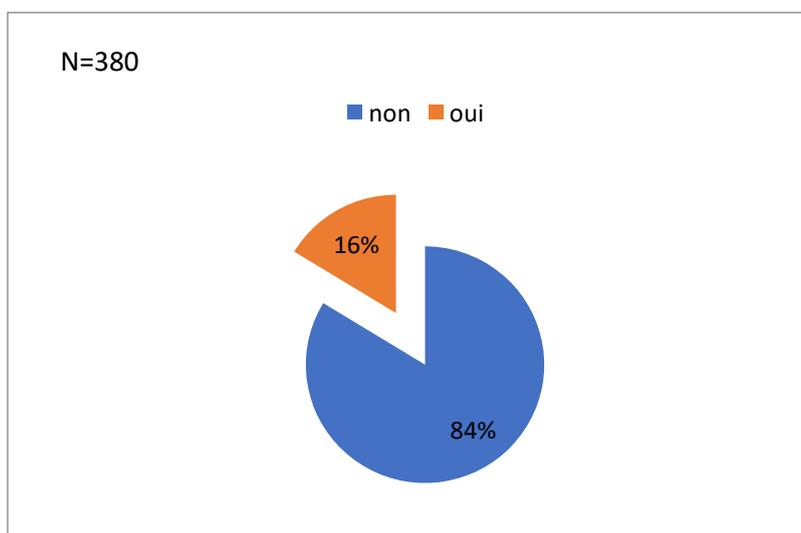


Figure 33: Fréquence des enfants qui ont eu un accident dû aux jouets

IV.3.1.4.4 La nature de l'accident :

Pour les 16 % d'accidents déclarés, 93% sont de nature mécanique (365) et 4% (15) de nature toxique.

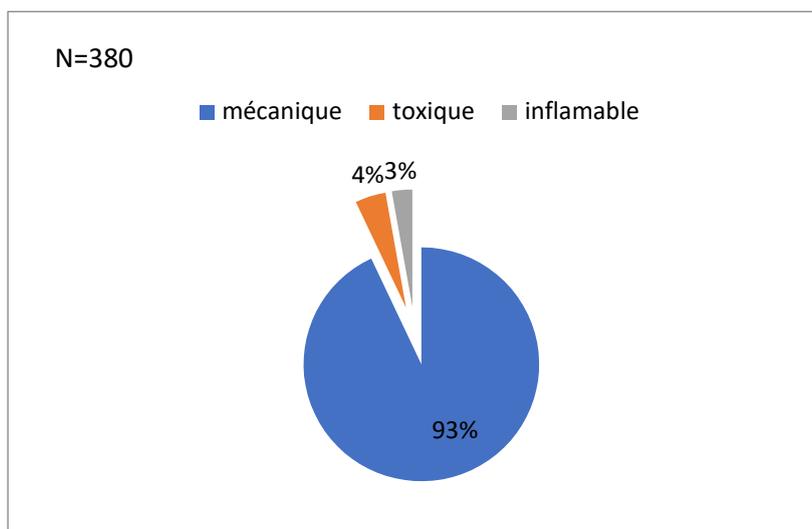


Figure 34: Les types d'accidents engendrés

IV.3.1.4.5 L'impact de l'accident :

Ces accidents n'ont eu aucun impact dans 79 % (300) des cas et 19 % (72) ont causé des cicatrices.

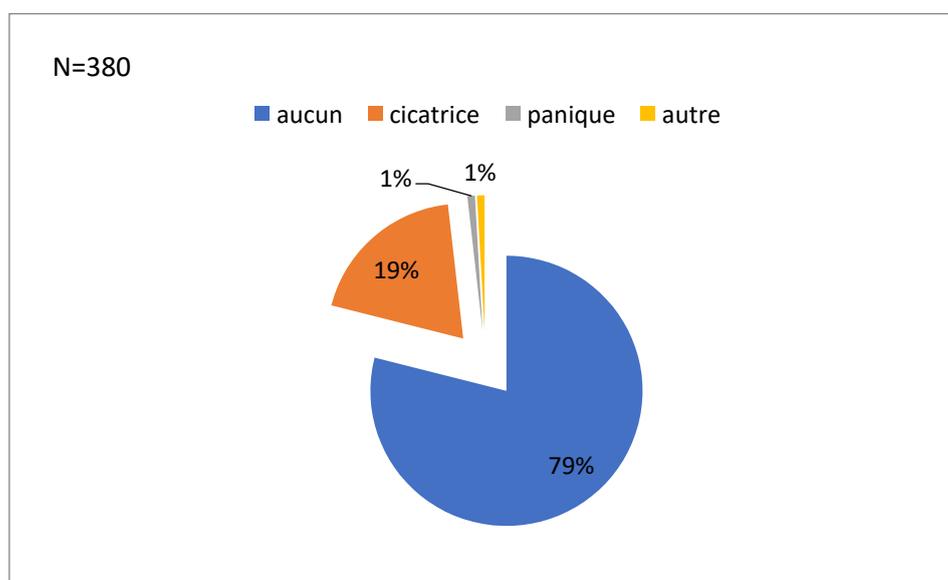


Figure 35: Les types d'impacts d'accidents

IV.4 Résultats du dosage :

Au total 42 échantillons de jouets ont été soumis à l'analyse de 4 métaux (Pb, Cd, Cu et Zn) correspondant à 10 différents jouets.

Les résultats du dosage par polarographie sont organisés dans les tableaux suivants :

IV.4.1 Statistiques descriptives des teneurs en métaux :

Tableau XI : Les statistiques descriptives des teneurs en Pb, Cd, Cu et Zn

(N =42)	Pb	Cd	Cu	Zn
Moyenne(mg/Kg)	62,53	7.07	2188,571	13131.42
Ecart type(mg/Kg)	42,71	4.94	1495,094	8 970,562
Minimum(mg/Kg)	1,80	0.20	62,98	377.92
Maximum(mg/Kg)	116,76	17.14	4086,783	24520,69

IV.4.2 Les résultats du dosage :

IV.4.2.1 Peluche :

Tableau XII : Les teneurs des 4 métaux dans différentes parties de la peluche

N=2	Pb (mg/Kg)	Cd(mg/Kg)	Cu(mg/Kg)	Zn(mg/Kg)	Dissolution
Les pieds	105,107	17,143	3 678,730	22 072,383	Complète
Le chapeau	93,582	10,398	3 275,374	19 652,243	Complète
Norme algérienne	90	75	–	–	

Un dépassement de la limite réglementaire algérienne a été enregistré pour le Pb , dans le pieds et le chapeau du peluche .

IV.4.2.1 Ballon :

Tableau XIII : Les teneurs des 4 métaux dans différentes tailles de ballons

N=2	Pb(mg/Kg)	Cd(mg/Kg)	Cu(mg/Kg)	Zn(mg/Kg)	Dissolution
Petit ballon	107,001	11,889	3 745,043	22 470,261	Complète
Grand ballon	78,581	8,731	2 750,348	16 502,087	Complète
Norme algérienne	90	75	–	–	

Un dépassement de la limite réglementaire algérienne a été enregistré pour le Pb , dans le petit ballon .

IV.4.2.2 Pâte à modeler :

Tableau XIV : Les teneurs des 4 métaux dans différentes couleurs de la pâte à modeler

N=5	Pb(mg/Kg)	Cd(mg/Kg)	Cu(mg/Kg)	Zn(mg/Kg)	Dissolution
Jaune	9,790	1,088	342,648	2 055,888	Complète
Rouge	9,503	1,056	332,620	1 995,720	Complète
Blanc	4,466	0,496	156,300	937,800	Incomplète
Bleu	1,800	0,200	62,988	377,928	Incomplète
Noir	2,213	0,246	77,460	464,760	Incomplète
Norme algérienne	90	50	–	–	

Aucun dépassement n'a été marqué dans la pâte à modeler.

IV.4.2.3 Vieux lego :

Tableau XV : Les teneurs des 4 métaux dans différentes tailles et couleurs de vieux lego

N=6	Pb(mg/Kg)	Cd(mg/Kg)	Cu(mg/Kg)	Zn(mg/Kg)	Dissolution
Petit bloc rouge	11,595	1,288	405,828	2 434,968	Incomplète
Petit bloc bleu	12,872	1,430	450,504	2 703,024	Incomplète
Petit bloc jaune	20,314	2,257	711,007	4 266,044	Incomplète
Grand bloc bleu	13,997	1,555	489,900	2 939,400	Incomplète
Grand bloc jaune	90,335	10,037	3 161,739	18 970,435	Complète
Grand bloc rouge	13,354	1,484	467,376	2 804,256	Incomplète
Norme algérienne	90	75	–	–	

Un dépassement légère de la limite réglementaire algérienne a été enregistré pour le Pb , dans le grand bloc bleu vieux lego .

IV.4.2.1 Lego :

Tableau XVI : Les teneurs des 4 métaux dans différentes tailles et couleurs de lego

N=9	Pb(mg/Kg)	Cd(mg/Kg)	Cu(mg/Kg)	Zn(mg/Kg)	Dissolution
Petit bloc jaune	110,294	12,255	3 860,296	23 161,774	Complète
Petit bloc bleu	97,081	10,787	3 397,826	20 386,957	Complète
Petit bloc blanc	0,496	4,466	156,300	937,800	Incomplète
Petit bloc rouge	93,609	10,401	3 276,313	19 657,878	Complète
Petit bloc orange	19,587	2,176	685,536	4 113,216	Incomplète
Bloc moyen rose	98,300	10,922	3 440,488	20 642,927	Complète
Bloc moyen rouge	97,686	10,854	3 419,008	20 514,050	Complète
Grand bloc orange	108,395	12,044	3 793,826	22 762,957	Complète
Grand bloc rouge	14,347	1,594	502,140	3 012,840	Incomplète
Norme algérienne	90	75	–	–	

Un dépassement de la limite réglementaire algérienne a été enregistré pour le Pb , dans le petit bloc jaune , le petit bloc bleu ,le petit bloc rouge , le bloc moyen rose ,le bloc moyen rouge et le grand bloc orange .

IV.4.2.2 Puzzle en bois :

Tableau XVII : Les teneurs des 4 métaux dans différentes tailles et couleurs d'un puzzle en bois

N=6	Pb(mg/Kg)	Cd(mg/Kg)	Cu(mg/Kg)	Zn(mg/Kg)	Dissolution
Petit bleu	100,174	11,130	3 506,087	21 036,522	Complète
Grand bleu	101,846	11,316	3 564,626	21 387,757	Complète
Petit vert	15,476	1,720	541,656	3 249,936	Incomplète
Grand vert	116,765	12,974	4 086,783	24 520,696	Complète
Petit jaune	98,765	10,974	3 456,792	20 740,755	Complète

Grand jaune	98,813	10,979	3 458,447	20 750,680	Complète
Norme algérienne	90	75	–	–	

Un dépassement de la limite réglementaire algérienne a été enregistré pour le Pb, dans le puzzle a bois pour le petit bleu, grand bleu , grand vert , petit jaune et le grand jaune .

IV.4.2.3 Puzzle en carton :

Tableau XVIII : Les teneurs des 4 métaux dans différentes parties d'un puzzle en carton

N=3	Pb(mg/Kg)	Cd(mg/Kg)	Cu(mg/Kg)	Zn(mg/Kg)	Dissolution
Couleur grise du la périphérie	86,889	9,654	3 041,113	18 246,678	Complète
Couleur grise du centre	77,143	8,571	2 700,000	16 200,000	Complète
Couleur bleue de la périphérie	84,975	9,442	2 974,122	17 844,730	Complète
Norme algérienne	90	75	–	–	

Un dépassement de la limite réglementaire algérienne a été enregistré pour le Pb dans le puzzle en carton pour la couleur grise du la périphérie et la couleur bleue de la périphérie.

IV.4.2.4 Petite poupée :

Tableau XIX : Les teneurs des 4 métaux dans différentes parties d'une petite poupée

N=2	Pb(mg/Kg)	Cd(mg/Kg)	Cu(mg/Kg)	Zn(mg/Kg)	Dissolution
Chaussure	12,300	1,367	430,500	2 583,00	Incomplète
Cheveux	16,638	1,849	582,324	3 493,944	Incomplète
Norme algérienne	90	75	–	–	

Au aucun dépassement a été marqué pour la petite poupée .

IV.4.2.5 Grande poupée :

Tableau XX : Les teneurs des 4 métaux dans différentes parties d'une grande poupée

N=3	Pb(mg/Kg)	Cd(mg/Kg)	Cu(mg/Kg)	Zn(mg/Kg)	Dissolution
Chaussure	81,74	9,083	2 861,009	17 166,052	Complète
Cheveux	99,068	11,008	3 467,368	20 804,211	Complète
Guitard	13,664	1,518	478,236	2 869,416	Incomplète
Norme algérienne	90	75	–	–	

Un dépassement de la limite réglementaire algérienne a été enregistré pour le Pb dans les cheveux de la grande poupée.

IV.4.2.6 Slime :

Tableau XXI : Les teneurs des 4 métaux dans différentes couleurs du slime

N=4	Pb(mg/Kg)	Cd(mg/Kg)	Cu(mg/Kg)	Zn(mg/Kg)	Dissolution
Noir	91,878	10,209	3 215,739	19 294,435	Complète
Marron	97,938	10,882	3 427,826	20 566,957	Complète
Jaune	98,068	10,896	3 432,389	20 594,332	Complète
Blanc	103,334	11,482	3 616,680	21 700,077	Complète

Aucune réglementation n'existe pour le slime.

IV.4.3 Etude de la corrélation :

IV.4.3.1 La corrélation entre les concentrations des métaux :

Tableau XXII : La corrélation entre les concentrations des métaux :

	Pb	Cd	Cu	Zn
Pb		,986 **	,887 **	,991 **
Cd	,986 **		,879 **	,976 **
Cu	,887 **	,879 **		,900 **
Zn	,991 **	,976**	,900 **	

Une forte corrélation existe entre la concentration des quatre métaux à une signification de 0,01.

IV.4.3.2 La concentration en métaux en fonction de la couleur des jouets :

Tableau XXIII : La concentration en métaux en fonction de la couleur des jouets

	Pb	Cd	Cu	Zn
Blanc	0,385	0,379	0,481	0,376
Noir	0,605	0,594	0,820	0,929
Jaune	0,492	0,568	0,356	0,548

Aucune corrélation significative n'existe entre la concentration en métaux et les différentes couleurs des jouets ($P > 0.05$).

IV.4.3.3 La concentration en métaux en fonction de la taille et du type du jouet:

Tableau XXIV : La concentration en métaux en fonction de la taille et du type du jouet

	Pb	Cd	Cu	Zn
Taille	0,545	0,545	0,974	0,545
Type	0,804	0,740	0,150	0,754

Aucune signification n'existe entre la concentration en métaux, la taille et le type de jouets ($P > 0.05$).

IV.4.3.4 La concentration des éléments dosés en fonction de la dissolution et du prix :

Tableau XXV : La concentration des éléments dosés en fonction de la dissolution et du prix

	Pb	Cd	Cu	Zn
Dissolution	0,881**	0,865**	0,796**	0,876**

Le prix	-0,040	-0,53	-0,226	-0,050
----------------	--------	-------	--------	--------

Une forte corrélation existe entre la dissolution et la concentration en métaux avec une signification de 0,01.

Une corrélation négative non significative se trouve entre le prix et la concentration en métaux.

IV.4.3.5 La concentration en métaux en fonction de la matière utilisée :

Tableau XXVI : La concentration en métaux en fonction de la matière utilisé

	Pb	Cd	Cu	Zn
Plastique	-0,015	0,013	0,063	-0,050
Tissus	0,195	0,306*	0,206	0,186

Il y'a une corrélation entre le tissu et la teneur en Cd (P=0.049).

Aucune corrélation n'existe entre le tissu et la teneur en Pb, Cu et Zn.

Aucune corrélation n'existe entre la teneur en métaux et les jouets en plastique.

IV.4.4 Etude de la dose journalière d'exposition EDI et l'indice de risque relatif RII:

Tableau XXVII : La dose journalière d'exposition EDI des échantillons

EDI ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$)	MIN ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$)	MOY\pmET ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$)	MAX ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$)	TDI ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$)
EDI Pb	0,176	1,799 \pm 0,328	2,402	3.6
EDI Cd	0,019	0,203 \pm 0,039	0,33	0.5
EDI Cu	6,167	62,986 \pm 11,493	84,096	83
EDI Zn	37,005	377,921 \pm 68,960	504,578	500

La moyenne de dose journalière d'exposition EDI de chaque élément a été au-dessous la dose journalière tolérable TDI qui lui correspond.

Tableau XXVIII : Indice de risque relatif RII dans les échantillons

Risque intake indice (%)	MIN (%)	MOY±ET (%)	MAX (%)
RII Pb	4,894	35,763 ± 22,237	66,743
RII Cd	3,915	29,111 ± 18,171	66
RII Cu	1,448	54,291 ± 33,757	101,321
RII Zn	1,442	79,286 ± 13,792	100,915

Les moyennes d'indice de risque relatif RII pour les 4 métaux ont été élevé (RII > 2 %). Les RIIs minimales pour les 4 métaux ont été observé dans la pâte à modeler jaune et le taux maximal de RII de Cd est de 66% a été marqué dans le pied de peluche, concernant les RIIs maximales du Pb, Cu et le Zn ont été marqué dans un lego orange de grand de taille.

Tableau XXIX : es échantillons en teneur élevé du pb

Échantillons	Teneur (mg/Kg)	Norme algérienne (mg/Kg)	Dissolutions
Pied de la peluche	105,107	90	Complète
Chapeau de la peluche	93,582	90	Complète
Petit ballon	107,001	90	Complète
Grand ballon	78,581	90	Complète
Grand bloc Jaune de vieux lego	90,335	90	Complète
Petit bloc jaune de lego	110,294	90	Complète
Lego petit bloc Bleu	97,081	90	Complète
Lego petit bloc rouge	93,609	90	Complète
Lego bloc moy en rose	98,300	90	Complète
Lego bloc moy en rouge	97,686	90	Complète
Lego grand bloc orange	108,395	90	Complète
Puzzle en bois petit bleu	100,174	90	Complète
Puzzle en bois grand bleu	101,846	90	Complète
Puzzle en bois grand vert	116,765	90	Complète
Puzzle en bois petit jaune	98,765	90	Complète
Cheveux de grande poupée	99,068	90	Complète

IV.5 Discussion :

L'objectif principal de notre étude est d'évaluer la teneur en métaux dans les jouets destinés à des enfants de moins de 36 mois.

Notre échantillonnage regroupe seulement 10 types de jouet. Le nombre d'échantillon prévu pour l'analyse était de 88, mais uniquement 42 ont fait l'objet de notre travail.

Ce nombre réduit était due d'un coté à la pénurie des solvants utilisés pour le pré traitement, et d'autre part à la suspension du travail lors de la troisième vague du covid, ce qui nous a limité le temps consacré à la partie pratique. Uniquement quatre éléments ont été dosés (Pb, Cd, Cu et Zn) suivant la disponibilité des étalons au niveau de notre université.

Un questionnaire a été destiné à la population pour évaluer leurs connaissances au sujet des risques toxiques liés à l'usage des jouets destinés aux enfants de moins de 36mois. La quasi-totalité des participants 96% (365) ont confirmé que leurs enfants mettent leurs jouets en bouche, ce geste inoffensif est en réalité un outil d'auto-intoxication en cas de présence de composants toxiques (118). Selon ces derniers 16% (61) des enfants des participants ont eu un accident durant leur jeu, 4% (15) étaient d'origine toxique.

Sur les 42 échantillons nous avons trouvé une moyenne du Pb de 62,53mg/Kg, du Cd de 7,07mg/Kg, du Cu de 2070,40mg/Kg et du Zn de 133223,07mg/Kg. Un dépassement de la valeur limite du Pb qui est réglementé à 90mg/Kg a été enregistré dans 20 échantillons, pour le Cd la réglementation algérienne a fixé une valeur de 75mg/Kg pour tout type de jouet et 50mg/Kg pour la pâte à modeler, aucun dépassement n'a été enregistré dans tous nos échantillons. Pour la teneur en Cu et en Zn aucune réglementation n'existe.

Une forte corrélation s'est révélée entre la concentration des 4 métaux dosés (Pb, Cd, Cu et Zn) dans tous les types de jouets testés, avec r (Pb-Cd), r (Pb-Cu), r (Pb-Zn), r (Cd-Cu), r (Cd-Zn), r (Cu-Zn) qui ont respectivement une valeur de (0.986), (0.887), (0.991) (0.869), (0.976) et (0.900). Selon une étude faite en 2018 sur le marché polonais, des métaux comme le Pb, le Cd, le Cu, le Zn, l'As, le Cr... seraient utilisés comme agents colorants et catalyseurs pour fournir la douceur, la luminosité et la flexibilité aux jouets (119).

Une corrélation importante se trouve entre la concentration en métaux dans nos échantillons et le facteur de dissolution. Le coefficient de corrélation (r) entre la dissolution et le taux de Pb, Cd, Cu et le Zn est respectivement (0.881), (0.865),(0.796) et (0.876). Effectivement, les échantillons partiellement dissous ont révélé de très faibles concentrations en métaux. Ces derniers devront être soumis à une deuxième dissolution dans des conditions plus agressives. Cependant, ces résultats sont exclus définitivement de toute comparaison avec les autres partis dissoutes.

La peinture et les colorants utilisés dans les jouets sont souvent incriminés d'être la source de contamination par les métaux, surtout pour le plomb. Dr Andrew Turner de l'université de Plymouth (UK) a déduit par son étude sur 200 échantillons de jouets que la couleur jaune, rouge et noir seraient plus toxiques et plus concentrées en métaux que les autres couleurs

(120). Une autre étude faite à l'université Adam Mickiewicz à Poznań en Pologne sur les éléments dangereux dans les jouets pour enfants en 2018, a révélé une valeur maximale de Pb (2,816mg/kg) dans la couleur noire, et une valeur maximale (0,449mg/Kg) dans la couleur brune. Pour le Cd un résultat maximal de (0.345mg/kg) pour le noir et un minimum (0.056mg/Kg) pour le brun, une certaine corrélation se trouve entre la couleur et la concentration en métaux (119). A travers ces deux recherches la couleur noire serait donc plus concentrée en métaux et donc plus toxique. Nos résultats ne rejoignent pas totalement ces deux études car les taux les plus élevés en Pb sur les 20 échantillons complètement dissous représente la couleur verte (116,76mg/Kg), la couleur jaune (110.29mg/Kg), la couleur orange (108.39), vient après la couleur bleu, rouge et noire avec des concentrations moindres mais qui restent toujours au-dessus de la valeur limite autorisée (90mg/Kg). Pour le Cd la plus grande valeur correspond à la couleur bleu (17,14) cette dernière se situe bien en dessous de la valeur limite (75mg/Kg). Les teneurs maximales en Cu (4068.78mg/Kg) et en Zn (24520.69mg/Kg) ont été retrouvées dans la couleur verte. On ne peut pas déduire les couleurs les moins concentrées en métaux du fait que toutes les valeurs minimales correspondent à des échantillons partiellement dissous. Selon ces résultats la couleur verte serait potentiellement plus toxique. Nos résultats n'ont prouvé aucune corrélation statistiquement significative entre certaines couleurs (noir, blanc et jaune) et la teneur des 4 métaux ($P > 0.05$). Un nombre d'échantillons plus élevé est recommandé pour valider les résultats du facteur couleur.

Le prix est aussi un facteur à prendre en considération lors de l'achat d'un jouet. Il est généralement possible de trouver des jouets qui conviennent au budget fixé tout en tenant compte de la qualité du jouet. Par ailleurs, les jouets qui coûtent cher ne sont pas toujours les plus intéressants. C'est souvent le cas des jouets qui mettent en vedette un personnage populaire, la mode influe souvent sur les prix. Les jouets éducatifs sont aussi généralement plus chers (121). Cet énoncé s'accorde à nos résultats. D'un côté on a trouvé une corrélation négative entre le prix et la concentration en métaux, le coefficient de corrélation (r) pour le Pb, Cd, Cu et Zn est respectivement : (-0,040), (-0,53), (-0.22) et (-0.05). C'est-à-dire que plus le prix du jouet augmente et moins il est concentré en métaux, statistiquement parlant cette corrélation n'est pas significative ($P > 0.05$). D'un autre côté le facteur pub est confirmé car la plus grande teneur en Cd a été retrouvée dans une peluche d'un personnage très populaire dans le monde des tout petits, ainsi que la valeur maximale en Pb a été retrouvée dans un jouet en bois éducatif et plus cher que les autres jouets.

Aucune différence significative n'a été prouvée entre le type de jouet et la concentration en métaux ($P > 0.05$) pour tous les éléments. Ce résultat s'applique aussi au facteur de la taille.

Plus de 83% des participants au questionnaire choisissent des jouets en plastique pour leurs enfants. Ça rejoint le fait qu'ils sont beaucoup moins chers que les jouets en bois ou en tissu. Toutefois, les enfants ont tendance à se lasser des mêmes jouets, ce qui pousse les parents à dépenser peu pour acheter plus. Ils sont également très facilement lavés et magnés par l'enfant, avec des couleurs attirantes qui boostent la curiosité des tout petits. Ainsi un jouet en plastique ne pourrait qu'être admiré par tous (122). Dans notre étude nous avons inclus plusieurs jouets en plastique (ballons, poupées et legos). Sur les 22 échantillons, la

dissolution complète s'est faite dans 11 cas uniquement, ce nombre réduit ne nous a donné aucune corrélation avec la teneur en métaux. Parmi ces derniers, 9 échantillons dépassaient légèrement la valeur limite du Pb. Une étude s'est faite sur différents type de jouets en plastique dans les quatre coins du monde, la teneur en Pb s'est révélée très élevée. En Chine (116,20 ppm), au Cameroun (500 ppm), en Afrique du Sud (189 ppm), en Tanzanie (120,8 62 ppm), l'Ouganda (150 ppm), la Thaïlande (505,71 ppm) et le Brésil (170,25 ppm) pour n'en citer que quelques-uns (102).

Les jouets en tissus sont souvent conseillé pour les enfants en bas âge, apparemment les colorants utilisés pour les textiles doivent impérativement être non toxiques et ne pas déteindre à la salive(123). 74% des participants au questionnaire (280) ont déjà acheté une peluche à leurs enfants. Le tissu se place en deuxième position après le plastique sur l'échelle des matières les plus achetées pour cette tranche d'âge. Un dépassement des normes pour le plomb était enregistré dans les deux échantillons de peluche analysés avec une moyenne de 99,34mg/Kg . Néanmoins le taux du Cd (13,77mg/ Kg) est largement en dessous de la limite algérienne . Même si la valeur du Cd est inférieure à la norme, elle reste tout de même assez importante par rapport à la concentration dans les autres types de jouets avec un coefficient de corrélation de 0.306 qui est statistiquement significatif ($P > 0.05$).

Trois échantillons de pâte à modeler sur cinq n'ont pas étaient totalement dissouts, ces derniers nécessitent une redissolution. Les deux couleurs dissolues étaient de couleur jaune et rouge, La moyenne du Pb et du Cd étaient respectivement (9.64mg/Kg) et (1.07mg/Kg). Ces valeurs sont en dessous des limites de la réglementation algérienne fixées respectivement pour le Pb et le Cd à (90mg/Kg)et (50mg/Kg). Ce résultat rejoint partiellement l'étude faite en 2013 sur la pâte à modeler importée en Liban où un taux normal de Pb a été observé, mais avec un dépassement de la limite de migration du Cd qui est fixée par la réglementation européenne à (1.9 mg/Kg) dans 83% des échantillons (124).

Aucune réglementation des métaux pour les jouets n'existait il y a quelques décennies. Une étude publiée dans le journal Environmental Health en 2015 faite sur de vieux jouets a révélé que la couleur verte et orange seraient plus concentrée en Cd, et la couleur rouge en Pb(103). Le résultat de notre étude faite sur de vieux legos qui ont plus de 25 ans n'a pas révélé une différence significative entre les couleurs et la teneur en métaux. Ceci est dû au nombre très réduit d'échantillons ayant eu une dissolution complète.

Le questionnaire a révélé que 83 % (314) des participants ont déjà acheté des briques de lego à un enfant en bas âge. Ce jouet ludique par excellence a marqué l'histoire du jeu pendant des années, d'où l'importance de le choisir pour faire des études approfondies. Les moyennes des concentrations en Pb, Cd, Cu et Zn dans les échantillons totalement dissouts sont respectivement (100.,89mg/Kg), (11.21mg/Kg), (3531.29mg/Kg) et (21187.75mg/ Kg). Comparant aux normes algériennes Pb (90mg/Kg) et Cd (75mg/Kg), un dépassement de plus de 10% des normes est signalé pour le Pb uniquement. Le Zn et le Cu n'ont aucune limite dans notre réglementation, mais même si la valeur retrouvée est avalée en entier chose qui est impossible en réalité, ça reste largement en dessous des limites de migration déposées par la

réglementation européenne du Pb, Cd, Cu et Zn qui sont respectivement (160mg/Kg), (23mg/Kg), (7700mg/Kg) et (46000mg/Kg). Aucune étude récente n'a été retrouvée sur les legos actuels pour faire une comparaison.

Pour les puzzles en bois et en carton, différentes parties ont été soumises au dosage des métaux lourds. Les endroits choisis correspondent aux parties susceptibles d'être le plus en contact avec la bouche, on parle du revêtement des jouets. Les moyennes pour le Pb et le Cd sont respectivement (95,67mg/Kg) et (10.67mg /kg). Un dépassement est signalé pour le Pb par rapport à la réglementation fixée à 90mg/Kg. Les résultats pour les puzzles en carton ont révélé que pour une même couleur la concentration en métaux serait plus élevée en périphérie qu'au centre. Par exemple la couleur grise en périphérie contient 86,88mg/Kg de Pb contre 77.14mg/Kg au centre, pour le Cd c'est 9.65 mg/Kg en périphérie contre 8.57mg/Kg au centre. En 2015, une étude similaire était faite en chine, une teneur de Cd supérieur à la limite de migration autorisée par l'UE (1.9mg/Kg) a été retrouvé dans les échantillons testés, avec un taux normal pour les autres ETM (125). Une autre étude réalisée en Colombie en 2014 a révélé le dépassement des normes américaines du Pb (90mg/Kg) dans 7% des 116 échantillons testés(126).

Dans nos jours, la tendance ludique pour les enfants correspond à une pâte gluante et colorée nommée le slime. De nombreuses alertes de type brulures, allergies, atteinte des voies respiratoires et même de la fertilité se sont prononcées à ce sujet. Dans un rapport du 14 décembre 2018, l'Anses et la DGCCRF (Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes) révèlent que cette pate serait potentiellement toxique en cas d'usage courant et répété. Entre janvier 2014 et mai 2018, les analyses ont révélé 205 cas de toxicité liée au Slime (127). Selon le magazine "les résultats sont particulièrement effrayants", un dépassement de 14 fois la teneur autorisée en bore a été retrouvé. C'est ce composé connu pour être toxique à forte dose car c'est lui qui donne de l'élasticité à la pâte, malheureusement nous n'avons pas pu lui faire un dosage (128). On n'a pas retrouvé d'articles en ce qui concerne les dépassements en Pb, Cd, Cu et Zn pour interpréter les moyennes en teneur qui sont respectivement (97,80mg/Kg), (10.68mg/Kg), (3423.15mg/Kg) et (20.53mg/Kg). Aucune norme algérienne n'est établie pour le slime.

Pour une matière de jouet sèche, friable, poudreuse ou souple la limite de migration selon la législation européenne est de (622.5 mg/Kg) et (3750mg/Kg) pour le Cu et le Zn respectivement, tandis que pour un jouet liquide ou collant c'est (156mg/Kg) et (938mg/Kg) et pour la matière grattée du jouet c'est (7700mg/Kg) et (46000mg/Kg). Les taux de Cu et du Zn retrouvés dans nos échantillons de pâte à modeler sont (332,620mg/Kg) et (1995,720mg/Kg) pour le Cu et le Zn respectivement. Pour le slime les taux retrouvés pour le Cu et le Zn sont (3423.15mg/Kg) et (20538.95mg/Kg) respectivement. Aucune norme algérienne n'existe pour ces deux éléments, et malheureusement nous n'avons pas pu faire le test de migration afin de comparer avec la législation européenne. Une étude faite sur le marché asiatique centrale, a révélé des concentrations élevées en Cu et en Zn en se référant à la législation américaine, canadienne et européennes. Ces valeurs étaient 100 fois plus élevées que les normes (129).

L'évaluation des risques est une étape critique pour déterminer si des effets nocifs potentiels se produiront en cas d'exposition humaine pour cela la dose journalière tolérable TDI pour chaque élément a été donné et une dose journalière d'exposition EDI ainsi un indice de risque relatif RII de chaque élément a été calculé (la bioaccessibilité des éléments a été supposée être de 100%).

La moyenne de la dose journalière d'exposition EDI de chaque élément a été au-dessous la dose journalière tolérable TDI qui lui correspond. Les EDI minimales pour les 4 métaux ont été marqué dans la pâte à modeler jaune, et l'EDI maximale de Cd ($0,33 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$) a été observé dans le pied de peluche mais qui est toujours au-dessus la limite de TDI pour ce métal (TDI $0,5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$). Concernant les EDIs maximales du Pb, Cu et Zn ont été marqué dans un lego orange de grande de taille. Un léger dépassement dans cet échantillon, était noté pour le Cu (84,096) et le Zn (504,578) par rapport aux normes de ces métaux qui sont de $83 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ et $500 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ respectivement.

Les moyennes de risque relatif pour les 4 métaux Cd, Pb, Cu et Zn étaient respectivement $9,111 \pm 18,171\%$, $35,763 \pm 22,237 \%$, $54,291 \pm 33,757\%$, $79,286 \pm 13,792\%$. Ce résultat est nettement supérieur à la norme qui est de l'ordre de 2%

Les RIIs de l'étude faite en Portugal en 2015 étaient de $0.23 \pm 0.30\%$, $0.42 \pm 0.42\%$ pour le Pb et Cd respectivement, tandis que les RIIs du Cu et Zn qui ont été moins de 5 % dans des jouets a peinture. Ces résultats sont nettement inférieurs aux valeurs trouvées dans notre étude (130).

IV.6 Conclusion :

Cette étude a rapporté pour la première fois au ouest du pays, la mesure simultanée de 4 éléments métalliques dans des jouets destinés aux enfants de moins de 36 mois.

L'évaluation de la composition en métaux a révélé la présence de plomb, de cadmium, de cuivre et de zinc, avec un dépassement de la norme pour le plomb (90mg/Kg).

En raison de l'absence d'études antérieures faites dans notre pays à ce sujet, la comparaison du présent travail s'est faite avec des résultats issus d'études européennes, asiatiques et américaines. Des difficultés d'interprétations ont été retrouvées suite à la différence des normes internationales avec les nôtres.

Il est recommandé de faire des études approfondies dans ce secteur afin d'actualiser nos normes qui datent de 1998 et de désigner de nouvelles normes pour les métaux non réglementés.

Le choix des jouets reste toujours difficile, car le prix ne reflète pas systématiquement la qualité du matériel utilisé, en attendant que d'autres études soient faites, il est conseillé de bien choisir les jouets destinés à nos enfants en bas âge, en faisant attention d'une part à la tranche d'âge à laquelle un jouet est censé être destiné car elle reste tout de même un critère à ne pas négliger pour assurer la sécurité physique et psychique de l'enfant, afin de diminuer les différents risques auxquels un enfant pourra être confronté, et d'autre part au marquage CE car quant à lui, même s'il signifie que le jouet est conforme à des exigences de sécurité mais il n'a pas une très grande signification en l'absence d'un contrôle qualité.

Une conscience professionnelle est demandée de la part des fabricants et des fournisseurs des jouets. Ainsi qu'une vigilance des parents en ce qui concerne le choix et l'entretien des jouets de leurs enfants.

Résumé

La contamination des jouets destinés aux enfants de moins de 36 mois par les métaux est un problème très répandu. Ces éléments peuvent s'avérer toxiques notamment en cas de mise en bouche des jouets par les enfants. Le présent travail vise à évaluer le taux de quatre éléments métalliques (Pd, Cd, Cu et Zn) dans dix types de jouets achetés sur le marché algérien et à vérifier leur conformité par rapport aux valeurs fixées par la réglementation algérienne et internationale.

Il s'agit d'une étude expérimentale transversale descriptive, au cours de laquelle 42 échantillons ont été analysés. Sur l'ensemble, les taux moyens mesurés étaient de 62,53mg/Kg pour le Pb, 7,07mg/Kg pour le Cd, 2070,40mg/Kg pour le Cu et 133223,07mg/Kg pour le Zn. Un dépassement de la limite réglementaire algérienne a été enregistré pour le Pb (90mg/Kg) dans 20 échantillons. Contrairement au Cd où tous les échantillons testés étaient au-dessous de la norme (75mg/Kg). Aucune réglementation ne précise, par ailleurs, les valeurs limites pour le Cu et le Zn.

La moyenne de la dose journalière d'exposition (EDI) de chaque élément est, de sa part, revenue au-dessous la dose journalière tolérable (TDI) qui lui correspond. Quant aux moyennes de risque relatif (RII) pour les 4 métaux Cd, Pb, Cu et Zn, elles étaient respectivement de $9,111 \pm 18,171\%$, $35,763 \pm 22,237\%$, $54,291 \pm 33,757\%$ et $79,286 \pm 13,792\%$. Ce résultat est nettement supérieur à la norme qui est de l'ordre de 2%.

IL est, de ce fait recommandé d'actualiser les normes algériennes qui datent de 1998 et de désigner de nouvelles normes pour les métaux non règlementés. Un contrôle qualité permet, de sa part, de garantir de l'application de cette réglementation.

Mots clés :

Jouets , métaux, toxicité , enfant du bas âge , règlementation , risque .

Abstract

Metal contamination of toys for children under 36 months is a widespread problem. These elements can be toxic, especially if children put toys in their mouths. This work aims to assess the rate of four metallic elements (Pd, Cd, Cu and Zn) in ten types of toys purchased on the Algerian market and to verify their compliance with the values set by Algerian and international regulations.

This is a descriptive cross-sectional experimental study, in which 42 samples were analyzed. Overall, the average levels measured were 62.53mg / Kg for Pb, 7.07mg / Kg for Cd, 2070.40mg / Kg for Cu and 133,223.07mg / Kg for Zn. The Algerian regulatory limit was exceeded for Pb (90mg / Kg) in 20 samples. Unlike the CD where all the samples tested were below the standard (75mg / Kg). Moreover, no regulation specifies the limit values for Cu and Zn.

The average daily exposure intake (EDI) of each component, for its part, fell below the tolerable daily intake (TDI) that corresponds to it. As for the risk intake indice (RII) for the 4 metals Cd, Pb, Cu and Zn, they were respectively $9.111 \pm 18.171\%$, $35.763 \pm 22.237\%$,

54.291 ± 33.757% and 79.286 ± 13.792%. This result is significantly higher than the norm of around 2%.

It is therefore recommended to update the Algerian standards which date from 1998 and to designate new standards for non-regulated metals. Quality control, for its part, guarantees the application of this regulation.

Key words :

Toys , metals, toxicity, toddler, regulation, risk.

المخلص :

يعتبر التسمم بالمعادن من ألعاب الأطفال دون سن 36 شهرا مشكلة واسعة الانتشار يمكن أن تكون هذه العناصر سامة ، خاصة إذا وضع الأطفال الألعاب في أفواههم ، يهدف هذا العمل إلى تقييم معدل العناصر المعدنية الأربعة (الرصاص ، الكاديوم ، النحاس و الزنك) في عشرة أنواع من الألعاب المشتراة من السوق الجزائري و التحقق من امتثالها للقيم التي تحددها القوانين الجزائرية و الدولية .

هذه دراسة تجريبية وصفية مقطعية تم فيها تحليل 42 عينة . بشكل عام كان متوسط المستويات التي تم قياسها 62.53 مغ /كغ للرصاص 7.04 مغ /كغ للكاديوم ، 2070.40 مغ /كغ للنحاس و 133223.7 مغ /كغ للزنك .تم تجاوز الحد التنظيمي الجزائري للرصاص (90 مغ /كغ) في 20 عينة .على عكس القرص المضغوط حيث كانت جميع العينة المختبرة اقل من المعيار (75مغ /كغ) علاوة على ذلك لا توجد لائحة تحدد القيم الحدية للنحاس والزنك .

انخفاض لمتوسط التعرض اليومي لكل مكون إلى أقل من المتوسط المسموح به . بالنسبة الى مؤشر الخطر النسبي للمعادن الاربعة كان 9.111 ± 18.171 % للرصاص 22.237±35.76% للكاديوم 54,291 ± 33,757 % للنحاس 13,792±79,286 % للزنك هذه النتيجة أعلى بكثير من المعدل الطبيعي الذي هو 2% . لذلك يوصى بتحديث المواصفات القياسية الجزائرية التي يعود تاريخها إلى عام 1998 وتعيين معايير جديدة للمعادن غير الخاضعة للتنظيم .تضمن مراقبة الجودة من جانبها تطبيق هذه اللائحة .

كلمات مفتاحية

ألعاب ,المعادن, تسمم, الأطفال, القوانين.

Références

1. Bedford E, World toy market total revenue 2020 , 2 Aug 2021 [En ligne] .[consulté le 2 septembre 2021] . Disponible sur:
<https://www.statista.com/statistics/194395/revenue-of-the-global-toy-market-since-2007/> .
2. Baptiste C , Actu-Environnement. Quels risques sanitaires autour des jouets pour enfants ? ,14 Dec 2011 [En ligne] , [consulté le 2 septembre 2021]. Disponible sur:
<https://www.actu-environnement.com/ae/news/securite-jouets-14409.php4> .
3. Alexandre C , Jouets : les normes et labels à connaître, revue les pros de la petite enfance , 22 Fev 2016. Jouets : les normes et labels à connaître, revue les pros de la petite enfance [En ligne], [consulté le 2 septembre 2021] . Disponible sur:
<https://lesprosdela petiteenfance.fr/equipements-produits/jeux-et-jouets/securite-des-jouets-tout-ce-que-vous-devez-savoir/jouets-les-normes-et-labels-connaître>
4. AlloCreche , Santé et enfance le 20 Dec 2011. L’UFC que choisir! s’inquiète de la toxicité des jouets [En ligne] ,[consulté le 2 septembre 2021]. Disponible sur:
<https://allocreche.fr/actualite/ufc-que-choisir-inquiete-de-la-toxicite-des-jouets-152>.
5. Planetoscope - Statistiques : Enfants blessés par des jouets en Europe , 2012. [En ligne] [consulté le 2 septembre 2021]. Disponible sur:
<https://www.planetoscope.com/jeux/1821-.html>
6. Blog cododo, Comprendre l’évolution du jouet depuis la Préhistoire [Internet]. [consulté le 10 Jun 2021]. Disponible sur: <https://www.cadolo.fr/histoire-du-jouet/>.
7. L’histoire du jouet [En ligne]. [consulté le 10 Juin 2021]. Disponible sur:
http://jouet.org/histoire.html?fbclid=IwAR1QhygExj2roEMPBwBbJuUUc1XiVNag5ADCsTt-s1_8v5NRXpMFHC1AHp0
8. Cohen S , Sa vie, c’est le jeu , 2003. Chapitre premier : Le jouet dans l’Histoire. Education et formation , P 9-33. Le jouet dans l’Histoire.
9. Inauguration du Musée International de la toupie , 08, Aout 2017 [En ligne]. [consulté le 7 septembre 2021]. Disponible sur: <https://da-tuoluo.com/wordpress/2017/08/08/inauguration-du-musee-international-de-la-toupie/>.
10. Crétin J-H , 22 Dec 2010. Le jouet à travers l’Histoire , journal: l’hebdo du vendredi [En ligne]. [consulté le 10 Juin 2021]. Disponible sur:
<http://www.lhebdo duvendredi.com/article/1726/le-jouet-a-travers-lhistoire>.
11. Humbert R. Musée des Arts populaires, 2020 ,[En ligne]. [consulté le 7 septembre 2021]. Disponible sur: <http://laduz.com/collection/jouets-populaires/> .

12. École des Bons-Vents ,Connaissez-vous l'origine de certains jouets?, 20 Dec 2016 | [En ligne]. [consulté le 10 Juin 2021]. Disponible sur: <https://desbonsvents.cssdgs.gouv.qc.ca/2016/12/20/connaissez-vous-lorigine-de-certains-jouets/>.
13. LEGO Museum in Prague , 06 Mai 2011 [En ligne], [consulté le 7 septembre 2021]. Disponible sur: <https://piximus.net/others/lego-museum-in-prague>
14. Burchard M , Cappia R. Historique des jeux et jouets, 23 Dec 2010 [En ligne]. [consulté le 31 Août 2021]. Disponible sur: <https://silapedagogie.weebly.com/historique-des-jeux-ou-jouets.html>
15. Musée de la poupée, paris - Photo de Musée de la Poupée, Paris - Tripadvisor ,2021 [En ligne]. [consulté le 7 septembre 2021]. Disponible sur: https://www.tripadvisor.fr/LocationPhotoDirectLink-g187147-d189293-i163881931-Musee_de_la_Poupee-Paris_Ile_de_France.html
16. Dictionnaire de français Larousse , Définitions : jouet ,[En ligne]. [consulté le 10 Juin 2021]. Disponible sur : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/jouet/45013#definition>
17. Journal officielle de la république algerienne N°85. Décret exécutif n°97-494 du 21 Chaàbane 1418 correspondant au 21 Décembre 1997 relatif à la prévention des risques résultant de l'usage des jouets , p8.
18. Document d'orientation n° 11 sur l'application de la directive relative à la sécurité des jouets (88/378/cee) jouets ,commission européenne dernière version , 6 Avr 2009.
19. AGE DETERMINATION GUIDELINES: Relating Consumer Product Characteristics to the Skills, Play Behaviors, and Interests of Children , CPSC (United States Consumer Product Safety Commision) , Jan 2020 .
20. Guide destiné à l'industrie sur les exigences de Santé Canada en matière de sécurité des jouets pour enfants et des produits connexes - Canada.ca [En ligne]. [consulté le 10 Juin 2021]. Disponible sur: <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/rapports-publications/industrie-professionnels/guide-destine-industrie-exigences-matiere-securite-jouets-enfants-produits-connexes-sommaire/document-reference.html>
21. 5 raisons de ne pas offrir de jouets en plastique aux enfants [En ligne]. [consulté le 10 Juin 2021]. Disponible sur: <https://www.consoglobe.com/jouets-plastique-enfants-cg>

22. ances (agence nationale de sécurité sanitaire ,alimentation,environnement,travail) . Avis de l'Anses Rapport d'expertise collective .Édition scientifique Jouets et équipements, Août 2016 [Internet]. [consulté le 11 juin 2021]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/CONSO2013SA0176Ra.pdf>
23. Official journal American Academy Of Pediatrics :The Importance of Play in Promoting Healthy Child Development.pdf.
24. Le_role_du_jeu_dans_le_developpement_de_l_enfant ,CD Rom : « Jouer à l'école maternelle.... c'est apprendre » Coll. Les outils de l'AGEEM)_ageem2.pdf.
25. 5 raisons de ne pas offrir de jouets en plastique aux enfants (Blog),2019 [En ligne]. [consulté le 10 juin 2021]. Disponible sur: <https://www.consoglobe.com/jouets-plastique-enfants-cg>
26. journal officiel de l'union européenne. DIRECTIVE 2009/48/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL,18 Juin 2009 relative à la sécurité des jouets.
27. Blog :Les jouets des tous petits [En ligne]. [consulté le 10 juin 2021]. Disponible sur: <http://jouet.org/jouetstoutpetits.html>
28. Melissa N. Richards, Diane L , Joan T.D. Suwalsky M.A et all . AGE DETERMINATION GUIDELINES: Relating Consumer Product Characteristics to the Skills, Play Behaviors, and Interests of Children , Jan 2020.
29. ISO 2016. ISO/TR 8124-8:2016(fr), Sécurité des jouets — Partie 8: Lignes directrices pour la détermination de l'âge [En ligne]. [consulté le 2 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.iso.org/obp/ui/?fbclid=IwAR3ES-aWhVxILZVveNCZS8V7soq3L88ok786KHIPxyCT-xjx2DxuwThmndI#iso:std:iso:tr:8124:-8:ed-2:v1:fr>
30. Mariam Sylla Service de Pédiatrie, CHU Gabriel Touré, Bamako, Mali, 27 Avr 2009. Développement et Santé | Les intoxications chez l'enfant [Internet]. [consulté le 7 septembre 2021]. Disponible sur: <https://devsante.org/articles/les-intoxications-chez-l-enfant>
31. Juberg DR, Alfano K, Coughlin RJ, Thompson K. An Observational Study of Object Mouthing Behavior by Young Children. Pediatrics,1 janv 2001.
32. Hauschild M, Jeswiet J, Alting L. From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives. CIRP Annals. 1 Jan 2005.
33. RIVM Annual report 2008 | RIVM [En ligne]. [consulté le 10 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.rivm.nl/documenten/rivm-annual-report-2007>

34. The effects of El Niño and exotic plant invasion on the two-way interactions between small mammals and plants in a Southern California coastal sage scrub food web - ProQuest [En ligne]. [consulté le 11 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.proquest.com/openview/85fd6f43edb373a01fc5f8a9155e6d87/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750>
35. Article du journal: Le parisien. Des produits toxiques dans les vieux Lego. 14 Fev 2018 [En ligne]. [consulté le 7 Sept 2021]. Disponible sur: <https://www.leparisien.fr/archives/des-produits-toxiques-dans-les-vieux-lego-14-02-2018-7557906.php>
36. Benoit Raynal. Les intoxications du jeune enfant aux produits domestiques : rôle du pharmacien d'officine, Sciences pharmaceutiques. 2017.
37. Alexandra Bresson. Les jouets en plastique d'occasion présentent un risque pour la santé des enfants publié le 3 Fév 2018 dans: Aliments de l'enfance 0-3 ans. [En ligne]. [consulté 7 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.parents.fr/actualites/enfant/les-jouets-en-plastique-doccasion-pourraient-presenter-un-risque-pour-la-sante-des-enfants-305280>
38. DOILLON D. Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-Université en Biologie Forestière : Déterminants moléculaires de la tolérance au zinc des microorganismes eucaryotes ; Soutenue publiquement, le 10 Dec 2010.
39. Christophe M. Les métaux lourds ou éléments traces métalliques ,06 Jan 2020. [En ligne]. [consulté le14 septembre 2021]. Disponible sur: https://www.notre-planete.info/environnement/metaux_lourds.php#liste
40. Les métaux lourds – la synthèse de l'ASEF – Association Santé Environnement France, 6 Juin 2017 [En ligne]. [consulté le 15 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.asef-asso.fr/production/les-metaux-lourds-la-synthese-de-lasef/>
41. Bruins, M.R., Kapil, S., Oehme . Microbial resistance to metals in the environment. Ecotoxicology and Environmental Safety. Ecotoxicology and environmental safety , Mars 2000 [En ligne]. [consulté le14 juillet 2021]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10702338/>
42. Leygonie R « Les métaux lourds dans l'air : sources, émissions, mesure, effets », revue scientifique:Pollution atmosphérique, N°139, p. 63-74, 22 Avr 2014 [En ligne]. [consulté le 25 juin 2021]. Disponible sur: <http://lodel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=4254&format=print>

43. Evert nieboer , Richardson D,. Departments of Biology and Chemistry, Laurentian University, Sudbury, Ontario, P3E 2C6, Canada . The replacement of the nondescript term « heavy metals » by a biologically and chemically significant classification of metal ions.
44. Al-Jumaily HAA. An Evaluation Performance of Potential Pollution of Arsenic, Chromium and Cadmium in the Road Side Soil of Kirkuk City, Northern Iraq. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 1 Sept 2016.
45. Nareshkumar A, Veeranagamallaiah G, Pandurangaiah M, Kiranmai K, Amaranathareddy V, Lokesh U, et all. Pb-Stress Induced Oxidative Stress Caused Alterations in Antioxidant Efficacy in Two Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Cultivars. *Agricultural Sciences*. 12 Oct 2015.
46. Antoniadis V, Golia EE, Liu Y-T, Wang S-L, Shaheen SM, Rinklebe J. Soil and maize contamination by trace elements and associated health risk assessment in the industrial area of Volos, Greece. *Environment International*. 1 Mars 2019.
47. Institut national des sciences appliquées de Rouen, Département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur. Projet d'expérimentation sur la recherche des métaux lourds par spectroscopie atomique, remise du rapport le 17 Juin 2011.
48. Baillargeon DM, Dr Patry L. L'arsenic, roi des poisons et poison des rois...Maladies du travail en bref , Déc 2017 [En ligne]. [cité le 30 Juin 2021]. Disponible sur: <https://uttam.quebec/chronique-MT/arsenic.php>
49. Bisson M, Diderich R, Houeix N , Hulot C , Lacroix G , Lefevre JP ,cadmium et ses dérivés,Version N°3.2 , Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques., p :1-82 ,Sept 2011 .
50. Plomb : Propriétés physiques et études toxicologiques. *Revue médicale: Santé Science* [En ligne]. [consulté le 15 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.santescience.fr/plomb/>
51. Cadmium et ses dérivés - Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimique, le 29 Sept 2011.
52. Média : Mercure : propriétés physiques - *Encyclopædia Universalis* ,2021 [En ligne]. [consulté le 15 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.universalis.fr/media/V140972/>
53. Dreulle P, Vignes J-L, Wojciekowski B, « ZINC », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], [consulté le 15 Juillet 2021]. Disponible sur : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/zinc/>

54. Les métaux lourds – la synthèse de l’ASEF – Association Santé Environnement France [En ligne]. [cité 15 juill 2021]. Disponible sur: <https://www.asef-asso.fr/production/les-metaux-lourds-la-synthese-de-lasef/>
55. Bensakhria A , Toxicité du Plomb , Analytical Toxicology , 1 Oct, 2016 [En ligne]. [consulté le 30 juin 2021]. Disponible sur: <https://www.analyticaltoxicology.com/toxicite-plomb/>
56. Bensakhria A , Toxicité du Cadmium , Analytical Toxicology , 26 Mars 2018 [En ligne]. [consulté le 30 Juin 2021]. Disponible sur: <https://www.analyticaltoxicology.com/toxicite-cadmium/>
57. Abernathy CO, Ohanian EV , Non-carcinogenic effects of inorganic arsenic .Environ Geochem Health. [En ligne]. [consulté le 15 juillet 2021]. Disponible sur: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01495360/document>
58. Les métaux lourds – la synthèse de l’ASEF – Association Santé Environnement France 6 juin 2017 [en ligne]. [consulté le 15 Juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.asef-asso.fr/production/les-metaux-lourds-la-synthese-de-lasef/>
59. Testud F , Pathologie toxique professionnelle et environnementale. Éd. Eska. Pathologie toxique professionnelle et env [en ligne]. [consulté le 30 Juin 2021]. Disponible sur: <https://www.livres-medicaux.com/medecine-du-travail/604-pathologie-toxique-professionnelle-et-environnementale.html>
60. Zinc : substance active à effet thérapeutique , VIDAL le 16 Jan 2013 [En ligne]. [consulté le 17 septembre 2021]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/medicaments/substances/zinc-3729.html>
61. Définition | Cuivre | Futura Sciences [En ligne]. [consulté le 17 septembre 2021]. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-cuivre-14798/>
62. Cardenas J. Cuivre Doctissimo , le 13 Avr 2017 [En ligne]. Doctissimo. [consulté 17 septembre 2021]. Disponible sur: https://www.doctissimo.fr/html/nutrition/vitamines_mineraux/cuivre.htm
63. Topsante.com. Intoxication aux métaux lourds : quels risques pour la san... - Top Santé [En ligne]. [consulté le 30 Juin 2021]. Disponible sur: <https://www.topsante.com/medecine/environnement-et-sante/pollution/metaux-lourds-607390>
64. Masson Elsevier E. Toxicité du plomb et de ses dérivés; R. Garnier Consultation de pathologie professionnelle et environnementale, hôpital Fernand-Widal, 200, rue du Faubourg-Saint-Denis, 75475 Paris cedex 10, France le 01 Jan 2005 [En

- ligne]. [consulté le 30 Juin 2021]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/30295/toxicite-du-plomb-et-de-ses-derives>
65. Guney M , Gerald J, Department of Civil, Geological and Mining Engineering, École Polytechnique de Montreal, Canada. Heavy Metals in Toys and Low-Cost Jewelry: Critical Review of U.S. and Canadian Legislations and Recommendations for Testing. Environ Sci Technol ,17 Avr 2012.
 66. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé [En ligne]. [consulté le 29 juin 2021]. Disponible sur: https://www.senat.fr/rap/100-261/100-261_mono.html#toc999
 67. Sen A, Heredia N, Senut M-C, Land S, Hollocher K, Lu X. Multigenerational epigenetic inheritance in humans: DNA methylation changes associated with maternal exposure to lead can be transmitted to the grandchildren. Le 29 septembre 2015 [consulté le 15 juillet 2021];5. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26417717/>
 68. Département Cancer Environnement. Classification du CIRC | Cancer et environnement , 16 Nov. 2020 [En ligne]. [consulté 17 septembre 2021]. Disponible sur: <https://www.cancer-environnement.fr/478-Classification-des-substances-cancerogenes.ce.aspx>
 69. Mukesh K. Raikwar, Kumar P, Singh M and Singh A. Toxic effect of heavy metals in livestock health, ndian Veterinary Research Institute Izatnagar p: 243- 122 .
 70. Les métaux lourds – la synthèse de l'ASEF – Association Santé Environnement France [En ligne]. [consulté le 15 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.asef-asso.fr/production/les-metaux-lourds-la-synthese-de-lasef/>
 71. M. Bailly. Dangers et risques de cancer du cadmium | Cancer et environnement 11 Déc 2018 [En ligne]. [consulté le 7 septembre 2021]. Disponible sur: <https://www.cancer-environnement.fr/411-Cadmium-et-ses-composes.ce.aspx>
 72. Salomon A, Detave M, Fievet A, Ammirati C, Dupont H , Arsenic self-poisoning: a case report 2015. [En ligne]. [consulté le 15 juill 2021]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22943968/>
 73. Goullé J-P, Guerbet M , Recensement des niveaux d'intoxications mortelles par l'arsenic, le chrome, le mercure, le plomb, le thallium. Toxicologie Analytique et clinique .Laboratoire de toxicologie, faculté de médecine et de pharmacie de Rouen [En ligne]. [consulté le 15 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/1037090/recensement-des-niveaux-d-intoxications-mortelles->
 74. Martin S , Wendy Griswold PG, Center for Hazardous Substance Research. Human Health Effects of Heavy Metals , 15 Mars 2009.

75. Goullé J-P. L'arsenic, un poison d'actualité , Revue: Sciences pharmaceutiques. Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine. 10 Oct 2016 .
76. Plantamura J, Bousquet A, Valérob E, Vestb P, C. Renardb. Les arsines vomitives : toxiques chimiques toujours d'actualité . 12 Avr 2011.
77. Ducros V. Le chrome. In : Chappuis Ph. - les oligoéléments en médecine et en biologie. p:499-522. [En ligne]. [consulté le 15 juillet 2021]. Disponible sur: https://ulyse.univ-lorraine.fr/discovery/fulldisplay/alma991000661619705596/33UDL_INST:UDL
78. KECK G et VERNUS E. Déchets et risques pour la santé p :10-17.
79. KECK G et VERNUS E. Déchets et risques pour la santé p11
80. Fiche toxicologique synthétique n° 256 - Edition le Juillet 2017. Disponible sur: <http://www.inrs.fr/fichetox>.
81. Tremblay R et Jacques-Gagnon O, Ingestion de sels de cuivre , Toxicologie clinique [En ligne]. [consulté le 17 septembre 2021]. Disponible sur: <https://www.inspq.qc.ca/toxicologie-clinique/ingestion-de-sels-de-cuivre>
82. Toxicité du cuivre: signes, causes, traitement et du santé ,2021 [En ligne]. [consulté le 17 septembre 2021]. Disponible sur: <https://fr.drderamus.com/copper-toxicity-7757>
83. Revue: Psychomédia , Jouets : conseils pour mieux éviter les substances toxiques (plomb, cadmium, mercure...) 13 Nov 2014 [En ligne]. [consulté le 25 juin 2021]. Disponible sur: <http://www.psychomedia.qc.ca/sante/2014-11-13/substances-toxiques-dans-les-jouets>
84. KECK G et VERNUS E. Déchets et risques pour la santé p : 4.
85. Desplanques AC. Produit toxique dans des jouets, Le Journal de Montréal , 21 Juin 2015 [En ligne]. [consulté le 7 septembre 2021]. Disponible sur: <https://www.journaldemontreal.com/2015/06/20/produit-toxique-dans-des-jouets>
86. Levy L , Intoxication aux métaux lourds : une pollution invisible ?, Revue Top Santé, 28 Oct 2015 . [En ligne]. [consulté le 15 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.topsante.com/medecine/environnement-et-sante/pollution/metaux-lourds-607390>
87. Revue Chou du Volant , Quel danger avec les Métaux Lourds ?, 21 Avr 2019 [En ligne]. [consulté le 15 juillet 2021]. Disponible sur: <https://amelioresetasante.com/de-quels-materiaux-doivent-etre-faits-les-jouets-pour-bebe/>
88. Le journal officiel de la république algérienne N°85, décret exclusif n°97-494 du 21 Chaàbane 1418 correspondant au 21 Décembre 1997. Réglementation | Ministère du

- Commerce Algérie [En ligne]. [consulté le 10 Juin 2021]. Disponible sur:
<https://www.commerce.gov.dz/reglementation/decret-executif-n-deg-97-494>
89. Budapest, Hongrie, 29 Sept 2006. Les jouets et la sécurité chimique, cinquième session du forum intergouvernemental sur la sécurité chimique.
 90. Journal officielle de la république algerienne N°18 le 29 mars 1998. Annexe 3, liste des substances dont l'utilisation est réglementée pour la fabrication des produits de consommation présentant un caractère de toxicité ou un risque particulier (Doses limites acceptables de certaines substances chimiques qu'on peut retrouvées dans les jouets).
 91. Mélot C. Réglementation applicable aux jouets susceptibles de contenir des substances chimiques dangereuses - Sénat . Question écrite n° 09930 publiée dans le JO Sénat, 26 Dec 2013 - p: 3709 [En ligne]. [consulté le 1 juillet 2021]. Disponible sur:
<https://www.senat.fr/questions/base/2013/qSEQ131209930.html>
 92. Afnor Normalisation . Sécurité : la norme NF EN 71-3 spécifie les exigences en matière de migration de substances chimiques dans les jouets , 18 Nov 2013 [En ligne]. [consulté le 2 juillet 2021]. Disponible sur: <https://normalisation.afnor.org/biens-de-consommation-sports-et-loisirs/securite-la-norme-nf-en-71-3-specifie-les-exigences-en-matiere-de-migration-de-substances-chimiques-dans-les-jouets/>
 93. Norme Européenne EN71 pour l' import de jouets fabriqués en Chine , 10 Juin 2018 [En ligne]. [consulté 1 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.wiz-import.fr/blog/norme-europeenne-en71-pour-l-import-de-jouets-fabriques-en-chine/4>
 94. Guénette M , Rapport d'Option consommateurs , Dans l'atelier du Père Noël : La fabrication des jouets et l'éthique sociale, juin 2006 [En ligne]. [consulté le 2 juillet 2021]. Disponible sur: <http://www.ic.gc.ca/app/oca/crd/dcmnt.do?id=1316&lang=fra>
 95. Intertek France. Norme Chinoise GB pour les Jouets [En ligne]. [consulté 2 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.intertek-france.com/jouets-jeux/norme-chinoise-gb/>
 96. Intertek France. Norme Chinoise GB [En ligne]. [consulté le 2 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.intertek-france.com/jouets-jeux/gb-standard/>
 97. Laboratuvar. ISO 8124 Sécurité des jouets [En ligne]. [consulté le 2 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.laboratuvar.com/fr/>
 98. ISO 8124-3:2010 Sécurité des jouets — Partie 3: Migration de certains éléments le 04/2010. Normes ISO [En ligne]. ISO. [consulté le 2 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.iso.org/cms/render/live/fr/sites/isoorg/contents/data/standard/04/34/43471.html>
 99. Mad Saad AN Santa Maria M , Zhang J , Boursier M , Chen J Rabet P. Recherche de métaux lourds par spectroscopie atomique, 17 Juin 2011. P14.

100. Guney M , Zagury G. Department of Civil, Geological and Mining Engineering École Polytechnique de Montréal, Montréal, Québec, H3C 3A7 Canada. Heavy Metals in Toys and Low-Cost Jewelry: Critical Review of U.S.and Canadian Legislations and Recommendations for Testing, 23 Mars 2012 .
101. Gouvernement de canada. Guide destiné à l'industrie sur les exigences de Santé Canada en matière de sécurité des jouets pour enfants et des produits connexes 2020 [En ligne]. [consulté le 2 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/rapports-publications/industrie-professionnels/guide-destine-industrie-exigences-matiere-securite-jouets-enfants-produits-connexes-sommaire/document-reference.html>
102. Shukuru Yusufu Njati , Mihayo Musabila Maguta. Lead-based paints and children's PVC toys are potential sources of domestic lead poisoning - A review - PubMed [En ligne]. [consulté le 3 juillet 2021]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31146315/>
103. PreventActio. C'était mieux avant... pour les jouets aussi? Prevent.be . 21 Oct16. [En ligne]. [consulté 29 sept 2021]. Disponible sur: https://www.prevent.be/fr/banque_de_connaissance/c%E2%80%99C3%A9tait-mieux-avant%E2%80%A6-pour-les-jouets-aussi
104. À quel point les métaux lourds sont-ils nocifs pour votre santé?, Canal Vie. 27 Août 2012 [En ligne]. [consulté le 3 juillet 2021]. Disponible sur: <https://www.noovomoi.ca/vivre/sante/article.metaux-lourds-sante.1.973082.html>
105. Résultat de la douane de France , 2017 [En ligne]. [consulté le 3 juillet 2021]. Disponible sur : <https://www.douane.gouv.fr/sites/default/files/documentation/pdf/resultats-2017.pdf>
106. Ragot M , 2 Mars 2021. Plus de 100 substances préoccupantes détectées dans des jouets en plastique pour enfants, Maxisciences ,2021 [En ligne]. [consulté le 3 juill 2021]. Disponible sur: https://www.maxisciences.com/sante/enfant-plus-de-100-substances-preoccupantes-detectees-dans-des-jouets-en-plastique_art45376.html
107. Julie P , Le SLIME : une pâte à modeler ludique mais aussi... toxique 28 Mai 2018 [En ligne]. [consulté le 19 septembre 2021]. Disponible sur: <https://www.sante-sur-le-net.com/slime-ludique-mais-toxique/>
108. Journal officiel des Communautés européennes ,DIRECTIVE DU CONSEIL,(88/378/CEE).
109. Analyse des traces de métaux : préparation des échantillons et étalons [En ligne]. [consulté le 23 septembre 2021]. Disponible sur:

https://www.mt.com/ch/fr/home/applications/Laboratory_weighing/trace_metal_analyses.html

110. Labat L . La préparation des matrices biologiques pour l'analyse des métaux. Société Française de Toxicologie Analytique 2010.
111. Bailal A . On peut regrouper les méthodes électrochimiques en 3 types distincts : Les techniques d'analyse électrochimiques (sans balayage de potentiel) : la potentiométrie. - ppt télécharger. 2021 [En ligne]. [consulté le 23 septembre 2021]. Disponible sur: <https://slideplayer.fr/slide/13758799/>
112. ADMINISTRATEUR. La spectrophotométrie d'absorption atomique . 06 Juin 2019 [En ligne]. Chimie Analytique. 2019 [consulté le 23 sept 2021]. Disponible sur: <https://chimieanalytique.com/spectrophotometrie-absorption-atomique/>
113. Darrouzes J. Spectromètre de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) à cellule de collision/réaction (CC/R) pour l'analyse clinique. Performances et applications à l'analyse élémentaire et à la spéciation. Annale de Toxicologie Analytique . volume 9 page 103-111.
114. Schéma de principe de l'ICP-MS. ResearchGate , Chimie Analytique [En ligne]. [consulté le 23 septembre 2021]. Disponible sur: <https://www.researchgate.net/figure/Figure-A1-Schema-de-principe-de-ICP-MS-Le-principe-de-cette-technique>
115. Yves C, Henri F. La polarographie a impulsions, methode analytique en radioprotection. page22.
116. Rosset R, « POLAROGRAPHIE », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 23 septembre 2021. URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/polarographie/> [Internet]. [cité 23 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.universalis.fr/encyclopedie/polarographie/>
117. Zutshi K. Introduction to Polarography and Allied Techniques. New Age International; 2006.
118. Charles C. Jouets : attention aux substances toxiques. les pros de la petite enfance [En ligne]. le 22 Fev 2016 [consulté 1 oct 2021]. Disponible sur: <https://lesprodelapetiteenfance.fr/equipements-produits/jeux-et-jouets/securite-des-jouets-tout-ce-que-vous-devez-savoir/jouets-attention-aux-substances-toxiques>
119. Karaś K, Frankowski M. Analysis of Hazardous Elements in Children Toys: Multi-Elemental Determination by Chromatography and Spectrometry Methods, 19 Nov 2018.
120. Tissot C , 01 Février, 2018. Les vieux jouets seraient dangereux pour la santé des enfants | The Weather Channel [En ligne]. The Weather Channel. [consulté le 1 oct

- 2021]. Disponible sur: <https://weather.com/fr-FR/france/sante/news/2018-02-01-vieux-jouets-dangereux-sante-enfants>
121. Santha JC . L'achat de jouets de 1 à 3 ans . revue : naitre et grandir., Oct 2017 [En ligne]. [cité 5 oct 2021]. Disponible sur: https://naitreetgrandir.com/fr/etape/1_3_ans/jeux/fiche.aspx?doc=bg-naitre-grandir-critere-achat-jouet
 122. Avantages et inconvénients des jouets en plastic , 2019 [En ligne]. [consulté le 5 octobre 2021]. Disponible sur: <https://www.wambst.com/avantages-et-inconvenients-des-jouets-en-plastic/>
 123. Silly Y. Choisir le bon jouet : les jouets pour Bébé, âge par âge, 22 avr. 2021 [En ligne]. [consulté le 5 octobre 2021]. Disponible sur: <https://www.parents.fr/bebe/eveil-et-developpement/jeux-d-eveil/les-jouets-pour-bebe-age-par-age-78830>
 124. Korfali S , Sabra R ,Jurdi M, et Taleb R. Assessment of Toxic Metals and Phthalates in Children's Toys and Clays. 19 Juin 2013. [En ligne]. Disponible sur: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1007/s00244-013-9925-1>
 125. Cui, X., Li, S., Zhang, S., Fan, Y., Ma, L. Toxic metals in children's toys and jewelry: coupling bioaccessibility with risk assessment , 2015 [En ligne]. Disponible sur: <https://sci-hub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749115000718?via%3Dihub>
 126. Mateus-García, A., Ramos-Bonilla, J. Presence of lead in paint of toys sold in stores of the formal market of Bogota, Colombia . 2014 [En ligne]. Disponible sur: <https://sci-hub.se/https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935113001990>
 127. Camille Gaubert. Intoxication des enfants : alerte au Slime et pâte à prout. 14 Dec 2018 [En ligne]. [cité 6 oct 2021]. Disponible sur: https://www.sciencesetavenir.fr/sante/allergies/intoxication-des-enfants-alerte-au-slime-et-pate-a-prout_123684
 128. Agathe Thine. Slime : attention danger ! le 04 Oct 2018 [En ligne]. Doctissimo. [consulté le 6 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.doctissimo.fr/grossesse/news/slime-danger>
 129. Akimzhanova Z , Guney M , Kismelyeva S , Zhakiyeva A et Yagofarova A. Contamination by eleven harmful elements in children's jewelry and toys from Central Asian market , 2020 [En ligne]. Disponible sur: <https://sci-hub.se/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32266620/>
 130. Guney M , Kismelyeva S , Akimzhanova Z, Beisova k. Potentially toxic elements in toys and children's jewelry: A critical review of recent advances in legislation and in scientific research , 2015 [En ligne]. Disponible sur: <file:///C:/Users/info/Downloads/rebelo2015.pdf>