

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri
FACULTE DE MEDECINE
DE TIZI OUZOU



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة مولود معمور
كلية الطب
تيزي وزو

ⵜⴰⵎⴰⵎⵓⵔⵉⵜ ⵏ ⵜⴰⵎⴰⵎⵓⵔⵉⵜ ⵏ ⵜⴰⵎⴰⵎⵓⵔⵉⵜ

Département de Pharmacie

N° D'ORDRE :

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme de Docteur en Pharmacie

Présenté et soutenu publiquement

Le 22 JUILLET 2021

Thème

*Erosion dentaire et détermination des éléments traces
métalliques dans les dents par SAA flamme*

Promoteur : Dr. MATMAR Anis

Réalisé par : TEZKRATT Abdelaziz

MOUKAH Lisa

MEDJKANE Lydia

MEZIANI Nesrine

Membres de jury :

Pr. MEKACHER L R. MCA Faculté de médecine UMMTO Président de jury.

Dr. YAMANI A. Assistant CHU de Tizi-ouzou Examineur.

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

*En premier lieu, nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur, **Dr A. MATMAR** assistant en Toxicologie au CHU Nedir Mohamed Tizi-Ouzou de nous avoir proposé ce sujet qui nous a permis d'approfondir nos connaissances ; merci pour tous vos judicieux conseils, votre disponibilité, votre aide, votre soutien et surtout votre patience, veuillez trouver ici un témoignage de notre gratitude et de notre profond respect.*

Un grand merci aux membres du jury d'avoir accepté d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

*Nous tenons à exprimer notre reconnaissance au **Pr L.R. MEKACHER** maître de conférences hospitalo-universitaire et chef de service de Toxicologie au CHU de Tizi-Ouzou et président de la commission nationale anti dopage, et le remercier très sincèrement pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider le jury.*

*Nos grands remerciements vont au **Dr A. YAMANI** assistant en Toxicologie au CHU de Tizi-Ouzou, Votre acceptation exempte d'hésitations pour faire partie de notre jury est pour nous un honneur.*

Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes chers parents, Les mots ne seront pas suffisants pour décrire l'amour et le respect que je vous porte, merci d'être derrière moi à m'encourager et me montrer le bon chemin, d'être là à chacun de mes faux pas et surtout merci pour vos sacrifices, pour l'éducation que vous m'avez léguée et pour les valeurs que vous m'avez inculquées. Que dieu vous garde pour nous.

*A mon frère **Rayane** et mes chères sœurs **Basma** et **Feriel** qui n'ont cessé d'être là pour moi, pour leur soutien et leur générosité.*

A mes chères copines, je vous aime.

A toute ma famille et mes amis, à tous ceux qui me sont chers.

Enfin mon plus profond respect va tout droit à mes aimables professeurs dans tous les cycles de ma scolarité qui mon éclairé la voie du savoir.

Lisa

Dédicaces

Je dédie ce travail,

A mes chers parents qui m'ont encouragé et qui ont toujours été là pour moi.

*A ma famille, mon frère **Ghani** et mes chères sœurs **Amel** et **Sara** qui sont pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*

*Je dédie ce travail également à une personne chère à mes yeux, ma chère **Lilia** merci d'être là.*

Abdelaziz

Dédicaces

Du profond de mon cœur, je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers.

A ma chère mère,

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien-être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Puisse dieu, le très haut, vous accorde santé, bonheur et longue vie.

A la mémoire de mon père,

Ce travail est dédié à mon père, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études, et qui m'a légué une bonne éducation, et valeurs lumières de vie. J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance.

A mes chères sœurs Fethia, Dyhia et Kahina ; à mes chers frères Nadir et Anis et à mes beaux frères Djamel et Hacen.

Qui n'ont pas cessés de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études.

A toutes ma famille et mes proches,

Pour leurs encouragements permanents, et leurs soutiens.

Lydia

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

A mes parents,

Les plus chères à mon cœur, ma raison de vivre, pour tous vos sacrifices, votre tendresse, votre soutien et vos prières tout au long de mes études, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont vous cessez de me combler, Je tiens également à vous remercier pour la confiance que vous avez toujours cru en moi et pour les valeurs que vous m'avez imprégnées. Que Dieu vous préserve et vous accorde santé, longue vie et bonheur.

*A mes chères sœurs **Lamia et Amel**, mes chers frères **Rayane et Hamza**, et mon cher beau frère **Smail**, merci pour votre encouragement qui m'a donné la force pour continuer toujours vers l'avant, que Dieu vous préserve pour moi.*

*A mes plus chères grands-parents **Kaci et Fatma**, à mes oncles **Mohammed, Sid Ali et Samir**, ainsi que mes très chères tantes **Fatiha et Nora**, qui ont été toujours là pour moi, merci pour vos sacrifices, votre soutien et encouragement.*

*A la mémoire de mon cher oncle **Saïd**, mon deuxième père, le symbole de la bonneté que je pleure à ce jour... que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.*

Nesrine

Sommaire

LISTE DES ABREVIATIONS	i
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX	vii
Introduction	Error! Bookmark not defined. 1

Revue bibliographique

Chapitre I :Généralités sur les dents et l'érosion dentaire

1. Généralités sur la cavité buccale	3
1.1. Rappel anatomique de la dent.....	4
1.1.1. Odonte	4
a) Email	4
b) Dentine	5
c) Pulpe.....	6
d) Cément	6
1.2. Salive et glandes salivaires	6
1.2.1. Débit salivaire	6
1.2.2. Composition de la salive	6
a) Composants organiques	7
b) Composants inorganiques	7
1.3. Composition chimique de la dent	7
1.4. Généralités sur l'hydroxyapatite.....	8
2. Erosion Dentaire.....	9
2.1. Définition de l'érosion dentaire	9
2.2. Mécanisme chimique de l'érosion	10
2.3 Facteurs influençant l'érosion dentaire.....	11
2.3.1. Eléments extrinsèques	11
a) Facteurs comportementaux	12
b) Environnements du patient	14

2.3.2. Eléments intrinsèques.....	15
a) Etat du patient.....	15
b) Facteur salivaire.....	16

Chapitre II :Les métaux dans les dents

1. Définition des éléments traces.....	17
2. Définition des oligoéléments.....	17
3. Eléments traces dans les dents.....	17
4. Principaux éléments traces présents dans les dents.....	18
4.1. Strontium (Sr).....	18
4.2. Manganèse (Mn).....	18
4.3. Cuivre (Cu).....	19
4.4. Plomb (Pb).....	19
4.5. Cadmium (Cd).....	19
4.6. Sélénium (Se)	20
4.7. Zinc (Zn).....	20

Chapitre III :Monographies des éléments étudiés

1. Cuivre	22
1.1. Généralités	22
1.2. Propriétés physicochimiques	22
1.2.1. Propriétés physiques.....	22
1.2.2. Propriétés chimiques	23
1.3. Principales sources	23
1.3.1. Alimentaire.....	23
1.3.2. Autres	24
1.4. Rôle physiologique	24
1.5. Toxicocinétique	24
1.5.1. Absorption.....	24

a) Digestive.....	24
b) Cutanée.....	25
1.5.2. Distribution.....	25
1.5.3. Excrétion	25
1.6. Effets du cuivre sur les dents.....	26
1.7. Toxicité.....	26
1.7.1. Toxicité aiguë.....	26
1.7.2. Toxicité chronique.....	27
1.8. Valeurs physiologiques.....	27
2. Plomb	28
2.1. Généralités.....	28
2.2. Propriétés physiques et chimiques.....	28
2.3. Principales sources	29
2.3.1. Sources naturelles.....	29
2.3.2. Expositions professionnelles	29
2.3.3. Le plomb dans l'air, l'eau et la poussière.....	29
2.4. Toxicocinétique	30
2.4.1. Absorption.....	30
a) Digestive.....	30
b) Cutanée et respiratoire	30
2.4.2. Distribution.....	31
2.4.3. Elimination	31
2.5. Effets du plomb sur les dents.....	31
2.6. Toxicité.....	32
2.6.1. Toxicité aiguë.....	32
2.6.2. Toxicité chronique (saturnisme).....	33
2.7. Valeurs toxiques du plomb	33

3. Zinc.....	34
3.1. Généralités	34
3.2. Propriétés physiques et chimiques du Zinc	34
3.2.1. Propriétés physiques.....	34
3.2.2. Propriétés chimiques	35
3.3. Principales sources	35
3.4. Rôle physiologique	36
3.5. Toxicocinétique	37
3.5.1. Absorption	37
a) Digestive.....	37
b) Pulmonaire	37
3.5.2. Distribution.....	37
3.5.3. Métabolisme	38
3.5.4. Elimination	38
3.6. Effet du zinc sur les dents.....	38
3.7. Toxicité.....	40
3.7.1. Toxicité aigue.....	40
3.7.2. Toxicité chronique.....	40
3.8. Valeurs physiologiques.....	40

Chapitre IV :Techniques de dosage des métaux

1. Spectrométrie d'absorption atomique	42
1.1. Spectrométrie d'absorption atomique à flamme (SAAF).....	42
1.2. Spectrométrie d'absorption atomique par four graphite (GF-AAS)	43
2. Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS)	43

Partie pratique

Chapitre I : Matériel et méthodes

1.	Présentation de l'étude	45
2	Matériels.....	45
2.1.	Recueil d'informations (Questionnaire)	45
2.2.	Matériel de laboratoire.....	46
3.	Réactifs.....	46
4.	Appareillage	47
5.	Méthodes	48
5.1.	Etape pré-analytique	48
5.1.1.	Recueil des échantillons et informations.....	48
5.1.2.	Traitement des échantillons.....	48
5.2.	Phase analytique	50
5.2.1.	Test d'érosion dentaire	50
5.2.2.	Détermination des éléments traces métalliques par SAAF	50
a)	Principe de fonctionnement de la SAA.....	51
b)	Conditions opératoires	52
c)	Mise au point des conditions opératoires	53
6.	Validation analytique des techniques d'analyse.....	53
6.1.	Définition et Objectif de la validation analytique.....	53
6.2.	Validation analytique par profil d'exactitude	54
6.3.	Critères de validation analytique	55

Chapitre II : Résultats

1.	Répartition de la population étudiée.....	58
1.1.	Répartition de la population étudiée selon le sexe.....	58
1.2.	Répartition de la population étudiée selon les tranches d'âge	58
1.3.	Répartition selon la consommation du tabac	59

1.4.	Répartition selon le type d'habitation	59
1.5.	Répartition selon le type d'eau consommée	59
2.	Résultats de l'étude de l'érosion dentaire (immersion des dents dans les boissons)	60
2.1.	Poids des dents immergées dans le café (en gramme).....	62
2.2.	Poids des dents immergées dans la Coca Cola (en gramme).....	62
2.3.	Poids des dents immergées dans la boisson énergétique TNT (en gramme).....	63
2.4.	Calcul du pourcentage de perte de masse café	63
2.5.	Calcul du pourcentage de perte de masse Coca-Cola.....	64
2.6.	Calcul du pourcentage de perte de masse TNT	64
3.	Résultats du dosage des métaux	65
3.1.	Validation des techniques de dosages.....	65
3.1.1.	Validation de la technique de dosage du zinc	65
a)	Fonction de réponse (courbe d'étalonnage) du zinc.....	65
b)	Linéarité	68
c)	Justesse	69
d)	Fidélité.....	71
e)	Etablissement du profil d'exactitude du Zinc	73
f)	Limite de détection (LD) et de quantification (LQ)	73
g)	Résumé de la validation pour le Zinc.....	75
3.1.2.	Validation de la technique de dosage du cuivre	76
a)	Fonction de réponse (courbe d'étalonnage) du cuivre	76
b)	Linéarité	79
c)	Justesse	80
d)	Fidélité.....	81
e)	Etablissement du profil d'exactitude du cuivre.....	83
f)	Limite de détection (LD) et de quantification (LQ)	84
g)	Résumé de la validation pour le Cuivre	85
3.1.3.	Validation de la technique de dosage du plomb.....	86
a)	Fonction de réponse (courbe d'étalonnage) du Plomb	86
b)	Linéarité	89
c)	Justesse	90

d) Fidélité.....	91
e) Etablissement du profil d'exactitude du Plomb	92
f) Limite de détection (LD) et de quantification (LQ)	93
g) Résumé de la validation pour le plomb.....	94
3.2. Détermination des éléments traces dans les échantillons de dents	95
3.2.1 Répartition des teneurs des métaux dans les dents en fonction de la limite de quantification.....	100
a) Répartition des teneurs en Zinc dans les dents en fonction de la limite de quantification	100
b) Répartition des teneurs en Cuivre dans les dents en fonction de la limite de quantification.....	100
c) Répartition des teneurs en Plomb dans les dents en fonction de la limite de quantification	101
3.2.2. Répartition des teneurs des métaux dans les dents en fonction des valeurs normales	102
4. Résumé des résultats de l'érosion et des concentrations en éléments traces étudiés	104
4.1. Café.....	104
4.2. Coca Cola	105
4.3. Boisson énergétique TNT	105
Chapitre III : Discussion	
1. Biais et limites de l'étude	106
2. Discussion des résultats selon les valeurs normales.....	107
2.1. Plomb.....	107
2.1.1 Répartition des résultats > 4µg/g.....	107
a) Selon l'âge.....	107
b) Selon le sexe	108
c) Selon le type d'habitation	108
d) Selon la consommation du tabac.....	109
e) Selon la nature d'eau consommée.....	109
2.2. Cuivre	110
2.3. Zinc.....	110
2.3.1 Répartition des résultats < 70 µg/g.....	110
a) Selon l'âge.....	110
b) Selon le sexe	110

c) Selon la nature d'eau consommée.....	111
3. Corrélation entre les concentrations en éléments traces avec l'érosion dentaire	112
4. Comparaison avec d'autres études internationales.....	112
Conclusion.....	Error! Bookmark not defined.
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	116
ANNEXES	
RESUME	

LISTE DES ABREVIATIONS

As : arsenic

AsO₄³⁻ : ion arséniate

Ba²⁺ : ion baryum

Ca : calcium

Cd : cadmium

CIRC : centre international de recherche sur le cancer

Cl⁻ : ion chlorure

CO₃ : trioxyde de carbone

CO₃²⁻ : ion carbonate

CRIP: Humain Cysteine-Rich Protein

Cu : cuivre

Cu₂O : oxyde cuivrique

Cu²⁺ : ion cuivre

CuBr : bromure de cuivre

CuCl : chlorure de cuivre

CuHAP : hydroxyapatite de cuivre

CuO : oxyde cuivreux

CV : Coefficient de variation

DO : Densité optique

ETAAS : spectrométrie d'absorption atomique électrothermique

Eu³⁺ : ion europium

F⁻ : ion fluorure

Ga³⁺ : ion gallium

GF-AAS : Spectrométrie d'absorption atomique par four graphite

H⁺ : ion hydrogène

H₂S : sulfure d'hydrogène

HA : hydroxyapatite

HAP : hydroxyapatite phosphocalcique

Hg : mercure

HPO₄²⁻ : ion hydrogénoorthophosphate

ICP: Inductively Coupled Plasma

ICP-AES : Spectrométrie d'émission atomique à plasma à couplage inductif

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

Ig : immunoglobuline

K⁺ : ion potassium

La³⁺ : ion lanthane

LD : Limite de détection

LOD : Limit of detection

LQ : Limite de quantification

Mg : magnésium

Mn : manganèse

Na⁺ : ion sodium

O²⁻ : ion superoxyde

OMS : organisation mondiale de la santé

P : phosphore

PAL : phosphatase alcaline

Pb : plomb

Pb²⁺ : ion plomb

PEA : pellicule exogène acquise

pH : potentiel Hydrogène

Ppb : partie par billion

Ppm : partie par million

Ppt : partie par trillion

RGO : reflux gastro-œsophagien

S²⁻ : ion sulfure

SAAF : Spectrométrie d'absorption atomique à flamme

Se : sélénium

SE : Standard d'étalonnage

Se⁺⁴ : ion sélénium

SFSTP : Société Française des Sciences et Techniques

SiO₄⁴⁻ : micromole de silicate

SO₂²⁻ : ion dioxyde de soufre

SOD: superoxyde dismutase

Sr: strontium

Sr²⁺: ion strontium

VN : valeur normale

VO₄³⁻ : ion vanadate

Zn : zinc

Zn²⁺ : ion zinc

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vue antérieure de la cavité buccale .	3
Figure 2 : L'organe dentaire.	4
Figure 3: Dessin schématique de l'hydroxyapatite.	9
Figure 4: Facteurs influençant l'occurrence d'érosion dentaire	11
Figure 5: Figure schématique de la structure du HAp dopé au Zn.....	40
Figure 6: Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme (Shimadzu AA-6200).	47
Figure 7 : Lampe de type HCL (HAMMATSU PHOTONICS K.K.).	47
Figure 8 : Traitement des échantillons.	49
Figure 9: Les dents placées sur plaque chauffante.	51
Figure 10 : Aspect des dents après déminéralisation.	51
Figure 11: Dispositif expérimental de la spectroscopie d'absorption atomique avec flamme .	52
Figure 12: Exemple d'un profil d'exactitude	57
Figure 13 : Répartition de la population selon le sexe.	58
Figure 14 : Répartition de la population selon l'âge	58
Figure 15 : Répartition de la population selon la consommation du tabac.	59
Figure 16 : Répartition de la population selon le type d'habitation.	59
Figure 17 : Répartition de la population selon le type d'eau consommée	60
Figure 18 : Immersion des dents dans ls boissons	61
Figure 19: Courbe d'étalonnage du zinc (Premier jour).....	66
Figure 20: Courbe d'étalonnage du zinc (Deuxième jour).....	66
Figure 21: Courbe d'étalonnage du zinc (Troisième jour).	67
Figure 22: Courbe d'étalonnage moyenne du zinc.....	68
Figure 23 : Courbe d'étalonnage du Zinc, concentrations : 1 à 8 ppm.	69
Figure 24: Profile d'exactitude du Zinc	73

Figure 25: Courbe d'étalonnage du cuivre (premier jour)	77
Figure 26: Courbe d'étalonnage du cuivre (Deuxième jour)	77
Figure 27: Courbe d'étalonnage du cuivre (Troisième jour).....	78
Figure 28: Courbe d'étalonnage moyenne du cuivre	79
Figure 29 : Courbe d'étalonnage du Cuivre. Concentrations : 1 à 10 ppm.....	80
Figure 30: Profile d'exactitude du Cuivre	83
Figure 31: Courbe d'étalonnage du plomb (Premier jour).....	87
Figure 32: Courbe d'étalonnage du plomb (deuxième jour)	87
Figure 33: Courbe d'étalonnage du plomb (troisième jour).....	87
Figure 34: Courbe moyenne des gammes étalons du plomb.....	88
Figure 35: Courbe d'étalonnage du Plomb. Concentrations : 1 à 10 ppm	89
Figure 36: Profile d'exactitude du Plomb.....	92
Figure 37: Teneurs en zinc par rapport à la valeur normales	99
Figure 38: Teneurs en cuivre par rapport à la valeur normales.....	99
Figure 39: Teneurs en Pb par rapport à la valeur normales.....	100
Figure 40: Répartition des teneurs en Zinc dans les dents en fonction de la limite de quantification.....	100
Figure 41: Répartition des teneurs en Cuivre dans les dents en fonction de la limite de quantification.....	101
Figure 42: Teneurs du cuivre dans les dents	101
Figure 43: Répartition des teneurs en Plomb dans les dents en fonction de la limite de quantification.....	102
Figure 44: Teneurs du plomb dans les dents	102
Figure 45: Répartition des teneurs en Zinc dans les dents en fonction des VN	103
Figure 46: Répartition des teneurs en Cuivre dans les dents en fonction des VN	103
Figure 47: Répartition des teneurs en Plomb dans les dents en fonction des VN	103
Figure 48: Répartition des échantillons selon l'âge	107

Figure 49: Répartition des échantillons selon le sexe	108
Figure 50: Répartition des échantillons selon le type d'habitation	108
Figure 51: Répartition des échantillons selon la consommation du tabac	109
Figure 52: Répartition des échantillons selon la nature d'eau consommée	109
Figure 53: Répartition des échantillons selon l'âge	110
Figure 54: Répartition des échantillons selon le sexe	110
Figure 55: Répartition des échantillons selon la nature d'eau consommée	111

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Composition de l'émail humain mature.....	5
Tableau 2 : Composition de la dentine mature.....	5
Tableau 3: composition chimique de la dent	8
Tableau 4: les propriétés physiques du cuivre.	22
Tableau 5: Teneur des aliments en cuivre.....	23
Tableau 6: Propriétés physiques et chimiques du plomb.	28
Tableau 7: Propriétés Physiques du Zinc	34
Tableau 8 : La teneur en zinc selon l'aliment.	35
Tableau 9 : Liste des dents et leurs poids.....	49
Tableau 10 : Principaux critères de validation	55
Tableau 11: pH des boissons.....	60
Tableau 12 : Poids des dents immergées dans le café.....	62
Tableau 13 : Poids des dents immergées dans la Coca Cola.....	62
Tableau 14 : Poids des dents immergées dans la boisson énergétique TNT.....	63
Tableau 15: pourcentage de perte de masse des dents immergées dans le café.....	63
Tableau 16: pourcentage de perte de masse des dents immergées dans le Coca-Cola	64
Tableau 17 : pourcentage de perte de masse des dents immergées dans la boisson énergétique TNT	64
Tableau 18 : Courbes d'étalonnage du Zinc J1-J2-J3.....	65
Tableau 19: Courbe moyenne des gammes étalons du zinc.....	67
Tableau 20: Domaine de linéarité de la courbe d'étalonnage du zinc.....	69
Tableau 21: Calcul des recouvrements, du biais absolu et du biais relatif du zinc	70
Tableau 22: Coefficient de variation intra- et inter groupe.....	72
Tableau 23: Densités optiques et écart type obtenus pour la solution du blanc.....	74
Tableau 24: Tableau récapitulatif de la validation du Zinc.....	75

Tableau 25: Courbes d'étalonnage du cuivre. J1-J2-J3	76
Tableau 26: Courbe moyenne des gammes étalons du cuivre.....	78
Tableau 27: Domaine de linéarité de la courbe d'étalonnage du cuivre	79
Tableau 28: Calcul des recouvrements, du biais absolu et du biais relatif du Cuivre.....	81
Tableau 29: Coefficient de variation intra- et inter groupe	82
Tableau 30: Densités optiques et écart type obtenus pour la solution du blanc	84
Tableau 31: Tableau récapitulatif de la validation du Cuivre	85
Tableau 32: Courbes d'étalonnage du plomb. J1-J2-J3.	86
Tableau 33 : Courbe moyenne des gammes étalons du plomb.	88
Tableau 34: Domaine de linéarité de la courbe d'étalonnage du plomb	89
Tableau 35: Calcul des recouvrements, du biais absolu et du biais relatif du plomb	90
Tableau 36: Coefficient de variation intra- et inter groupe	91
Tableau 37: Densités optiques et écart type obtenus pour la solution du blanc.....	93
Tableau 38: Tableau récapitulatif de la validation du Plomb.....	94
Tableau 39: Valeurs normales des métaux étudiés	95
Tableau 40: Taux d'éléments traces dans les échantillons de dents	95
Tableau 41: Résumé des résultats de l'érosion et concentrations en éléments traces étudiés dans le café	104
Tableau 42:Résumé des résultats de l'érosion et concentrations en éléments traces étudiés dans le Coca-Cola.....	105
Tableau 43: Résumé des résultats de l'érosion et concentrations en éléments traces étudiés dans le TNT	105

La biosurveillance des éléments traces métalliques dans les dents humaines est devenue un outil important pour évaluer l'état nutritionnel en plus de surveiller l'impact de la pollution environnementale sur la santé.

Il a été démontré que les métaux sont incorporés dans les tissus dentaires se formant lors de leur exposition, par conséquent, contrairement à l'os, dont la phase minérale est soumise à un renouvellement, une fois formé, les dents fournissent un cumulatif permanent et record d'exposition environnementale relativement stable [1].

La concentration de plomb dans les dents peut être utilisée comme indice de pollution environnementale [2]. Cet élément est préférentiellement incorporé et stocké dans les tissus calcifiés, tels que les dents [3].

Une concentration de plomb supérieure à 4 µg/g dans les dents a été suggérée comme étant une indication de la toxicité du plomb [4, 5].

En outre, les oligo-éléments tels que le cuivre et le zinc peuvent pénétrer dans notre corps par l'alimentation ou par exposition à l'environnement et ils peuvent être incorporés dans les dents. Le manque ou l'excès de ces éléments peut avoir des effets significatifs sur la santé dentaire et la santé humaine.

L'érosion dentaire, qui est l'un des problèmes de santé dentaire, est une lésion non carieuse, cliniquement définie comme la perte progressive et irréversible des tissus dentaires calcifiés (émail, dentine, cément) causée par un procédé chimique de déminéralisation par dissolution acide et/ou une chélation progressive des tissus calcifiée de la dent sans intervention des bactéries [6].

Des études ont montré que le cuivre a un effet inhibiteur direct de cette déminéralisation de l'émail dentaire par stabilisation de ce dernier [7]. Aussi, de faibles concentrations de zinc peuvent réduire la déminéralisation de l'émail. La carence en zinc serait un facteur de risque potentiel pour les patients parodontaux [8]. Maintenir des statuts biologiques adéquats de ces éléments est, de ce fait, un objectif important de santé publique et de prévention nutritionnelle.

Le présent travail s'est focalisé sur la mise en œuvre d'une technique de minéralisation des dents puis la détermination de la concentration de trois éléments métalliques de trois éléments métalliques (le Plomb le Zinc et le Cuivre) au niveau de dents humaines collectées dans différentes régions de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Une autre étude a été effectuée en parallèle afin d'évaluer l'influence de trois boissons consommées de façon régulière par la population sur l'érosion dentaire.

Les résultats obtenus seront interprétés selon un certain nombre de facteurs relatifs aux principaux facteurs étiologiques de l'érosion dentaire et ceux influençant la concentration des métaux dans les dents à savoir : l'âge, le sexe, le type d'habitation, la nature de l'eau consommée et la consommation de tabac, aussi la corrélation avec l'érosion dentaire. Ainsi qu'une comparaison avec d'autres études internationales est faite.

Compte tenu du manque d'études publiées sur ce sujet en Algérie, les résultats sont comparés aux études précédentes réalisées dans d'autres pays.

Revue bibliographique

Chapitre I :

Généralités sur les dents et l'érosion dentaire

1. Généralités sur la cavité buccale

La cavité buccale autrement appelée cavité orale représente le segment initial du tube digestif. Celle-ci est limitée à l'avant par les lèvres, à l'arrière par l'isthme du gosier, latéralement par les joues, dans sa partie supérieure par le palais et enfin dans sa partie inférieure par le plancher buccal (**Figure 1**) [9].

La cavité orale se divise en 2 parties par l'intermédiaire des arcades alvéolo-dentaires, supports des dents, qui sont au nombre de 2 : l'arcade alvéolo-dentaire supérieure (le maxillaire) et l'arcade alvéolo-dentaire inférieure (la mandibule) [9].

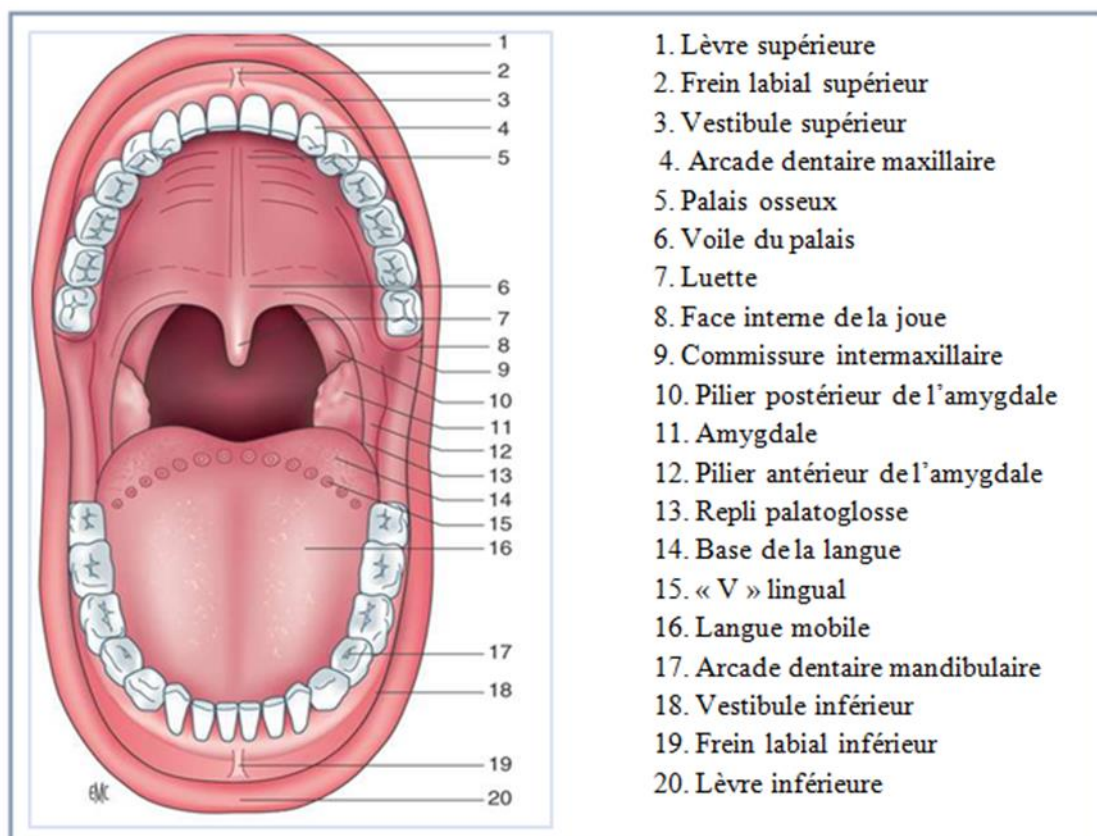


Figure 1 : Vue antérieure de la cavité buccale [9].

1.1. Rappel anatomique de la dent

La dent est constituée d'une couronne qui est la partie visible, d'une racine qui est la partie non visible, d'un collet qui sépare ces deux parties, et creusée d'une cavité pulpaire. Cet organe dentaire (**Figure 2**) est formé de l'odonte ou dent anatomique, et de ses tissus de soutien ou parodonte [9].

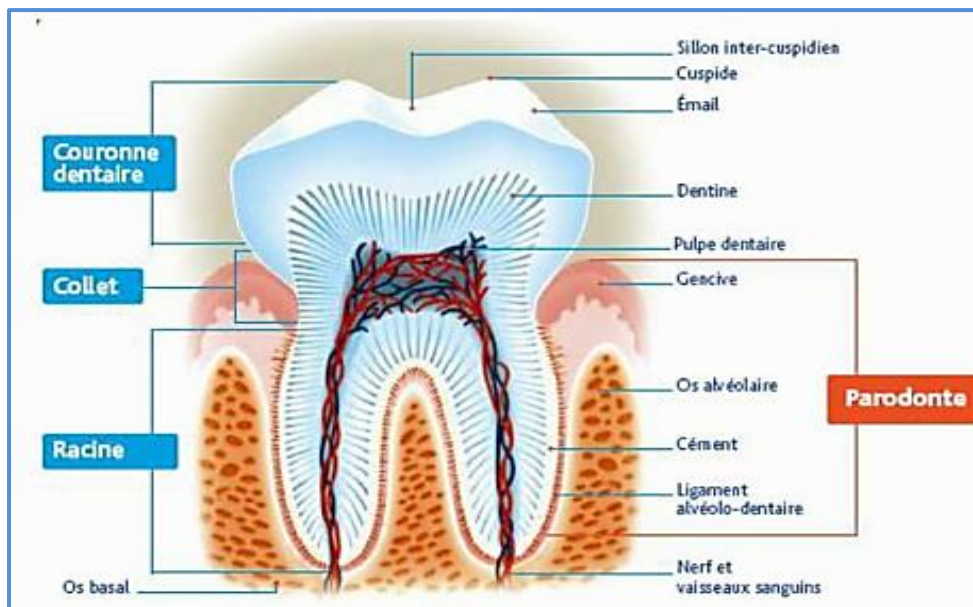


Figure 2 : L'organe dentaire [23].

1.1.1. Odonte

L'odonte comprend une partie coronaire, une partie radiculaire ainsi que le collet formant la séparation anatomique de la couronne et de la ou les racines. Il est constitué de 4 parties : l'émail, la dentine, la pulpe et le cément [9].

a) Email

L'émail est une substance blanche qui recouvre la dentine au niveau de la couronne, c'est la structure la plus dure de l'organisme humain. Il est acellulaire, ce n'est pas donc un véritable tissu. Hautement minéralisé, il est constitué à 95% d'une partie minérale comprenant essentiellement les cristaux d'hydroxyapatite de calcium, à 1% d'une phase organique (protéines, protéoglycanes, lipides, et citrates), et à 4% d'eau [9].

Le **Tableau 1** récapitule la composition de l'émail humaine [10].

Tableau 1 : Composition de l'émail humain mature [10].

	Proportion	Composition
Phase minérale	96 % (en poids)	- Réseau de cristaux d'hydroxyapatite de calcium
	87-91 % (en volume)	(Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (OH) ₂) majoritairement carbonatés - Eléments à l'état de trace : zinc, magnésium, potassium, fluorure et sodium
Phase organique	0,4 % (en poids)	- Protéines : amélogénines et non amélogénines
	2 % (en volume)	- Lipides à l'état de trace
Eau	3,6 % (en poids)	- Eau libre
	7-11 % (en volume)	- Eau liée

b) Dentine

La dentine est une structure minéralisée, avasculaire et partiellement innervée, recouverte par l'émail au niveau de la couronne et par le cément au niveau de la racine. Elle occupe la partie la plus volumineuse de la dent. Elle est translucide, de couleur jaunâtre et possède une élasticité plus importante que celle de l'émail en raison de la fraction plus élevée que représente la phase organique [10, 11].

Comme l'émail, la dentine est composée d'éléments minéraux et organiques ainsi que d'eau (**Tableau 2**). Toutefois, les proportions et compositions respectives de chacune de ces phases sont différentes, conférant ainsi des propriétés différentes à la dentine [10].

Tableau 2 : Composition de la dentine mature [5].

	Proportion	Composition
Phase minérale	70 % (en poids)	Cristaux d'hydroxyapatite carbonatés et magnésifiés.
Phase organique	20 % (en poids)	Protéines collagéniques (90 %) et non collagéniques (10 %).
Eau	10 % (en poids)	Eau libre et eau liée.

c) Pulpe

La pulpe occupe la cavité centrale de la dentine. Son réseau vasculaire est très abondant. C'est un tissu conjonctif spécialisé assurant des fonctions nutritives, sensorielles, et de défense de l'organe dentaire [12].

d) Cément

C'est un tissu minéralisé qui permet l'ancrage de la dent dans l'os alvéolaire par l'intermédiaire du ligament alvéolodentaire. Bien que le cément soit le tissu dentaire le moins minéralisé de la dent, il est constitué d'une phase aqueuse (12 % du poids humide), d'une phase minérale majoritairement constituée de cristaux d'hydroxyapatite (65 % du poids humide) et d'une matrice organique essentiellement composée de collagène (23 % du poids humide) [10, 12].

1.2. Salive et glandes salivaires

1.2.1. Débit salivaire

La sécrétion salivaire moyenne est comprise entre 500 et 1200 mL par jour, mais peut être soumise à de nombreuses variations. Par exemple, le débit salivaire est moindre au cours des périodes de sommeil [11, 13].

La salive protège les dents des acides par amincissement, neutralisation, diminution de la dissolution de l'émail à l'aide des ions calcium et phosphate, et par la formation d'une pellicule acquise. La salive est considérée comme le facteur le plus important dans la protection des tissus dentaires minéralisés contre les agressions acides. Elle a la capacité d'agir directement sur l'agent érosif en le diluant et en le neutralisant grâce à son pouvoir tampon. Son effet protecteur est déterminé par sa composition et sa concentration en minéraux, principalement en ions calcium, phosphate et fluorure. En effet, plus ils sont nombreux et plus la capacité tampon de la salive, participant au maintien de l'intégrité des tissus dentaires, est accrue [14].

1.2.2. Composition de la salive

La salive totale est constituée d'eau à 99%. Les 1 % restants correspondent à un mélange de composants organiques et inorganiques [13].

a) Composants organiques

Les composants organiques comprennent des protéines intrinsèques synthétisées par les glandes salivaires elles-mêmes et des protéines extrinsèques issues du sérum. Les protéines extrinsèques sont essentiellement représentées par de l'albumine et des Immunoglobulines (Ig) telles que les IgA, IgG, IgM... [13].

Les protéines intrinsèques quant à elles sont principalement représentées par :

- ✓ Des enzymes salivaires telles que l'amylase qui assure la dégradation de l'amidon ; les lipases qui assurent la dégradation des lipides ; le lysozyme et les peroxydases qui ont des propriétés antibactériennes ; les protéases [13].
- ✓ Des mucines qui sont des glycoprotéines qui participent à la formation de la Pellicule Exogène Acquise (PEA) et confèrent à la salive son pouvoir lubrifiant [13].
- ✓ Des Ig sécrétoires et plus particulièrement des IgA qui ont une activité antibactérienne et antivirale [13].

D'autres composants sont retrouvés à l'état de trace tels que l'urée, l'acide urique, des glycoprotéines marqueurs de groupe sanguin, des facteurs de croissance, des hormones...[10,11].

b) Composants inorganiques

Les composants inorganiques comprennent des ions (sodium, potassium, calcium, hydrogène, phosphates, chlorures, bicarbonates) ; des halogènes (iode et fluor) ; des métaux à l'état de trace (cuivre et fer) ainsi que des gaz dissous (azote, oxygène). Les ions hydrogène (H⁺) sont responsables du pH (potentiel Hydrogène) salivaire qui varie entre 6,7 et 8,5 [11, 13].

1.3 Composition chimique de la dent

Chaque partie de la dent : émail, dentine et cément, est constituée de trois phases. Une phase minérale composée majoritairement de cristaux d'hydroxyapatite de calcium dont la formule chimique est $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, qui peuvent être carbonatés ou magnésifiés selon la partie de la dent, ainsi qu'ils peuvent subir des substitutions par des éléments traces. Une phase organique formée de protéines et/ou de lipides et une phase aqueuse représentant l'eau [13].

Tableau 3: composition chimique de la dent [13].

Phases de la dent	Proportion
Phase minérale	77%
Phase organique	14,47
Phase aqueuse (Eau)	8,53

1.4. Généralités sur l'hydroxyapatite

Le terme « apatite » décrit une famille de composés ayant une structure similaire mais pas la même composition [15].

L'hydroxyapatite phosphocalcique (notée HA) appartient à la famille cristallographique des apatites, décrite par la formulation générique $Me_{10}(XO_4)_6Y_2$, où Me représente un cation divalent, XO_4 un groupement anionique trivalent et Y un anion monovalent. Il constitue la phase inorganique ou minérale des tissus calcifiés (dents et os) et se retrouve également dans certains calcifications (calculs dentaires, calcifications cardiaques, calculs urinaires, tissus mous calcifiés...etc) [15].

Avec sa formule chimique $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, l'hydroxyapatite phosphocalcique Stœchiométrique (sans substitution ou lacune) a une composition théorique massique de 39,68% de Ca, 18,45 % de P, et un ratio molaire Ca/P égale à 1,667 [15].

La structure apatitique accepte un nombre de substituant. Ainsi, les cations bivalents (Me^{2+}) peuvent non seulement être remplacés par les cations bivalents (Sr^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+}), mais également par les cations monovalents (Na^+ , K^+) ou trivalent (La^{3+} , Ga^{3+} , Eu^{3+}). De même, les anions XO_4^{3-} trivalents peuvent être remplacés par des groupements bivalents (CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , HPO_4^{2-}), trivalents (AsO_4^{3-} , VO_4^{3-}) ou tétravalents (SiO_4^{4-}). Enfin, les groupements Y^- peuvent également être substitués par des ions monovalents (F^- , Cl^-) ou bivalents (CO_3^{2-} , O^{2-} , S^{2-}). Toutefois des mécanismes de compensations de charges apparaissent lors de substitutions ioniques afin de conserver l'électroneutralité impliquant des modifications structurales et la création de lacunes dans la maille [15].

La principale différence entre l'apatite de l'émail et l'hydroxyapatite est en présence d'environ 3% en poids de CO_3^{2-} [16].

Ces substitutions affectent les propriétés de l'hydroxyapatite, tel les propriétés spectrales, les paramètres du réseau, et la taille et la morphologie du cristal, qui à leur tour affectent la stabilité

chimique (solubilité) et thermique. Le degré de l'effet est en fonction de la taille et de la quantité de l'ion de substitution [17].

L'hydroxyapatite qui constitue l'émail est en forme de ruban de section hexagonale, qui fait 60-70 nm de largeur, 25-30 nm d'épaisseur et dont la longueur (**Figure 3**) peut dépasser 1 mm, tandis que les cristaux de la dentine, comme ceux de l'os et du ciment, sont déposés de manière ordonnée sur une trame collagénique. Cette apatite cristallise selon une maille hexagonale. Ce sont les cristaux biogéniques les plus petits connus, ils font 2-6 nm d'épaisseur, 30-50 nm de largeur et 60-100 nm de longueur. Les cristaux d'hydroxyapatite au niveau du ciment sont fins en forme de plaque, tout comme ceux de l'os. Ces cristaux ont environ une largeur de 55nm et une épaisseur de 8 nm (leur longueur n'a pas pu être déterminée pour des raisons de quantité de matériel à étudier) chez l'Homme [18].

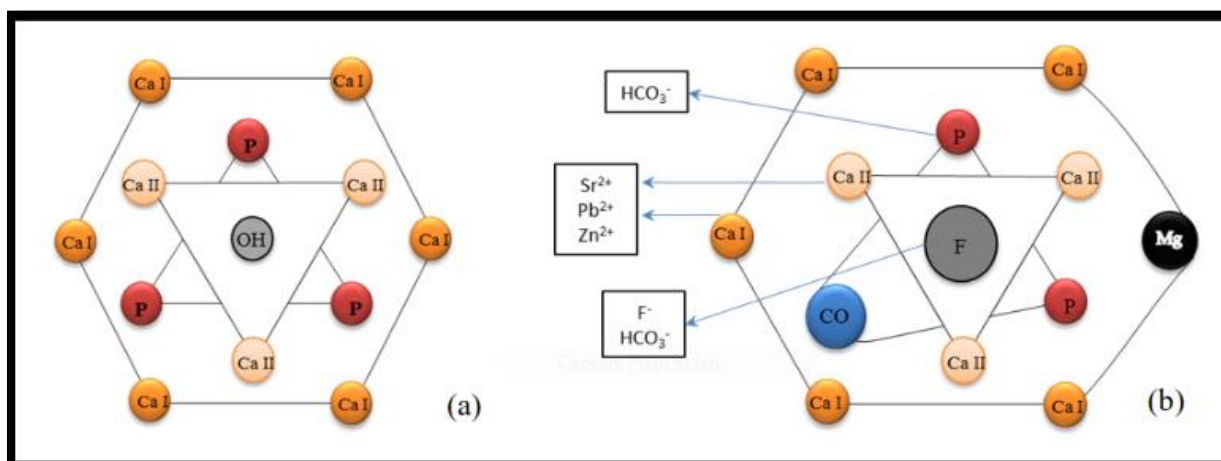


Figure 3: Dessin schématique de l'hydroxyapatite [19].

2. Erosion Dentaire

2.1. Définition de l'érosion dentaire

L'érosion dentaire est une lésion non carieuse, cliniquement définie comme la perte progressive et irréversible des tissus dentaires calcifiés (émail, dentine, ciment) causée par un procédé chimique de déminéralisation sans intervention des bactéries [20].

La perte de substance résulte d'une dissolution acide et/ou une chélation progressive des tissus calcifiés de la dent : atteinte de la couche supérieure des cristaux d'hydroxyapatite et de la structure des cristaux de fluoroapatite [21].

2.2. Mécanisme chimique de l'érosion

Le mécanisme de l'érosion se divise en deux étapes :

- ✓ Au cours de la première étape qui est de courte durée, il y'a déminéralisation et ramollissement de la surface dentaire [22, 23].

A ce stade, une reminéralisation reste possible car l'email déminéralisé subsiste et peut servir de « charpente » aux éléments minéraux qui peuvent ainsi se fixer [23, 24].

- ✓ Dans la seconde étape, les couches superficielles d'email fragilisées à l'occasion de la première étape sont éliminées [23].

La reminéralisation de l'email n'est par conséquent plus possible. La perte de tissu dentaire sera d'autant plus accélérée que des mécanismes abrasifs viennent s'ajouter. Après perte de l'email après plusieurs épisodes acides, celle de la dentine est plus rapide du fait de sa moindre minéralisation et de sa plus grande teneur en carbonate [25].

Une fois l'acide est en contact avec l'email, il commence à dissoudre les cristaux. La lésion initiale débute dans la zone des gaines prismatiques, puis, lorsque l'exposition est prolongée, les noyaux prismatiques sont dissous, et enfin les zones d'email inter prismatiques s'érodent. Cette réaction conduit à la libération des ions constitutifs de l'email (calcium et phosphate) dans le milieu environnemental et par conséquent une augmentation locale du pH dans la zone concernée. Ce processus de dissolution est stoppé lorsqu'il n'y a plus de nouveaux acides et /ou de substances chélatrices [25].

L'érosion chimique donc se produit de deux manières :

- Soit par des anions capables de se lier pour former des complexes avec le calcium, ces derniers étant des agents chélateurs.
- Soit par l'attaque d'ions Hydrogène dérivés d'acides forts ou faibles.

Les ions hydrogènes sont dérivés d'acides lorsqu'ils se dissolvent dans l'eau, ainsi, le pH est abaissé (plus d' H^+ en solution) :

- ✓ Les ions H^+ se lient aux anions dissous : ils attaquent les minéraux et se combinent avec l'ion carbonate ou l'ion phosphate. Dans ce cas l'équilibre de la solution s'en trouve perturbé [21].

- ✓ D'avantage de minéraux passent en solution pour rétablir l'équilibre de la solution (neutraliser l'acide) [21].
- ✓ Ceci va conduire à la dissolution superficielle de la structure de l'émail.
- ✓ Si le défi érosif est trop important et/ou si des mécanismes abrasifs viennent s'ajouter, on aura une perte des composants de l'émail [21].
- ✓ La perte de la dentine étant plus rapide vu sa grande concentration en carbonates ainsi que sa moindre minéralisation [21].

2.3 Facteurs influençant l'érosion dentaire

Les agents responsables d'érosion peuvent être exogènes ou endogènes au corps humain. Leur présence et leur action dans la cavité buccale vont dépendre de différents facteurs intrinsèques et extrinsèques (**Figure 4**) [21].

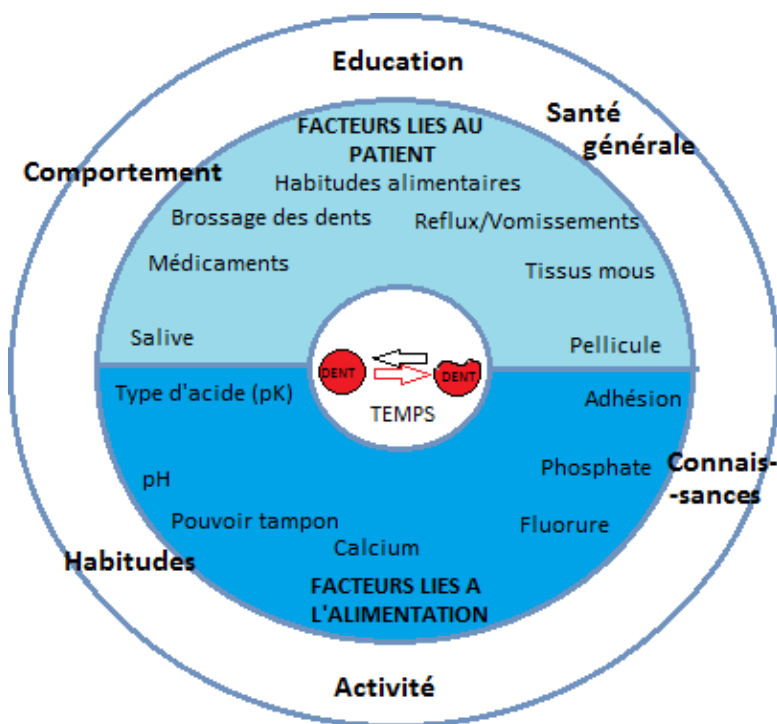


Figure 4: Facteurs influençant l'occurrence d'érosion dentaire [21].

2.3.1. Eléments extrinsèques

Ce sont les éléments provenant de l'extérieur du corps et y sont introduits. Ils proviennent des aliments, de boissons, médicaments, de composés présents dans l'atmosphère ou dans l'environnement dans lequel évolue le patient [25].

a) Facteurs comportementaux

➤ Habitudes alimentaires

La consommation de boissons et d'aliments à tendance acide est considérable. Ce phénomène mondial croissant est fréquemment lié au style de vie des individus : restauration rapide, diminution de la durée des repas, plats tout préparés, mais aussi à la forte disponibilité de ces boissons qui entrent de façon significative dans la composition des régimes de nombreux foyers. Aussi, le facteur diététique constitue l'étiologie la plus importante des facteurs extrinsèques [25].

Le pH des aliments ou des boissons consommées, leurs compositions chimiques, la durée et la fréquence de contact de ceux-ci avec les surfaces dentaires sont déterminants. Plus le pH est bas, plus la durée et la fréquence de contact sont élevées, plus les conditions deviennent propices à l'érosion. Il a été démontré que pour obtenir une déminéralisation de l'émail de la dent, celle-ci doit être soumise à un environnement présentant un pH inférieur au seuil de 5,5. Or, nombreuses sont les boissons disponibles sur le marché dont l'acidité est bien en dessous de ce seuil [25].

Parmi les aliments et de boissons acides, on peut citer : agrumes et jus d'agrumes (citron, pamplemousse, orange), pommes acides, raisin, bonbons acides, moutarde, vinaigre et sauces vinaigrées, cidre, vin (surtout le vin blanc), boissons énergisantes, sodas (sucrés ou non), thés glacés... Tous les jus et boissons contenant de l'acide citrique, acétique, phosphorique, carbonique et autres acides dont le pH est inférieur à 4 sont susceptibles d'engendrer des modifications de l'émail dentaire. Les boissons énergétiques contiennent de l'acide citrique, d'un pH d'environ 3,3, elles font ainsi partie des boissons à fort potentiel érosif [25].

Un mode de vie sain paradoxalement, peut également être source d'érosion. En effet, les pratiquants du végétarisme ou du végétalisme consomment fréquemment fruits et légumes acides éventuellement accompagnés de condiments acides (sauces au vinaigre, à la moutarde...) [25].

La manière de consommer des aliments et des boissons érosives (sirotés, sucés, avec ou sans paille) détermine la durée et la localisation des expositions acides, et donc l'aspect de l'érosion dentaire. Lors d'un effort physique, les apports en liquide sont multiples et en petites quantités augmentant donc le temps d'exposition. Ainsi de par leur composition et la façon dont elles

sont consommées, les boissons énergétiques possèdent un très fort potentiel érosif, 3 à 10 fois supérieur au Coca Cola® [26].

La fréquence et la durée des attaques acides se révèlent extrêmement importantes au regard de la destruction des tissus durs et, par conséquent, pour les mesures préventives à entreprendre. L'exposition nocturne aux acides peut conduire à une érosion plus forte à cause de la réduction du flux salivaire au cours du sommeil. Par exemple, des enfants qui boivent des boissons acides et/ou sucrées dans un biberon avant de s'endormir seront atteints non seulement de caries mais aussi d'érosions massives [27].

➤ **Prise médicamenteuse**

Outre les médicaments entraînant une hyposialie ou un RGO et donc facteurs de risque d'érosion, certains médicaments acides, s'ils sont utilisés fréquemment, peuvent être responsables de lésions érosives lorsqu'ils sont mis en contact direct avec les surfaces dentaires, C'est le cas de la vitamine C. en comprimés à croquer ou effervescents, également de l'aspirine et des préparations acides à base de fer [28].

Une étude s'est intéressée à la prévalence de l'érosion chez des enfants atteints de pathologies rénales, soumis à des prises de médicaments quotidiennes. Elle a ainsi révélé que ces enfants sont plus susceptibles à l'érosion dentaire. Un recueil du pH des médicaments les plus souvent consommés a été réalisé, le seuil de déminéralisation est atteint au pH 5,5 [29].

Plus indirectement, les médicaments réduisant le débit salivaire affaiblissent le mécanisme de défense contre les attaques acides, induisant ainsi une érosion dentaire ou une lésion carieuse [29].

Les atropiniques, antihistaminiques H1, antidépresseurs, neuroleptiques, opioïdes, Amphétaminiques, et divers médicaments cardiovasculaires exposent à une sécheresse de la bouche [29].

➤ **Activité sportive**

Au cours d'une activité sportive et tout particulièrement lors d'un exercice d'endurance, la ventilation buccale restreint le volume salivaire. De plus, les sportifs ont tendance à consommer des boissons énergétiques isotoniques (acides et sucrées) fréquemment et par petites quantités. Enfin, certains exercices intenses peuvent être source de RGO. Toutefois, la pratique sportive reste un facteur de risque d'érosion controversé [21].

Chez les nageurs de haut niveau : La plupart des piscines olympiques sont traitées par du chlore gazeux. Une fois injecté dans l'eau, il se dissocie en acide chlorhydrique et en acide hypochloreux qui limitent la prolifération d'algues et le développement des bactéries. Afin de maintenir l'eau à un pH réglementaire (entre 6,9 et 7,7), ces acides sont ensuite dégradés grâce à du carbonate de sodium. En cas de défaut de contrôle, le pH peut vite chuter à des valeurs très basses (inférieur à 3). A un tel pH, le risque érosif est inexorable [21].

➤ **Habitudes d'hygiène bucco-dentaire**

Dans l'espoir d'obtenir des dents blanches, certains patients pratiquent un brossage traumatique, parfois combine à l'utilisation de produits éclaircissants à pH acide, sans apport de fluor, ou l'emploi de dentifrices trop abrasifs [25].

En général, les patients qui découvrent les premiers signes d'érosion ignorent l'origine de ces lésions et tentent d'enlever ces « taches » avec un brossage énergique, provoquant ainsi l'abrasion de surfaces dentaires déjà fragilisées. On assiste alors à une accélération de perte de substance avec une érosion/abrasion tout à fait caractéristique [25].

Par exemple, le brossage des dents avec du jus de citron pour les éclaircir entraîne des lésions érosives aggravées par l'abrasion d'un brossage vigoureux pour tenter de faire disparaître ces colorations [25].

➤ **Alcoolisme et toxicomanie**

La consommation de drogues, notamment des drogues de synthèse acides (ecstasy) peut engendrer des lésions érosives. Le trismus et le bruxisme apparaissant chez les consommateurs réguliers d'ecstasy, l'hyposialie, la déshydratation causée par l'exercice intense souvent lié à la prise de ce stimulant, sont autant de facteurs de risque [30, 31].

Le cannabis, par la déshydratation et la sécheresse buccale qu'il entraîne augmente la probabilité de développer ce type de lésions [28].

b) Environnements du patient

➤ **Activité professionnelle**

Il a été montré que certaines personnes peuvent être exposées à des risques d'érosion dans leur milieu professionnel. Les facteurs environnementaux industriels ont été le principal facteur étiologique de plusieurs enquêtes cliniques. Une étude a été faite sur la prévalence et la

progression de l'érosion dentaire dans un grand groupe de travailleurs en Grande-Bretagne, dont les travaux comportaient une exposition à des vapeurs acides ou à des aérosols. La population étudiée comprenait des ouvriers d'usines exposées à différents acides. La population témoin travaillait dans des entrepôts sans acide [32].

Il a été noté une prévalence d'érosion plus élevée chez les travailleurs exposés à l'acide que chez les groupes témoins non exposés. Des mesures préventives destinées à réduire l'exposition à l'acide se sont avérées efficaces pour réduire l'érosion dentaire [33].

Les nageurs ayant des contacts prolongés avec l'eau chlorée, qui montrent alors une localisation particulière des surfaces atteintes, sur les faces vestibulaires des dents [33].

Il y a eu plusieurs rapports de cas de nageurs compétitifs souffrant d'érosion dentaire à la suite d'une baignade dans des bassins chlorés au gaz. Les grands bassins de natation utilisent généralement la chloration au gaz, ce qui entraîne la formation d'acide chlorhydrique qui nécessite une neutralisation et un tamponnage pour maintenir la plage de pH recommandée de 7,2 à 8,0. Une surveillance inadéquate du pH de l'eau de la piscine a été considérée comme le problème dans les deux rapports [33].

Les dégustateurs professionnels de vin sont également souvent victimes de l'érosion, le vin étant acide [34, 35].

2.3.2. Eléments intrinsèques

Les érosions dentaires d'origine intrinsèque sont causées par le passage fréquent d'acide gastrique ou du contenu gastrique dans la cavité buccale. Elles sont observées notamment chez les patients souffrant de reflux gastro-œsophagiens, atteints d'affections psychogènes telles que la boulimie ou l'anorexie, ou encore d'alcoolisme chronique [25].

a) Etat du patient

Le reflux gastro-œsophagien (RGO) et les vomissements peuvent être responsables, à long terme, de lésions érosives. La prévalence d'érosions dentaires causées par un RGO varie en fonction des auteurs de 20 à 50% [36].

Le pH critique de l'émail est de 5,5. Toute solution acide ayant un pH inférieur à cette valeur entraînera une dissolution des cristaux d'hydroxyapatite de l'émail. Le contenu stomacal ayant un pH inférieur à 0,2, soit extrêmement érosif [25].

Les régurgitations sont causées par : une incompétence du sphincter gastro œsophagien (œsophagite, alcoolisme, hernie hiatale, grossesse, régime alimentaire, médicaments, prise de drogues, spasmes neuromusculaires), une augmentation de la pression intra-abdominale (obésité, grossesse, ascite) ou une augmentation du volume gastrique (repas copieux, obstruction, spasmes) [25].

Les principales étiologies des vomissements sont : des pathologies digestives, des pathologies du système nerveux (migraine, intoxication alcoolique), la grossesse, des médicaments (opiacés, chimiothérapie, etc.) ou des troubles psychologiques (anorexie, boulimie, stress) [28].

b) Facteur salivaire

La salive joue un rôle marquant au cours de l'érosion. En fonction de leur localisation sur l'arcade, les dents sont plus ou moins bien protégées par la salive contre les agents érosifs. En effet, les sites mal baignés par la salive sont plus susceptibles de présenter des lésions érosives que des sites bien baignés par la salive. Ainsi, on comprend pourquoi les faces vestibulaires des incisives maxillaires sont plus vulnérables à l'érosion que les faces linguales des dents mandibulaires, qui baignent constamment dans la salive [37].

Par conséquent, chez les patients souffrant de xérostomie, l'impact de l'érosion prouve encore une fois l'importance de la salive dans la protection des tissus dentaires [37].

La salive participe également à la formation d'une membrane de protection, appelée pellicule exogène acquise ou biofilm, qui réduit le taux de déminéralisation lors d'une attaque acide puis renforce directement la reminéralisation en fournissant aux tissus dentaires les ions calcium, phosphate, et fluorures nécessaires [38].

Ce biofilm est constitué essentiellement de protéines et glycoprotéines salivaires. Une fois mature, il protège la dent contre l'érosion en agissant comme une barrière naturelle de diffusion qui empêche le contact direct entre les agents érosifs et la surface dentaire. Sa présence permet donc de réduire la vitesse de dissolution des tissus minéralisés lors d'attaques acides [38].

Chapitre II :

Les métaux dans les dents

1. Définition des éléments traces

Le groupe “éléments-traces” comprend à la fois :

- Des **éléments** métalliques (lourds) tels que le mercure (Hg), le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et le cuivre (Cu) [39].
- Des **éléments** non métalliques comme l'arsenic (As), le sélénium (Se) [39].

Les éléments traces appartiennent à différentes familles de substances, à base de métaux ou de métalloïdes en faibles ou très faibles quantités, dont la caractéristique principale est la persistance intrinsèque dans le milieu, ces substances n'étant ni créées, ni dégradées dans l'environnement, mais elles peuvent par contre changer de forme physique ou chimique, et de valence, sous l'influence de réactions chimiques et/ou biologiques [39].

2. Définition des oligoéléments

Ce sont des nutriments sans valeur énergétique propre, constituant moins de 0,01 % du poids corporel, mais dont la présence est essentielle au métabolisme. Dix-sept éléments ont des fonctions biologiques identifiées chez les mammifères, mais seuls 12 éléments sont considérés comme essentiels chez l'être humain : arsenic, bore, chrome, cobalt, cuivre, étain, fer, fluor, iode, lithium, molybdène, manganèse, nickel, sélénium, silicium, vanadium et zinc. Ces éléments ont comme caractéristique commune d'être des métaux ou des métalloïdes [40].

3. Éléments traces dans les dents

La dent est un bio-indicateur d'un grand intérêt car elle contient des informations sur les éléments déposés dans le matériau dentaire. Il est prouvé que la dent est un indicateur d'exposition cumulative aux éléments traces toxiques tel que le plomb, car les pertes de la dent sont beaucoup plus lentes comparant à celles des os, ainsi il n'y a pas de renouvellement d'apatite au niveau de la dent comme dans les os, ainsi qu'en raison de la stabilité physique et la facilité avec laquelle les échantillons peuvent être récoltés, stockés de manière pratique et peuvent être facilement analysés, l'analyse des dents est une technique importante qui permet de déterminer l'exposition ancienne et totale à des éléments traces métalliques toxiques [41].

La concentration des éléments traces dans les dents peut varier en fonction de la source, de nourriture et d'eau ainsi que du sol et de l'absorption cutanée. Donc, l'état nutritionnel et environnemental d'une population humaine peut être déterminé en surveillant les éléments

traces présents dans leurs dents. Par exemple, la concentration de Zn et de Mg dans la dentine humaine est liée à leur présence dans le sol tandis que la concentration du plomb dans les dents indique une pollution de l'environnement et de l'eau potable [42].

La répartition des éléments traces métalliques dans les dents diffère d'un tissu à un autre et varie également entre les différentes couches de l'émail, par exemple le plomb et le manganèse sont plus abondants dans les couches extérieures que les couches intérieures [41].

4. Principaux éléments traces présents dans les dents

4.1. Strontium (Sr)

Le strontium ressemble à l'élément calcium dans ses propriétés (il est absorbé et implanté préférentiellement dans l'os). Il peut avoir ; selon la quantité absorbée, des effets bénéfiques ou néfastes sur l'homme, sa présence dans l'émail ; à des quantités relativement élevées, entraîne un changement hétéro-ionique du calcium ce qui rend le cristal d'apatite plus résistant aux caries et à la déminéralisation par les acides [43].

De plus, il est rapporté que le rapport de strontium dans la dent diminuait avec le vieillissement [44].

4.2. Manganèse (Mn)

Le manganèse est un nutriment essentiel à la formation des os, il est présent en quantité plus élevée dans les arachides et les céréales, et en plus faible concentration dans les produits laitiers, la viande, la volaille, le poisson et les produits de la mer. De plus, il se retrouve dans le café et le thé qui constituent 10% de l'apport quotidien. Les besoins quotidiens sont d'environ 2 à 5 mg/jour. Le stock de manganèse le plus important se trouve dans les os [8].

Le manganèse est un élément trace qui peut être inclus dans l'émail par la nourriture, l'air et l'eau. Ses concentrations dans l'émail sont comprises entre 0,08 et 20 ppm, ce qui équivaut à 0,08–20 mg/kg et entre 0,6 et 1000 ppm au niveau de la dentine. Il a le potentiel de se substituer au calcium dans l'hydroxyapatite. Les études ont révélé que dans les régions où la teneur en manganèse est plus élevée, l'incidence des caries dentaires chez les hommes augmentait, par conséquent, il est souligné que le manganèse favorise les caries dentaires [44].

4.3. Cuivre (Cu)

A faible dose le cuivre joue un rôle important chez l'homme et l'animal puisqu'il est impliqué dans le fonctionnement de plusieurs enzymes critiques [43].

Une concentration plus élevée de cuivre est retrouvée dans les dents cariées par rapport aux dents saine et, par conséquent, le cuivre est défini comme étant un élément trace qui augmente les caries dentaires [44].

Des études menées ont montré que le taux de cuivre sérique est significativement plus élevé chez les patients atteints de leucoplasie buccale et de fibrose sous-muqueuse buccale ainsi que de tumeurs malignes telles que le carcinome épidermoïde [45].

4.4. Plomb (Pb)

Les gens peuvent être exposés au plomb par le biais d'aliments et de boissons contaminés, résultant d'une activité industrielle [46].

C'est un métal nocif et toxique pour le corps humain il est transféré aux tissus du corps tels que les dents par le biais de l'environnement ou de la nutrition [47].

Le plomb réduit la taille des cristaux HAP par translocation avec le Ca^{2+} [48, 49].

Il est déterminé à avoir un effet encourageant sur les caries dentaires. De plus, on constate que la formation d'hypoplasie de l'émail est augmentée par le Pb. Ainsi, le plomb joue un rôle essentiel dans le développement de nouvelles lésions carieuses [8].

4.5. Cadmium (Cd)

Les deux principales sources d'exposition au cadmium de la population générale sont l'alimentation et le tabagisme. Le cadmium est présent de façon importante dans certains aliments, comme les fruits de mer, les abats, certaines céréales (riz, blé...), les champignons et les légumes et, dans une moindre mesure, dans le poisson, les fruits et la viande [50, 51].

Les apports moyens journaliers sont d'environ 10 à 35g chez l'adulte non-fumeur [50, 52]. Le tabagisme constitue un apport important de cadmium (environ 1 g par cigarette) [53]. L'apport de cadmium dans l'eau de boisson est en général inférieur à 0,1 g/l [51].

En milieu professionnel, les situations d'exposition sont constituées surtout par l'exposition à des vapeurs ou des fumées contenant du cadmium, notamment lors de travaux de soudure et de la fabrication de pigments, d'accumulateurs ou lors du découpage d'alliages au cadmium [8].

A l'intérieur de l'organisme, le cadmium s'accumule dans le foie et les os et son élimination est très lente. L'accumulation du Cd dans l'organisme est à l'origine de plusieurs troubles de santé tels que l'insuffisance rénale, les troubles du squelette, et les maladies cardiovasculaires [54].

Le cadmium peut être libéré des alliages intra-oraux chez les patients dentaires et s'accumuler dans les dents et les tissus buccaux, qui sont strictement liés aux métallothionéine. La relation a été trouvée entre le cadmium et l'augmentation de la prévalence de la décomposition. Cependant, il est indiqué que la fixation du cadmium dans les dents après la croissance n'est pas efficace sur les caries [8].

4.6. Sélénium (Se)

Le sélénium est un composant essentiel des enzymes antioxydantes. Les sels de sélénium sont nécessaires à plusieurs fonctions cellulaires du corps humain, mais leur quantité excessive est toxique, il se trouve dans le foie, les reins, les produits de la mer, la viande, les céréales, les produits céréaliers, les produits laitiers, les fruits et les légumes. Il est absorbé par le corps par la nourriture ou l'inhalation [45].

Il serait impliqué dans l'hydroxyapatite synthétique sous forme de Se^{+4} anionique par changement de phosphate avec le sélénite. Il a été découvert que le sélénium entraîne des changements structuraux dans la dentine dentaire et les styles mandibulaires. Une augmentation des caries dentaires est apparue dans le cas de l'apport en sélénium [55].

4.7. Zinc (Zn)

Le rôle du zinc dans le développement des caries dentaires est controversé. Une étude qui a analysé l'existence des éléments traces chez les enfants a révélé que les niveaux de zinc étaient plus élevés chez les enfants présentant plus de caries dentaires. De plus, il a été découvert que la concentration de zinc dans l'émail carieux des dents de lait était plus élevée. Cependant, une autre étude a montré que l'existence de zinc dans la salive diminuait le développement de carie dentaire [8].

Contrairement à ce qui précède, le zinc est ajouté aux produits de santé bucco-dentaire afin de contrôler les plaques, réduire l'halitose (mauvaise haleine) et retarder le développement du tartre. Le zinc libéré par les solutions pour rince-bouche et les dentifrices peut continuer à exister dans la plaque et la salive pendant longtemps. De faibles concentrations de zinc peuvent réduire la déminéralisation de l'émail. Cependant, leur impact anticariogène est toujours controversé. La carence en zinc serait un facteur de risque potentiel pour les patients parodontaux [8].

Chapitre III :

Monographies des éléments étudiés

1. Cuivre

1.1. Généralités

Le cuivre a été déjà exploité vers le Vème millénaire avant Jésus-Christ, c'est le métal le plus ancien que l'homme ait utilisé car on pouvait le trouver dans le sol à l'état presque pur c'est-à-dire à l'état natif, donc ne nécessitait pas de gros travail d'affinage. De petits objets en cuivre apparaissent vers les IXème et VIIème millénaires avant notre ère. L'origine du nom cuivre (en latin : Aes Cyprium) vient de l'île de Chypre qui produisait du cuivre d'une qualité supérieure aux autres [56].

Son alliage avec l'étain donna naissance à une nouvelle ère technologique dite l'âge du bronze, cela à partir de 3500 avant JC. Les boussoles, balances et pièces métalliques à bord des navires étaient en cuivre ou en laiton (alliage de cuivre et de zinc), en raison de leur résistance à la corrosion [56].

1.2. Propriétés physicochimiques

Le cuivre est un élément chimique de symbole Cu et de numéro atomique 29, appartenant à la famille des éléments de transition ou métaux de transition dans la classification périodique des éléments [56].

1.2.1. Propriétés physiques

Les propriétés physiques du cuivre sont rapportées dans le **Tableau 4** :

Tableau 4: les propriétés physiques du cuivre [43].

Symbole	Cu
Densité	8,89 kg/dm ³ .
Température de fusion	1083° C
Température d'ébullition	2305°C
Poids atomique	63,54g/mol
Conductivité	Excellent conducteur de chaleur et d'électricité

C'est un métal facile à travailler due à sa grande malléabilité et sa ductilité même à froid, ainsi que son excellente conductivité électrique qui le rend très utile en électricité [56].

1.2.2. Propriétés chimiques

Le cuivre possède 4 états d'oxydation. Il est à noter que le cuivre (II) est le plus retrouvé dans les systèmes biologiques, et que les composés de cuivre (III) et cuivre (IV) sont très rares. Le cuivre réagit avec l'oxygène de l'air pour former une mince couche d'oxyde de cuivre. Cette couche servira ensuite à protéger le reste du bloc contre la corrosion en masse [57].

1.3. Principales sources

1.3.1. Alimentaire

La teneur en cuivre varie d'un aliment à un autre, elle est importante dans les abats, les crustacés, les escargots, les légumes et les fruits secs (noix et cacahuètes), les champignons et le chocolat [50].

Le **Tableau 5** récapitule les teneurs du cuivre dans différents aliments :

Tableau 5: Teneur des aliments en cuivre [50].

Aliments	Teneur en Cu (µg/g)
Légumes	2.39
Céréales	2.4
Champignons	2.62
Chocolat	2.86
Noisettes	3.7
Foie	18.2
Huître	134
Beurre d'arachide	6.3

Le cuivre, qui sert assez souvent d'additif alimentaire pour le bétail et la volaille, se concentre dans le foie de ces animaux et peut augmenter considérablement l'ingestion de cet élément lorsqu'on consomme ce type d'abats. On ajoute également du cuivre, en proportions relativement élevées, dans le régime alimentaire humain normal et dans certains produits d'alimentation animale qui peuvent être éventuellement consommés par des personnes. Des engrais provenant d'animaux alimentés avec des compléments contenant du cuivre peuvent

entraîner des proportions excessives de ce métal dans les végétaux et dans les graines poussant sur une terre enrichie avec ces engrais [50].

1.3.2. Autres

- ✓ L'administration par voie orale de sels de cuivre est utilisée parfois à des fins thérapeutiques [58].
- ✓ Le cuivre formé par dissolution des fils de cuivre employés dans certains moyens contraceptifs intra-utérins est absorbé par la voie générale [58].
- ✓ Une fraction notable du cuivre provenant de la dissolution de tuyaux utilisés couramment en hémodialyse peut être retenue par l'organisme du patient et entraîner une augmentation notable du cuivre hépatique [58].

1.4. Rôle physiologique

Le cuivre est un micronutriment faisant partie des douze métaux lourds indispensables aux fonctions biologiques normales, reconnu dès 1973 comme oligoélément essentiel par l'OMS. A très faible dose, il est considéré comme élément essentiel chez l'homme et l'animal, et impliqué dans de nombreuses voies métaboliques [59].

Il contribue donc à la synthèse des globules rouges et des enzymes particulières, aux défenses immunitaires, à la minéralisation osseuse, à la régulation des neurotransmetteurs, et intervient aussi dans l'absorption du fer, ainsi qu'un rôle antioxydant, c'est un cofacteur de la superoxyde dismutase (SOD). Il forme aussi une partie de l'enzyme 'imine oxydase' qui est impliquée dans la réticulation du collagène [51].

1.5. Toxicocinétique

1.5.1. Absorption

a) Digestive

Le cuivre est principalement, voire exclusivement absorbé par l'intestin grêle. Le pourcentage d'absorption est élevé, entre 55 et 75 % [53].

Elle se fait à travers la bordure en brosse dans les cellules de la muqueuse intestinale puis vers le liquide interstitiel et le sang, et cela nécessite plusieurs mécanismes :

- ✓ Le transfert à travers la bordure en brosse vers les cellules de la muqueuse se fait probablement par diffusion passive.
- ✓ Pour des taux ingérés normaux de cuivre, le transfert à travers la membrane basale paraît être modulé par la teneur en cuivre et saturable avec un mécanisme dépendant d'énergie.

Une fois dans les cellules de la muqueuse, le cuivre est, pour sa majeure partie, lié aux métallothionéines, qui permettent son transport vers le sang portal. De plus, il existe une compétition de fixation au métallothionéines entre le cuivre et d'autres ions tels que le zinc [53, 60].

b) Cutanée

Généralement le cuivre ne traverse pas la peau sauf dans le cas où il est appliqué à de fortes doses sous la forme d'onguents, ou lorsque l'individu porte un bracelet en cuivre. Seulement quelques microgrammes par jour sont donc absorbés par cette voie dans les conditions normales, mais cela peut devenir significatif. En effet, on a rapporté l'absorption de plus de 13 mg/mois dans le cas de port de bracelet en cuivre, et cela peut entraîner la formation de complexes glycine-cuivre dissous dans la sueur [53, 61].

1.5.2. Distribution

Dans le sang portal, le cuivre se lie principalement à deux protéines plasmatiques : la transcuprine et l'albumine. Bien que l'affinité de la transcuprine pour le cuivre soit nettement supérieure à celle de l'albumine, il existe un échange du cuivre entre ces deux protéines plasmatiques [60].

Le cuivre parvient rapidement au foie, et dans de plus faibles proportions au rein. Une fois dans les hépatocytes, le cuivre se lie à la céruloplasmine protéine qui lui permettra dans un second temps d'être distribué aux différents tissus [60].

50% du cuivre est stocké dans les tissus osseux et les muscles (25% dans les muscles squelettiques), 15% au niveau de la peau, 15% dans la moelle osseuse, 8 à 15% au niveau du foie, et 8% dans le cerveau [62].

1.5.3. Excrétion

La principale voie d'excrétion du cuivre est biliaire, avec une excrétion quotidienne de 2500µg [53].

1.6. Effets du cuivre sur les dents

Le cuivre agit essentiellement au niveau de l'hydroxyapatite contenu dans la dent $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, en substituant l'ion calcium donnant CuHAP (substitution du cuivre qu'est un cation métallique bivalent sur le réseau atomique de l'hydroxyapatite) [63].

Il peut avoir un effet direct sur la déminéralisation de l'émail. Des études ont montré que le Cu^{2+} a un effet inhibiteur direct de la déminéralisation de l'émail par stabilisation de ce dernier [7].

Lorsque la teneur en cuivre augmente, il provoque une réduction des caractéristiques de l'HAP. De plus, le degré de cristallinité, la taille des cristaux et la stabilité thermique du CuHAP diminuent. L'élimination du bio colorant augmente avec l'augmentation du cuivre substitué, ce qui peut être interprété par un effet de compétition entre le colorant organique et les sites de cuivre actifs sur la surface du CuHAP [64].

1.7. Toxicité

1.7.1. Toxicité aiguë

Une irritation gastro-intestinale, rarement grave, peut être observée après qu'une personne a bu une eau carbonatée ou un jus de citron qui s'est trouvé en contact avec des cuves, des conduites ou une robinetterie en cuivre. Ces boissons sont assez acides pour dissoudre le cuivre en quantité suffisante pour provoquer cette irritation. On a rapporté un cas d'ulcère de la cornée et d'irritation de la peau, sans autre effet nocif, chez un travailleur de l'extraction du cuivre qui était tombé dans un bain d'électrolyse, mais l'agent causal était peut-être l'acidité plus que le cuivre. Il arrive qu'on observe une forte concentration de cuivre sérique et des manifestations d'intoxication dans certains cas de recours aux sels de cuivre pour le traitement des brûlures [58].

L'inhalation de poussières, de vapeurs et de brouillards chargés de sels de cuivre peut provoquer la congestion des muqueuses du nez et une ulcération avec perforation de la cloison nasale. Les vapeurs produites par le chauffage du cuivre métallique donnent parfois de la fièvre ou provoquent des nausées, des douleurs gastriques et de la diarrhée [58].

1.7.2. Toxicité chronique

L'intoxication chronique est extrêmement rare chez l'humain ; on ne l'a observée que chez des individus porteurs d'une paire de gènes autosomatiques anormaux récessifs, chez qui se déclare une dégénérescence hépato-lenticulaire (maladie de Wilson). Ce phénomène est rare. Le bol alimentaire quotidien de la plupart des êtres humains renferme de 2 à 5 mg de cuivre, dont l'organisme ne retient presque rien [58].

Quoi qu'il en soit, la toxicité chronique primaire du cuivre (notoire dans les observations faites chez des patients atteints d'une toxicose au cuivre héréditaire — maladie de Wilson — qui se manifeste comme un dysfonctionnement, doublé d'une altération structurelle du foie, du système nerveux central, des reins, du squelette et des yeux) n'a jamais pu être établie chez aucun sujet en dehors des cas de maladie de Wilson. Néanmoins, les dépôts excessifs de cuivre qu'on trouve dans le foie de patients atteints d'une cirrhose biliaire primaire, de choléstase et de cirrhose infantile indienne, peuvent constituer l'un des facteurs contribuant à la gravité des maladies hépatiques qui caractérise ces états [58].

1.8. Valeurs physiologiques

Selon l'OMS 1996, l'intervalle des valeurs physiologiques de cuivre dans le sérum est en moyenne de 800 à 1200 µg/l, Ces valeurs sont plus élevées de 10% chez la femme, soit 1320 µg/l. Au niveau de la dent, la concentration du cuivre varie entre 1 à 16 µg/g [52].

2. Plomb

2.1. Généralités

Le plomb est l'un des métaux qui a été le plus anciennement et le plus largement utilisé par l'homme. C'est l'un des éléments des pigments retrouvés dans les tombes néandertaliennes moustériennes (40 000 ans avant Jésus-Christ) ; il est présent dans des objets décoratifs provenant de sites néolithiques anatoliens, 6 200 ans avant Jésus-Christ ; il était utilisé par les Égyptiens et les Hébreux, 4 000 ans avant Jésus-Christ et les Phéniciens ont commencé à l'extraire en Espagne environ 2 000 ans avant notre ère. Les Grecs et les Romains l'ont employé pour produire des céramiques. C'était le métal utilisé dans toutes les cités romaines pour l'adduction d'eau ; les Romains se servaient aussi de l'acétate de plomb comme édulcorant et conservateur du vin. Au cours des deux derniers millénaires les usages du plomb et de ses dérivés n'ont cessé de se multiplier et de se diversifier [65].

2.2. Propriétés physiques et chimiques

Le plomb est un métal gris bleuâtre malléable. Il en existe quatre isotopes naturels ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb et ^{208}Pb . Leur abondance relative dans la nature est respectivement de 1,48 %, 23,6 %, 22,6 % et 53,6 %, mais leurs proportions dans les matériaux varient, en fonction de la source, ce qui peut être utilisé pour identifier l'origine d'une contamination par le plomb [66].

Les principales propriétés physico-chimiques du plomb sont résumées dans le **Tableau 6**.

Tableau 6: Propriétés physiques et chimiques du plomb [66].

Dénomination	Masse atomique	Point de fusion (°C)	Point d'ébullition (°C)	Solubilité
Plomb (Pb)	207,19	327,5	1740	Insoluble dans l'eau froide, faiblement soluble dans l'eau chaude, soluble dans l'acide nitrique et dans l'acide sulfurique à chaud, faiblement soluble dans l'alcool.

2.3. Principales sources

Le plomb est l'un des éléments les plus toxiques avec des propriétés d'accumulation. Cela peut être dû aux tendances d'industrialisation de la production de pigments, vêtements anticorrosion, fonderies de plomb et batteries provoquant contamination remarquable de l'air, du sol, de l'eau, des aliments, des sédiments ...etc. Par conséquent, la détermination du plomb devient de plus en plus importante [67].

2.3.1. Sources naturelles

Le plomb est assez abondant dans la croûte terrestre où sa concentration moyenne est comprise entre 10 et 20 mg/kg. Les principaux minerais sont la galène (sulfure), la cérussite (carbonate) et l'anglésite (sulfate). Dans le minerai, le plomb est souvent associé à l'argent et au zinc. L'antimoine, l'arsenic, le bismuth et le cuivre sont d'autres éléments fréquemment présents dans les minerais de plomb. Les principales sources de ces minerais sont les émissions volcaniques. La production de plomb peut aussi résulter de la décomposition radioactive de l'uranium, du thorium et du radon, mais c'est une source naturelle mineure de cet élément [66].

2.3.2. Expositions professionnelles

Les principales activités entraînant des expositions professionnelles au plomb, sont la métallurgie du plomb, celle du zinc, la fabrication et la récupération de batteries d'accumulateurs, le découpage au chalumeau de ferrailles peintes, le décapage thermique ou mécanique (par grattage ou par ponçage) de vieilles peintures, la production de cristal, le ciselage ou l'usinage de bronzes au plomb, l'étamage de radiateurs automobiles [65].

L'absorption des vapeurs et des fumées de plomb est essentiellement respiratoire. La pénétration des poussières du métal, de ses oxydes et de ses sels est aussi (et souvent principalement) digestive, par déglutition secondaire des particules de grosses dimensions déposées dans l'arbre respiratoire et secondairement drainées jusqu'au carrefour aérodigestif et surtout par ingestion (consommation de boissons et d'aliments sur le lieu de travail, contamination des mains et activité main-bouche...) [68].

2.3.3. Le plomb dans l'air, l'eau et la poussière

La concentration atmosphérique de plomb peut atteindre 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au voisinage de certaines fonderies. En l'absence de pollution anthropogénique, elle est comprise entre 10 et 100 ng/m^3 .

Dans l'air, le plomb est généralement lié à des particules fines, d'un diamètre aérodynamique inférieur à 1 μm [66].

La concentration de plomb dans les eaux naturelles souterraines et de surface est généralement faible, inférieure à 10 $\mu\text{g/l}$ et souvent à 1 $\mu\text{g/l}$. Les eaux acides ou faiblement minéralisées peuvent s'enrichir en plomb, lors de leur distribution, si le système d'adduction contient des éléments en plomb (tuyaux, soudures, robinetterie, etc.). Ce phénomène a été à l'origine de nombreux cas d'intoxication [69].

La poussière est une importante source d'exposition au plomb de la population générale. Sa teneur en plomb dépend de l'activité industrielle actuelle ou passée du voisinage. Elle est modérément influencée par la circulation automobile de proximité (elle décroît rapidement à distance des routes). Elle est surtout dépendante de la nature de l'habitat [70].

2.4. Toxicocinétique

2.4.1. Absorption

a) Digestive

La principale voie d'absorption du plomb est digestive. Chez l'adulte, en moyenne, seulement 5 à 10 % de la dose ingérée est absorbée. Le passage systémique est beaucoup plus important chez le jeune enfant (40-50 %). Elle s'effectue principalement par un mécanisme de transport actif, et elle est d'autant plus importante que les particules ingérées sont plus solubles et plus petites [65].

L'absorption est fortement augmentée par le jeûne, la carence martiale, les régimes pauvres en calcium et par la vitamine D [65].

b) Cutanée et respiratoire

Le passage transcutané des dérivés inorganiques du plomb est très faible ($< 0,5 \%$), si la peau est intacte. L'absorption des vapeurs de plomb est respiratoire et celle des poussières inhalées est respiratoire et digestive, dont la rétention respiratoire des particules est comprise entre 30-50%, selon leur granulométrie et la ventilation des personnes exposées [65].

2.4.2. Distribution

La distribution du plomb dans l'organisme n'est pas homogène. Elle a fait l'objet de nombreuses modélisations. Les plus généralement admises distinguent trois compartiments, en fonction de leurs cinétiques d'élimination : le sang, les tissus mous et l'os, dont les demi-vies respectives sont de 36 jours, 40 jours et 27 ans [66].

À l'état d'équilibre, le plomb sanguin ne représente que 1 à 2 % de la quantité présente dans l'organisme. Dans le sang, lorsque la Plombémie est inférieure à 400 µg/l, 99 % du plomb se trouve dans les hématies. La fraction plasmatique augmente un peu aux plus fortes concentrations. Les tissus mous contiennent 5 à 10 % de la dose interne et la plus grande partie du plomb biologiquement actif [71].

Chez l'adulte, près de 95 % du plomb présent dans l'organisme est dans l'os. Chez l'enfant, ce compartiment ne représente qu'environ 75 % de la dose interne. Le plomb fixé sur l'os trabéculaire est, comme celui des tissus mous, biologiquement actif et facilement mobilisable. Le plomb lié à l'os compact constitue l'essentiel du plomb osseux ; il ne produit pas d'effet toxique et ses mouvements sont très lents, couplés à ceux du calcium. En conséquence, sa concentration augmente avec l'âge. Il est redistribué, en cas de déplétion des autres compartiments et par tous les phénomènes entraînant une déminéralisation : grossesse, allaitement, ostéoporose, immobilisation prolongée, tumeur osseuse [65].

Le plomb traverse facilement la barrière placentaire. À la naissance, les Plombémies de la mère et de l'enfant sont très voisines [65].

2.4.3. Elimination

L'excrétion du plomb est principalement urinaire (> 75 %) et fécale (15-20 %). Le reste est éliminé dans les phanères, la sueur et les sécrétions bronchiques. La demi-vie d'élimination est très augmentée en cas d'insuffisance rénale. Il existe aussi une excrétion lactée [65].

2.5. Effets du plomb sur les dents

La présence du plomb dans la dent provoque la substitution de l'ion calcium par ce métal. Cette substitution n'est pas homogène dans les deux sites cationiques, le plomb a une nette préférence pour le site (Ca II). Jusqu'à environ 45% de plomb, il remplit presque exclusivement

le site (Ca II) et commence à remplir le site (Ca I) à des contenus plus élevés. En conséquence, la sorption de faible concentration de plomb réduit la taille du domaine cristallin de l'HAP [48].

L'incorporation du plomb dans la structure HAP induit aussi un décalage de la position du groupe OH, qui est plus évident lorsque le contenu en plomb est supérieur à 45% [41].

Les dents ont été largement utilisées comme marqueurs d'exposition à la pollution de l'environnement. Elles sont considérées comme des bons marqueurs biologiques car ce sont des matériaux facilement disponibles et en raison de l'incorporation d'éléments dans la phase minérale des tissus dentaires, il a été démontré aussi que les métaux y compris le plomb sont incorporés dans les tissus dentaires se formant lors de leur exposition, par conséquent, contrairement à l'os, dont la phase minérale est soumise à un renouvellement, une fois formé, les dents fournissent un cumulatif permanent et record d'exposition environnementale relativement stable [1].

2.6. Toxicité

2.6.1. Toxicité aigue

L'intoxication aiguë par le plomb est rare. Elle ne peut résulter que d'une ingestion massive ou d'une administration parentérale. Elle ne doit pas être confondue avec les manifestations paroxystiques de l'intoxication chronique [72].

L'intoxication aiguë évolue en deux phases. De 2 à 48 heures après la prise surviennent des douleurs abdominales, des vomissements et parfois une diarrhée. Ces troubles digestifs sont toujours d'intensité modérée et de brève durée. Ils s'accompagnent d'une hémolyse, d'une cytolyse hépatique et d'une atteinte tubulaire rénale dépendante de la dose : elles sont généralement modérées après une ingestion ; elles peuvent être plus sévères après une administration parentérale. Plus rarement, des arthralgies et/ou des signes d'atteinte neurologique centrale (céphalées, agitation, délire, hallucinations) sont également observés [56].

La plombémie initiale est toujours très élevée. Lorsqu'elle est supérieure à 1000 µg/l le lendemain de la prise, un traitement chélateur est nécessaire, même en l'absence de complication cliniquement ou biologiquement décelable, à ce stade précoce de l'intoxication. En effet, une plombémie aussi élevée indique que la contamination a été assez forte pour qu'en l'absence de traitement, apparaisse progressivement la deuxième phase de l'intoxication

aiguë, une intoxication chronique développée à partir du stock de plomb constitué par une prise unique massive [73].

2.6.2. Toxicité chronique (saturnisme)

Si l'exposition par ingestion prédomine dans la population générale, et l'inhalation en milieu professionnel, ces deux voies sont le plus souvent indiscernables l'une de l'autre. Pour pallier la difficulté qui consiste à identifier ces différentes voies et sources d'exposition, les effets du plomb chez l'Homme sont identifiés à partir de la dose interne de plomb mesurée dans le sang (plombémie) [74].

Certaines des manifestations classiques du saturnisme ne sont pas, à proprement parler, des signes d'intoxication, mais plutôt des indicateurs de l'exposition au métal :

- ✓ Le liseré de Burton est un liseré gingival, bleu ardoisé. Classiquement, il apparaît au collet des dents (mais il est gingival et ne doit pas être confondu avec un banal dépôt de tartre, qui lui se trouve sur la dent), à environ 1 mm du bord libre de la gencive et il a souvent une épaisseur de 1 à 2 mm. C'est au niveau des canines et des incisives qu'il est le plus souvent visible ; les taches de Gubler sont également bleu ardoisé, mais situées sur la muqueuse de la face interne des joues [73].
- ✓ Taches de Gubler et liseré de Burton traduisent la présence de sulfure de plomb dans la salive, qui colore la muqueuse ; ils ne s'observent que chez les individus exposés au plomb et qui ont une mauvaise hygiène buccodentaire [73].
- ✓ Les bandes denses métaphysaires sont, comme leur nom l'indique, des opacités linéaires de la métaphyse des os longs ; elles ne peuvent être observées que chez les enfants, avant la disparition des cartilages de conjugaison. Elles apparaissent alors si la plombémie reste supérieure à 500 ug/l, pendant plusieurs semaines [73].

2.7. Valeurs toxiques du plomb

Le plomb est incorporé et stocké dans des tissus calcifiés, tels que les dents. Une concentration de plomb supérieure à 4 mg / kg dans les dents a été suggéré comme étant une indication de la toxicité du plomb [67].

3. Zinc

3.1. Généralités

Le zinc de symbole « Zn » dans le tableau périodique des éléments compte parmi les oligo-éléments antioxydants. Dans l'organisme, il se trouve principalement au niveau des muscles et des os. En 1934, la diminution des performances de croissance des rats et des souris, induite par la réduction de l'apport alimentaire du zinc a révélé le caractère essentiel de cet élément. Cette observation a été rapportée presque simultanément en Europe et en Amérique. En 1940, le zinc fut identifié dans l'enzyme anhydrase carbonique isolée et purifiée [75].

3.2. Propriétés physiques et chimiques du Zinc

3.2.1. Propriétés physiques

Le zinc (Zn) est un métal de transition, il appartient au groupe 12, de période IV et de bloc d de la classification périodique [76] .

Le Zinc est présent dans la nature sous forme de cinq isotopes : ^{64}Zn , ^{66}Zn , ^{67}Zn , ^{68}Zn et ^{70}Zn , et il est présent très souvent à l'état de traces dans les sulfures naturels où il se substitue au soufre [77].

Les propriétés physiques du Zinc sont résumées dans le **Tableau 7**.

Tableau 7: Propriétés Physiques du Zinc [49].

Symbole	Zn
Numéro atomique	30
Masse atomique	65.38
point de fusion	420 ° C
Point d'ébullition	907 ° C

3.2.2. Propriétés chimiques

A température ordinaire et en atmosphère parfaitement sèche, le zinc pur est stable, en présence d'humidité, la poudre de zinc peut s'enflammer spontanément. Cette poudre de zinc peut également réagir de manière explosive avec divers produits tels que le soufre, fluorures, chlorures, chlorates, nitrate de potassium ...etc. Lorsqu'il est chauffé à des températures très élevées, il brûle dans l'air en émettant des fumées bleu-verdâtre d'oxyde de zinc [78].

Le zinc réagit lentement avec l'ammoniaque et l'acide acétique, plus rapidement avec l'acide nitrique (avec formation d'oxyde d'azote et parfois d'azote). Il peut également être attaqué lentement par l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique dilués avec dégagement d'hydrogène : la réaction est favorisée par la présence d'impuretés dans le métal tel que le cuivre, le fer, le nickel... Enfin, il est sensible à la plupart des substances organiques, à conditions que celles-ci soient exemptes d'acidité et d'humidité [78].

3.3. Principales sources

L'alimentation constitue la principale source de zinc, avec seulement une faible partie provenant de l'eau potable. Les principales sources alimentaires sont essentiellement la viande rouge, les poissons, les fruits de mer, les produits laitiers, la volaille et les céréales [62].

La teneur en zinc est variable selon le type de viande. Par exemple, la viande rouge est plus riche en cet élément que la viande blanche [62].

Le **Tableau 8** illustre la variation de cette teneur :

Tableau 8 : La teneur en zinc selon l'aliment [62].

Viande	2-8 mg /100g
Poissons et fruits de mer	+ 1.5 mg /100g
Œufs	1,3 mg/ 100g
Produits laitiers	0.3-0.5 mg/100g
Huîtres	1mg/g du poids humide

Aussi, les eaux de distribution sont généralement plus riches en zinc que les eaux de source [62].

Les aliments d'origine végétale sont de moins bonnes sources de zinc car le zinc qu'ils contiennent est moins disponible pour l'absorption digestive, du fait de la présence de phytates (hexaphosphate d'inositol), mais aussi de divers agents chélateurs comme hémicelluloses ou polypeptides. En pratique les aliments qui s'opposent à l'absorption du zinc sont : pain complet, germes de soja, maïs [79].

Les légumineuses comme le blé en contiennent 1,5-5 mg/100 g, mais après traitement industriel, on ne retrouve que 0,12 mg/100 g dans le pain blanc [79, 80].

3.4. Rôle physiologique

Le zinc intervient dans les grandes voies métaboliques, grâce à son rôle dans les systèmes enzymatiques : soit en faisant partie intégrante du site actif de nombreuses enzymes, soit comme cofacteur régulant l'activité des enzymes dites enzymes dépendantes, soit en ayant un rôle structural propre [79].

Ainsi Le zinc joue un rôle important dans la croissance et la multiplication cellulaire, dans la cicatrisation et l'intégrité cutanée, dans le métabolisme osseux, dans la reproduction et la fertilité, dans l'immunité, dans l'inflammation, dans la protection contre les radicaux libres, dans les fonctions sensorielles et le comportement alimentaire, et dans le fonctionnement cérébral [79].

Le squelette est un important lieu de stockage du zinc car il contient 30 % du zinc de l'organisme. Le zinc joue un rôle important dans le métabolisme osseux en tant que cofacteur de métalloenzymes impliquées dans l'activité osseuse, comme la phosphatase alcaline nécessaire à la calcification et la collagénase nécessaire à la résorption et au remodelage osseux. Le zinc interagit avec des hormones impliquées dans la croissance osseuse (somatomédine C, testostérone, hormones thyroïdiennes et l'insuline). Des retards de croissance et de la maturation sexuelle sont bien décrits dans les populations vivant dans des régions où les sols sont carencés en zinc. Le rôle du zinc dans la réplication et son rôle structural au sein de l'hormone de croissance pourrait expliquer les retards de croissance observés en cas de déficits en zinc, mais le bénéfice des suppléments reste controversé. La zincurie est plus élevée en cas d'ostéoporose et pourrait constituer un marqueur de la résorption osseuse, puisque le zinc du squelette est en grande partie localisé à la surface des cristaux d'hydroxyapatite. Une corrélation significative entre le niveau d'apport en zinc et la densité osseuse ou les marqueurs

de résorption osseuse est décrite chez l'adulte et chez des enfants, ce qui suggère que le zinc serait nécessaire pour optimiser l'acquisition et le maintien de la masse osseuse [79].

3.5. Toxicocinétique

3.5.1. Absorption

a) Digestive

L'absorption de zinc dans une alimentation normale varie de 26 à 33% lorsqu'elle est prise avec de la nourriture, mais elle est plus élevée (68 à 81%) en cas de jeûne. Il est principalement absorbé dans l'intestin grêle. Il semble être absorbé à la fois par diffusion passive et par un processus à médiation par support saturable (plus important à de faibles niveaux de zinc et implique une protéine intestinale saturable riche en cystéine (CRIP) [81].

Plusieurs facteurs alimentaires peuvent influencer l'absorption du zinc, y compris d'autres oligo-éléments (le cuivre, le fer, le plomb, le calcium, le cadmium, le cobalt), les acides aminés, les glucides simples et complexes et les protéines [81].

Des niveaux élevés de phytate ou de phosphate dans l'alimentation peuvent diminuer la quantité de zinc absorbée. En général, les substances de faible poids moléculaire, comme les acides aminés, augmentent l'absorption du zinc. L'imidazole, le tryptophane, la proline et la cystéine augmente l'absorption du zinc dans diverses régions du tractus gastro-intestinal [81].

b) Pulmonaire

Des études menées à Washington ont démontré que le niveau de zinc dans l'urine et le sang des travailleurs exposés aux vapeurs d'oxyde de zinc, est plus élevé par rapport aux travailleurs non exposés. Bien que cette étude n'ait pas estimé l'efficacité d'absorption du zinc, elle fournit des preuves que le zinc est absorbé après une exposition par inhalation. De même, la fraction du zinc est élevée dans la vésicule biliaire, les reins et le pancréas lors de l'exposition à l'oxyde de zinc en suspension dans l'air [81].

3.5.2. Distribution

Chez l'homme, les concentrations les plus élevées de zinc ont été trouvées dans les os, les muscles, la prostate, le foie et les reins. Moins de 10% du zinc total du corps est facilement échangé avec le plasma et la plus grande partie provient du lent échange de zinc situé dans les

os et les muscles. Dans le sang, le zinc se trouve dans le plasma, les érythrocytes, les leucocytes et les plaquettes. Environ 98% du zinc sérique est lié aux protéines ; 85% sont liés à l'albumine, 12% à la alpha2-macroglobuline et le reste aux acides aminés [81].

3.5.3. Métabolisme

Le zinc est un élément métallique qui se trouve dans le corps sous forme de cation bivalent. En conséquence, il ne subit pas de métabolisme. Il interagit électrostatiquement avec les anions (carbonate, hydroxyde, oxalate, phytate) et les fragments chargés négativement sur les macromolécules telles que les protéines. Il peut également former des complexes de chélation solubles avec des acides aminés et des acides organiques [81].

3.5.4. Elimination

Après une exposition par voie orale, le zinc est principalement excrété par le tractus gastro-intestinal et éliminé dans les selles (environ 70 à 80% de la dose ingérée). Le zinc est également excrété dans l'urine. Chez l'homme, environ 14% du zinc éliminé était excrété dans l'urine ; lorsque l'apport en zinc était augmenté, l'excrétion urinaire représentait 25% du zinc éliminé. D'autres voies mineures d'élimination sont la sueur, la sécrétion de salive et l'incorporation dans les cheveux [81].

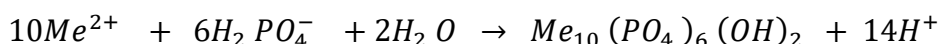
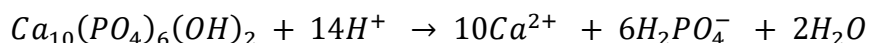
La vitesse à laquelle le zinc est excrété dépend à la fois de l'apport actuel en zinc et de l'apport passé en zinc, probablement via un effet sur les réserves corporelles. L'âge affecte également la vitesse à laquelle le zinc est excrété [81].

3.6. Effet du zinc sur les dents

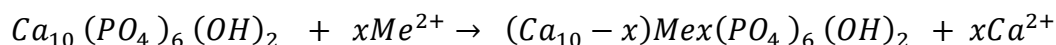
Le mécanisme exact par lequel les cations divalents réduisent la dissolution de l'émail a été un sujet de controverse car l'absorption d'ions par HAp de la solution peut se produire par deux méthodes [82]:

- ✓ Méthode 1 : Lorsque l'HAp se dissout dans l'environnement acide, des phosphates sont libérés.

Les phosphates peuvent réagir avec les cations métalliques dans la solution pour former de nouveaux cristaux de phosphate de métal divalent (Me) avec une structure apatitique qui précipite selon l'équation :



✓ Méthode 2 : Cela implique que les ions du Ca_2^+ soit remplacé par le cation métallique divalent par un processus de diffusion et adsorbé sur la surface



Le zinc pourrait être incorporé dans le réseau HAp formant de nouveaux cristaux de phosphate de zinc qui précipitent [82].

À des concentrations de zinc ≥ 1 ppm, le zinc est incorporé dans le réseau HAp formant une couche d'hopeite ($Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$) à la surface. Il se forme généralement à faible pH. Lorsque le pH augmente, d'autres formes des structures apatitiques telles que la scholzite ($CaZn_2(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$) et la zincite (ZnO) sont formé [82].

Lorsque Zn^{2+} occupe le site de Ca_2 , il en résulte un rétrécissement global et augmentation de la stabilité. La préférence de site Ca_2 est dans le cas de HAp pur, mais dans l'apatite biologique lorsqu'il y a une concentration particulièrement élevée de carbonate (CO_3^{2-}) et qui peut aussi être Carence en Ca^{2+} ce qui est le cas dans les dents, cela pourrait influencer l'adsorption de Zn^{2+} et son site liant [82].

Le mécanisme par lequel le zinc affecte le taux de déminéralisation de l'hydroxyapatite, il semble que les deux, l'adsorption et l'incorporation ne sont pas mutuellement exclusives et il est probable que les deux mécanismes sont impliqués dans la réduction de la solubilité de HAp en présence de Zn^{2+} , à un plus ou moins grande [82].

La **Figure 5** schématise la structure du HAp dopé au Zn. Où le jaune, bleu, rouge, noir, vert et gris se réfèrent au site calcium1, site calcium2, oxygène, groupes hydrogène, zinc et phosphate respectivement.

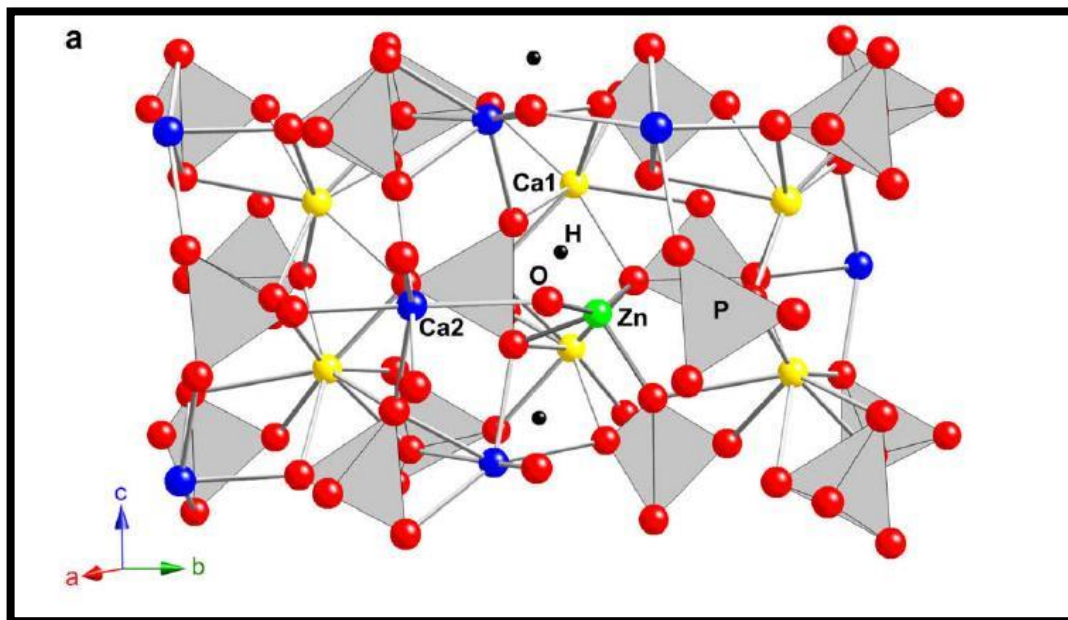


Figure 5: Dessin schématique de la structure du HAp dopé au Zn [83].

3.7. Toxicité

3.7.1. Toxicité aigue

Le zinc, sous sa forme métallique, présente une faible toxicité par inhalation et par voie orale. Par contre, certains composés du zinc sont responsables d'effet délétères chez l'homme et l'animal. La plupart des cas sont la conséquence d'un empoisonnement alimentaire ou d'un environnement industriel pollué [84].

3.7.2. Toxicité chronique

On connaît peu de choses sur la toxicité à long terme du zinc par inhalation. Il a été rapporté que des travailleurs dans la métallurgie présentaient une fréquence plus élevée de problèmes gastro-intestinaux. Toutefois, ces individus avaient pu être exposés à d'autres composés chimiques. Par contre, des travailleurs ayant été exposés entre 2 à 35 ans à des concentrations inférieures à 130 mg Zn/m^3 , ne présentaient qu'un léger dérangement abdominal occasionnel [85].

3.8. Valeurs physiologiques

Le contenu total en zinc de l'organisme est estimé de façon variable selon les auteurs, des chiffres de 1,6 g à 2,5 g (0,01% du poids corporel). Le zinc est ainsi le deuxième oligo-élément

le plus abondant après le fer. Le zinc est présent en quantités relativement élevées dans le muscle (60 %) et le squelette (30 %), foie, rein, sang (une petite réserve, 2,5 % du zinc de l'organisme) [80].

Selon les données de la littérature, la concentration du zinc dans la dent varie entre 70 à 3500 µg/g, qui dépendent du type de la dent, l'âge du patient et de la situation sociogéographique [52].

La dose quotidienne du Zinc dépend non seulement de la nourriture mais également du sexe, de l'âge et de l'état de santé générale de la personne. Les nourrissons en période de croissance, les enfants, les adolescents, les femmes enceintes et l'allaitement (augmentation des besoins), les personnes âgées ont une demande accrue en zinc et présentent des risques de carence plus importants [62].

Chapitre IV :

Techniques de dosage des métaux

1. Spectrométrie d'absorption atomique

L'absorption atomique est un processus qui se produit lorsqu'un atome appartenant à l'état fondamental passe à l'état excité par l'absorption d'une énergie, sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, qui correspond à une longueur d'onde spécifique. Le spectre d'absorption atomique d'un élément est constitué d'une série de raies de résonance, tous originaires de l'état électronique fondamentale et finissent dans différents états excités. En général, la raie de la transition entre l'état fondamental et le premier état excité définit la plus forte capacité d'absorption, et c'est la raie habituellement utilisée [86].

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 est dans des conditions déterminées, fonction de la concentration de l'élément à doser [86].

La mesure de l'intensité lumineuse avant et après le passage dans vapeur atomique permet de déterminer le pourcentage d'absorption selon la loi de Beer-Lambert [86].

Par ailleurs, la loi de Beer-Lambert établit une relation directe entre l'absorbance d'un échantillon et la concentration de l'élément recherché :

$$A = k.l.C$$

Avec :

k : coefficient d'absorption spécifique de l'élément à doser.

l : trajet optique (cm).

C : concentration ($\text{mole} \cdot \text{L}^{-1}$). Il suffit de tracer une courbe d'étalonnage à l'aide des solutions de concentrations connues de même élément, une simple interpolation permet de connaître C [86].

1.1. Spectrométrie d'absorption atomique à flamme (SAAF)

C'est une technique de dosage mono-élémentaire des métaux de l'ordre de ppm (partie par million), qui fonctionne en introduisant l'échantillon dans une flamme à 2500°C où il est dissocié en ses atomes constitutifs. Le rayonnement électromagnétique dans la partie UV/Visible du spectre est dirigé à travers la flamme et est partiellement absorbé d'une manière

caractéristique des atomes présents. Elle peut être utilisée pour l'analyse d'échantillons liquides uniquement et des volumes d'échantillons relativement importants sont nécessaires [87].

Cependant, certains éléments réfractaires ne peuvent pas être déterminés avec une bonne sensibilité car les températures de flamme ne sont souvent pas assez chaudes pour induire une atomisation complète [87].

1.2. Spectrométrie d'absorption atomique par four graphite (SAA-FG)

Elle est aussi nommée **spectrométrie d'absorption atomique électrothermique (ETAAS)** est une technique analytique utilisée pour l'analyse qualitative et quantitative de presque tous les métaux, les métalloïdes et certains non-métaux de l'ordre de ppb (parties par billion). Elle se distingue du FAAS par l'utilisation de températures d'atomisation beaucoup plus élevées (jusqu'à 3270°C) [87].

Des quantités relativement faibles d'échantillons solides et liquides peuvent être analysées et de nombreuses interférences dont souffrait GF-AAS, principalement associées à la matrice de l'échantillon, peuvent désormais être surmontées grâce à une combinaison de correction de fond et de matrice [87].

2. Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS)

Les techniques analytiques à plasma induit (ICP, abréviation de l'anglais « *Inductively Coupled Plasma* ») peuvent mesurer quantitativement la teneur en éléments d'un matériau, dans une fourchette allant du ppt (partie par trillion) au pourcentage massique [88].

Une fois l'échantillon mis en solution, il est ensuite vaporisé au cœur d'un plasma induit d'argon, qui peut atteindre des températures de 8000°C où il subit une atomisation, une ionisation et une excitation thermique. L'unité génère un champ électrique dépendant du temps, capable de focaliser des ions sur le détecteur de comptage d'impulsions. Les balayages successifs sont stockés en mémoire et développés pour former le spectre final [88].

La technique est coûteuse même après plusieurs années de développement mais offre les meilleures caractéristiques de toutes les spectrométries atomiques en termes de sensibilité, de LOD, de débit et de mesure multi-éléments [87].

- ✓ Grâce à l'utilisation d'un gaz rare, **le milieu est chimiquement inerte** (il n'y a donc pas de formation de composés intermédiaires stables dans le plasma) et le spectre de source est monoatomique [86].
- ✓ La température élevée de la décharge (de l'ordre de 5000 K) en liaison avec un temps de séjour important (dû à des vitesses de gaz lentes, de l'ordre de quelques mètres par seconde) permet une **bonne efficacité d'atomisation** [86].
- ✓ Du fait de l'utilisation de l'argon (énergie d'ionisation suffisamment élevée : 15,76 eV) et des mécanismes possibles d'ionisation et d'excitation, il est possible de **déterminer environ 70 éléments** de la classification périodique (analyse multi-élémentaire) [86].
- ✓ Le **niveau des interférences physico-chimiques** (effets de matrice, effets inter-éléments) est très faible comparé aux autres méthodes [86].
- ✓ Les **limites de détection** obtenues sont meilleures que celles fournies par la spectrométrie d'absorption atomique avec flamme [86].

Partie pratique

Chapitre I :

Matériel et méthodes

1. Présentation de l'étude

Notre étude est une étude descriptive. On s'est intéressé à la présence et aux teneurs de trois éléments métalliques (Pb, Cu, Zn) dans les dents de la population de Tizi-Ouzou d'une part et à déterminer s'il existait une relation entre l'érosion dentaire et la présence d'éléments traces dans les dents d'une autre part.

La récolte des échantillons (dents) a été menée durant la période allant de Février à Mars 2021, de façon aléatoire dans différents cabinets dentaires publics et privés de différentes régions de la wilaya de Tizi-Ouzou.

La collecte vise à diversifier autant que possible la population de l'étude selon :

- ✓ Le type d'habitation : Urbaine ou rural ;
- ✓ Age et sexe ;
- ✓ La profession ;
- ✓ Type d'eau consommée (eau minérale, eau de source, eau de robinet) ;
- ✓ Le régime alimentaire ; etc...

2 Matériels

2.1. Recueil d'informations (Questionnaire)

Le recueil des informations sur les patients ayant fourni des échantillons de dents a été réalisé à l'aide d'un questionnaire (**Annexe I**) relatif aux principaux facteurs étiologiques de l'érosion dentaire et ceux influençant la concentration des métaux dans les dents.

Le questionnaire permet en particulier d'avoir les informations suivantes :

- ✓ Quantité et la fréquence de la consommation des aliments et boissons acides ;
- ✓ Type d'eau consommée ;
- ✓ Type d'habitation ;
- ✓ Profession de l'individu ;
- ✓ Prise ou non de médicaments et de compléments alimentaires ;
- ✓ Pratiques d'hygiène bucco-dentaire ;

- ✓ Présente ou pas une maladie sous-jacente;

2.2. Matériel de laboratoire

➤ Consommable

- ✓ Embouts;
- ✓ Compresses;
- ✓ gants;

➤ Non consommable

- ✓ Purificateur (**Human Power 1 Scholar**®);
- ✓ Séchoir pour la verrerie et les échantillons (les dents) ;
- ✓ Fioles jaugées en verre de différents volumes;
- ✓ Epprouvettes de différents volumes;
- ✓ Bêchers de différents volumes;
- ✓ Tubes secs;
- ✓ Micropipettes de précision automatique (**DRAGONLAB**®);
- ✓ Plaque chauffante;
- ✓ Agitateur;
- ✓ Balance (**KERN & Sohn GmbH**®) ;
- ✓ pH mètre (**HANNA Instruments**®) ;
- ✓ Centrifugeuse;
- ✓ Pissettes;

Pour éviter la contamination des échantillons, toute la verrerie de laboratoire a été décontaminée au préalable avec une solution détergente puis rincée avec 10% d'acide nitrique, puis rincé à l'eau déminéralisée avant utilisation, suivant le protocole de décontamination mentionné dans l'Annexe II.

3. Réactifs

- ✓ Eau oxygénée (H_2O_2) diluée à 10%;
- ✓ Acide nitrique (HNO_3) supra pur à 65% (**SIGMA-ALDRICH**®);

- ✓ Acide perchlorique à 70% (**SIGMA-ALDRICH®**);
- ✓ Solution stock de plomb 1g/l. (**Tritisol®, MERCK**) ;
- ✓ Solution stock de cuivre 1g/l. (**Tritisol®, MERCK**) ;
- ✓ Solution stock de zinc 1g/l. (**Tritisol®, MERCK**) ;
- ✓ Boissons : café, boisson gazeuse (Coca-Cola®), boisson énergétique (TNT®);

4. Appareillage

- ✓ Spectrophotomètre d'absorption atomique flamme **Shimadzu AA-6200 (Figure 6)** ;
- ✓ Lampe de type HCL (Hollow cathod Lamp) spécifiques pour le plomb, le cuivre et le zinc (**HAMAMATSU PHOTONICS K.K.**) (**Figure 7**) ;
- ✓ Une bouteille de gaz acétylène PHYWE SYSTEME GMBH & Co. KG ;
- ✓ Compresseur d'air (**JUN-AIR**) ;
- ✓ Logiciel d'acquisition, de pilotage et de traitement de données **WizAard** ;



Figure 6: Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme (Shimadzu AA-6200).



Figure 7 : Lampe de type HCL (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.).

5. Méthodes

5.1. Etape pré-analytique

5.1.1. Recueil des échantillons et informations

Au total, 75 dents ont été collectées dans les communes suivantes : Boghni, Draa Ben Khedda, Draa El Mizan et Makouda.

Nous avons attribué à chaque échantillon un code d'identification composé d'une lettre correspondant à la région d'où on a récupéré la dent (**A pour draa el mizane, B pour la commune de Boghni, C pour Maakouda et D pour la région draa ben khedda**) suivie d'un chiffre correspondant au numéro d'ordre de la dent.

Parmi les patients, 15 ont fourni 2 dents. Nous avons attribué le même code correspondant au même patient suivi d'un chiffre (1 ou 2) permettant de différencier ses 2 dents.

Ainsi, 15 dents portant un code suivi du chiffre « 1 » ont été utilisées pour l'étude de l'érosion dentaire (Ex : **A10-1**), et 15 autres dents portant un code suivi du chiffre « 2 » ont été utilisées pour le dosage des éléments traces (Ex : **A10-2**).

Les 45 dents restantes appartenant toutes à des patients distincts, portant un code simple qui n'est suivi d'aucun chiffre ont toutes été utilisées pour le dosage des éléments traces (Ex : **A04**).

5.1.2. Traitement des échantillons

Chaque échantillon doit être propre et dépourvu de toute matière organique ou susceptible d'affecter l'essai. Pour cela chaque dent a été trempée dans une solution à 10% (v/v) de peroxyde d'hydrogène pendant 1 heure, rincée à l'eau déminéralisée puis séchée dans le séchoir pour éviter toute souillure puis pesée comme il est montré dans la **Figure 8**.

Le code des dents ainsi que leurs poids sont mentionnés dans le **Tableau 9** :

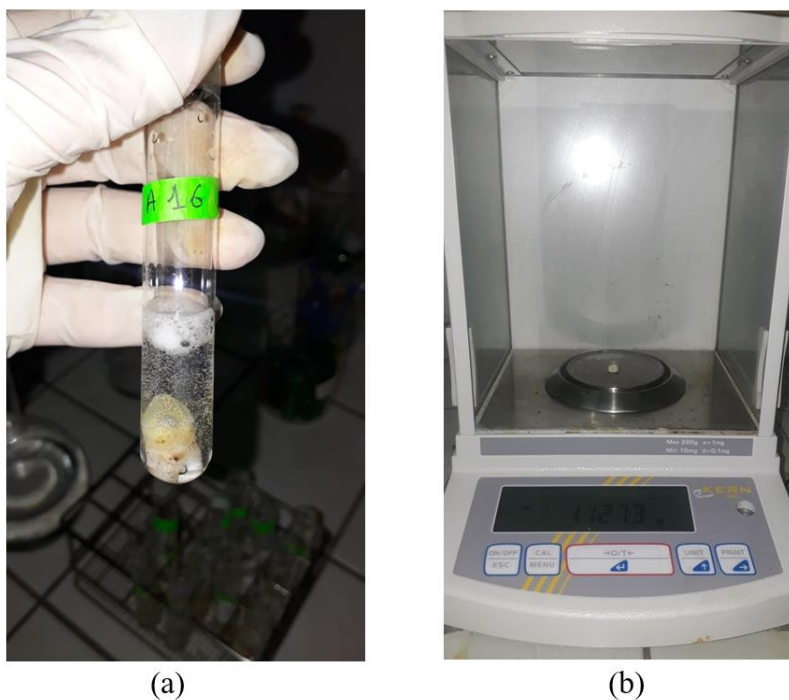


Figure 8 : Traitement des échantillons.

Avec (a) immersion de la dent dans l'eau oxygénée, (b) pesée d'une dent.

Tableau 9 : Liste des dents et leurs poids.

Code de La dent	Le poids (g)	Code de La dent	Le poids(g)
A01-1	1,3326	B31	0.6468
A01-2	0.8543	B32	0.9964
A02	1.7425	B33	0.9458
A03	2.2614	C34-1	0,7523
A04	0.9262	C34-2	0.7266
A05-1	0,4650	C35	0.3952
A05-2	0.5516	C36	0.9098
A06-1	0,8556	C37	2.6355
A06-2	0.8902	C38	0.6787
A07	0.7115	C39	1.1246
A08	0.7923	C40-1	1,2998
A09	1.0511	C40-2	0.5300
A10-1	0,8140	C41-1	0,7928
A10-2	0.7948	C41-2	0.8975
A11	1.1544	C42	0.866
A12	1.4570	C43-1	0.4842
A13	1.8608		

		C43-2	0,4509
A14	0.5632	C44	0.6855
A15	1.2414	C45-1	0,8902
		C45-2	1.2634
A16	1.4446	C46-1	1,8325
		C46-2	2.6285
A17	1.5562	C47-1	1,0718
		C47-2	1.2724
B18	1.8210	C48	1.0358
B19	1.0387	D49	1.2254
B20	0.4338	D50	0.887
B21	2.1289	D51	1.9263
B22	1.6817	D52	2.1429
B23-1	2,8589	D53	2.1882
B23-2	1.496		
B24	0.5166	D54	1.7785
B25	1.0668	D55	1.8655
B26-1	0,5532	D56-1	0,5948
B26-2	0.7286	D56-2	2.2515
B27	0.9154	D57	1.9214
B28	0.6125	D58-1	1,1719
		D58-2	1.3614
B29	1.1108	D59	2.1565
B30	0.4814	D60	2.1156

5.2. Phase analytique

5.2.1. Test d'érosion dentaire

Cinq dents sèches ont été immergées dans chacune des 3 boissons testées pendant 15 jours avec une agitation continue pendant l'immersion. Au cours des 3, 6, 9, 12 et 15^{ème} jours les 15 dents sont séchées puis pesées pour déterminer la perte de poids.

5.2.2. Détermination des éléments traces métalliques par SAAF

Les 60 dents restantes ont été traitées et déminéralisées en utilisant 4ml d'acide nitrique à 70 % et 3ml d'acide perchlorique à 70%. Le mélange a été chauffé sous une hotte sur une plaque chauffante afin d'accélérer la réaction jusqu'à ce qu'un liquide transparent soit produit. Par la suite, le volume est ajusté avec de l'eau déminéralisée jusqu'à 10 mL.

Les dents placées sur plaque chauffante ainsi que leurs aspects après déminéralisation sont démontrées dans les **Figures 9 et 10**.



Figure 9: Les dents placées sur plaque chauffante.

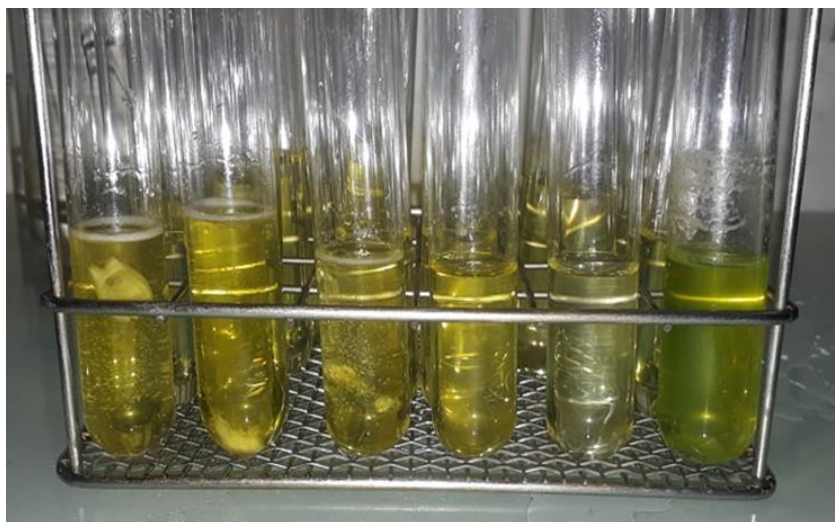


Figure 10 : Aspect des dents après déminéralisation.

a) Principe de fonctionnement de la SAA

La solution contenant l'élément à doser est aspirée à travers un capillaire et dirigée vers le nébuliseur. Elle est ensuite pulvérisée à très grande vitesse à travers une chambre où s'éliminent les grosses gouttes grâce à une bille brise-jet. La solution ainsi vaporisée est entraînée par le combustible à travers le brûleur à la sortie duquel a lieu la combustion.

Après dissociation thermique dans la flamme, les radiations incidentes qui sont fournies par une lampe à cathode creuse qui émet le spectre de l'élément que l'on veut doser sont absorbées. La mesure de cette absorption permet de déterminer la concentration de l'élément à doser [89].

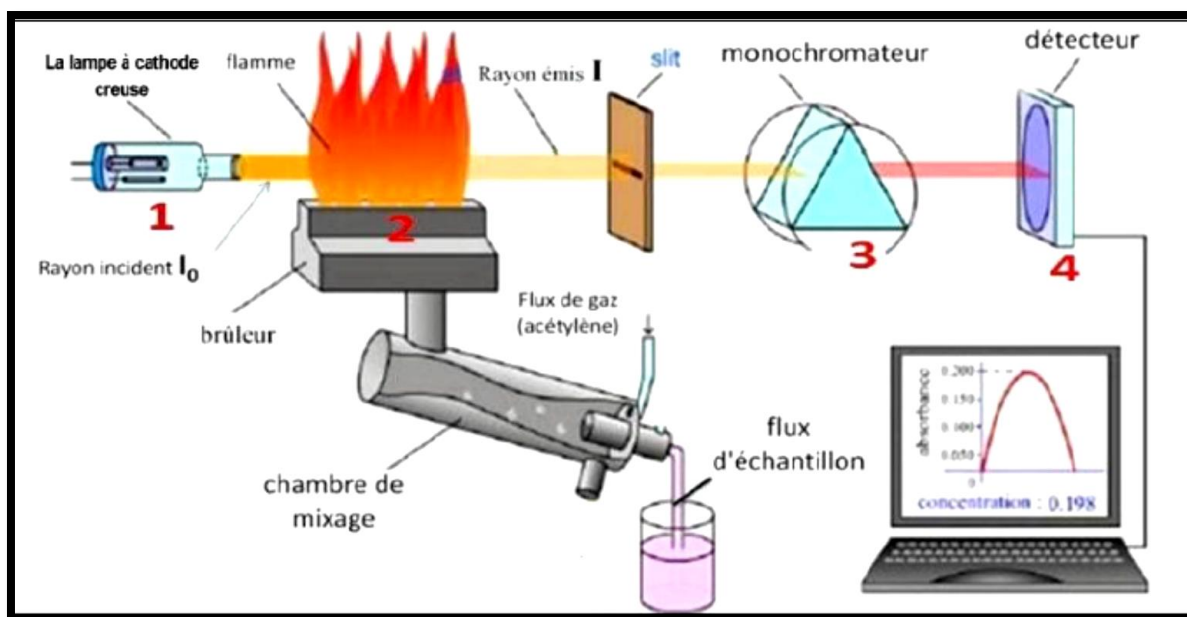


Figure 11: Dispositif expérimental de la spectroscopie d'absorption atomique avec flamme

b) Conditions opératoires

Type de lampe	Lampe à cathode creuse (HCL)
Mode de lampe	BGC-D ₂
Longueur d'onde émise par la lampe	- Lampe au plomb, réglée à 283,3 nm. - Lampe au cadmium, réglée à 228,8 nm
Largeur de la fente	0.7 nm
Débit de carburant	2-3 L/min
Débit de l'air	8.0 L/min
Type de flamme	Air-Acétylène

c) Mise au point des conditions opératoires

Les principales étapes à suivre afin de mettre au point les conditions opératoires au niveau de l'appareil d'analyse sont comme suit :

- Allumer l'appareil
- Ouvrir la bouteille d'acétylène.
- Allumer et purger le compresseur d'air.
- Activer le logiciel WizAArd.
- Ouvrir ou créer une méthode pour l'élément à doser :
 - Sélectionner l'élément
 - Connecter l'appareil
 - Suivre les instructions du logiciel pour vérifier les éléments suivants avant d'allumer la flamme :
 - Vérifier le reste du gaz combustible et du gaz de support (la bouteille d'acétylène doit être remplacée par une nouvelle si la pression primaire est inférieure à 0,5 MPa)
 - Vérifier la pression d'alimentation en gaz (pression de gaz requise pendant la combustion: carburant 0.09MPa, support 0.35MPa)
 - Vérifier que la fente du brûleur n'est pas obstruée (vérifier également l'intérieur de la tête du brûleur)
 - Remplir le tube en U avec de l'eau et vérifier que l'extrémité du tuyau de vidange dans le récipient de vidange n'est pas dans l'eau
 - Vérifier le débit de gaz en appuyant sur le bouton de purge dans les 5 secondes :
 - Carburant (FUEL) : 2 à 3 ; OXYDANT : 8

Une fois tous ces paramètres vérifiés, on allume la flamme afin de procéder à la validation des techniques analytiques et à l'analyse des échantillons proprement dite.

6. Validation analytique des techniques d'analyse

6.1. Définition et Objectif de la validation analytique

La validation se définit comme la confirmation par examen et l'apport de preuves objectives du fait que les prescriptions particulières en vue d'une utilisation prévue déterminée sont remplies [90].

La validation d'une méthode analytique par laquelle on démontre, preuves expérimentales à l'appui, que les performances de la méthode permettent de répondre aux exigences de l'usage auquel elle est destinée. Elle permet de garantir que chaque mesure qui doit être réalisée en routine est comprise dans une limite d'acceptation appropriée au type de procédure analytique et au produit concerné. Il faut donc définir correctement à la fois les conditions et le but dans lesquels la méthode sera utilisée [90].

Les objectifs de la validation ne sont pas seulement d'obtenir une estimation de la justesse, du biais ou de la fidélité de la méthode, mais aussi d'évaluer le risque statistique lié à son utilisation, qui peut être exprimé par l'incertitude de mesure associée au résultat [91].

6.2. Validation analytique par profil d'exactitude

La démarche de validation utilisée dans ce travail est celle du protocole SFSTP 2003-2006 basée sur le profil d'exactitude. Cette méthode est un outil de décision qui a été développée par une commission de la SFSTP (SFSTP 2003 et 2006), pour pallier aux faiblesses des guides de validation précédents [75].

Dans définition le terme « suffisamment proche » impose en premier lieu de choisir la limite d'acceptabilité entre le résultat obtenu par la méthode d'analyse et la valeur de référence acceptée comme valeur vraie [75].

La limite d'acceptabilité est fixée en fonction des exigences réglementaires, et en fonction des performances de la méthode, en particulier de son incertitude. Cette limite d'acceptabilité est de 1% à 2% pour le dosage d'une substance active dans une matière première et de 5% pour le dosage d'une substance active dans un produit fini. Il est généralement admis qu'elle est de 15% pour le dosage de substance active dans des produits biologiques [92].

6.3. Critères de validation analytique

Les principaux critères de validation analytique sont résumés dans le **Tableau 10 [93]**.

Tableau 10 : Principaux critères de validation [93].

CRITERES	DEFINITIONS
LINEARITE	La capacité d'une procédure d'analyse à donner des résultats qui sont directement (à l'intérieur de certaines limites) proportionnels à la concentration (quantité) de la substance analysée dans un échantillon.
JUSTESSE	Exprime l'étroitesse de l'accord entre la valeur moyenne obtenue à partir d'une série de résultats d'essais et une valeur qui est acceptée soit comme une valeur conventionnellement vraie, soit comme une valeur de référence acceptée.
FIDELITE	Exprime l'étroitesse de l'accord entre une série de mesure provenant de multiples prises d'un même échantillon homogène (résultats d'essais indépendants) dans des conditions prescrites. Elle peut être évaluée à trois niveaux : La répétabilité : exprime la fidélité sous des conditions opératoires identiques et sur un intervalle de temps (aussi désignée par : précision intra-analyse). La fidélité intermédiaire : exprime les variations intra-laboratoires : jours différents, analystes différents, équipements différents... La reproductibilité : exprime la fidélité inter-laboratoires.
EXACTITUDE	Exprime l'étroitesse de l'accord entre le résultat d'essai et la valeur de référence acceptée, aussi appelée « valeur conventionnellement vraie ». L'étroitesse de l'accord ainsi observée est la résultante de la somme des erreurs systématiques et aléatoires. Par conséquent,

	l'exactitude est l'expression de la somme de la justesse et de la fidélité.
LIMITE DE DETECTION	La plus faible quantité de la substance analysée que la méthode permet de détecter, mais non quantifiée comme valeur exacte dans les conditions expérimentales décrites de la procédure.
LIMITE DE QUANTIFICATION	La plus petite quantité de l'analyte dans un échantillon pouvant être dosée dans les conditions expérimentales décrites avec une exactitude définie.
DOMAINE DE MESURE	Intervalle entre la concentration (quantité) la plus élevée et la concentration (quantité) la plus faible de la substance analysée dont on a démontré qu'elles pouvaient être déterminées avec un degré acceptable de précision, d'exactitude et de linéarité.
FONCTION DE REPONSE	Elle traduit, à l'intérieur de l'intervalle de dosage, la relation existante entre la réponse (signal) et la concentration (quantité) en substance à examiner dans l'échantillon. La fonction de réponse monotone la plus simple qui exprime cette relation est appelée « courbe d'étalonnage ». La fonction de réponse peut être linéaire (droite) ou dans des situations de non-linéarité liées notamment à certains systèmes de détection ou à l'étendue de l'intervalle de dosage.

➤ Construction du profil d'exactitude

La représentation graphique correspondant au profil a été effectuée en rapportant les valeurs de référence moyennes « Concentrations moyennes théoriques » sur l'axe des abscisses, et sur l'axe des ordonnées [94]. On rapporte :

- ✓ Les limites de tolérance relatives hautes et basses.
- ✓ Les taux de recouvrement moyens.
- ✓ Les limites d'acceptabilité relatives hautes et basses.

On obtient ainsi un profil d'exactitude comme celui illustré dans la **Figure 12**.

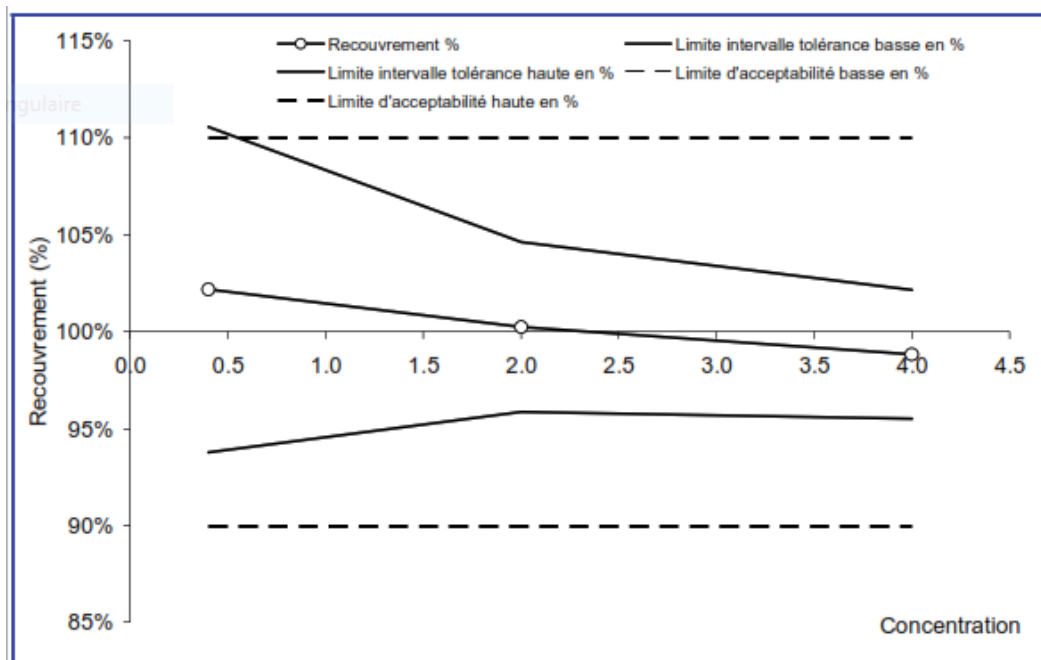


Figure 12: Exemple d'un profil d'exactitude [94].

➤ Interprétation du profil d'exactitude

Pour dire que la méthode d'analyse est valide, l'intervalle de tolérance doit être compris entre les limites d'acceptabilité, et la probabilité que la différence entre la valeur trouvée par la méthode en routine et celle de référence soit inférieure à limite d'acceptabilité est supérieure à la valeur β , cette dernière étant l'intervalle de confiance, et est égale en général à 80% [95].

Dans le cas présenté dans la **Figure 12**, on observe que les limites de tolérance à 80% sont comprises entre les limites d'acceptabilité dans un domaine qui s'étend de 0,5 mg/l environ à 4,0 mg/l, la méthode est donc valide dans ce domaine. Ce dernier étant le domaine de validité qui par définition correspond aux concentrations pour lesquelles l'intervalle de tolérance est compris dans les limites d'acceptabilité [94].

Ainsi, on voit que la limite supérieure de l'intervalle de tolérance coupe la limite supérieure d'acceptabilité vers le niveau de concentration 0,5 mg/l ce qui signifie que pour une concentration inférieure à 0,5 mg/l, l'analyste ne peut plus garantir que les mesures qui seront réalisé en routine avec cette méthode seront suffisamment proches de la vérité [94].

Chapitre II : Résultats

1. Répartition de la population étudiée

Pour récapituler, nous avons collectés 75 échantillons de dents de différentes régions de la Wilaya de Tizi-Ouzou.

1.1. Répartition de la population étudiée selon le sexe

- ✓ Hommes : 40%
- ✓ Femmes : 60%

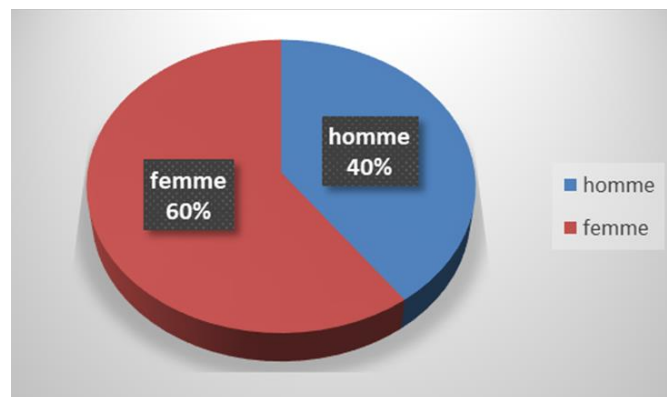


Figure 13 : Répartition de la population selon le sexe.

1.2. Répartition de la population étudiée selon les tranches d'âge

- ✓ [5 - 19] ans : 3%.
- ✓ [20 -39] ans : 12 %.
- ✓ [40 - 59] ans : 53 %.
- ✓ [60 - 80] ans : 32 %.

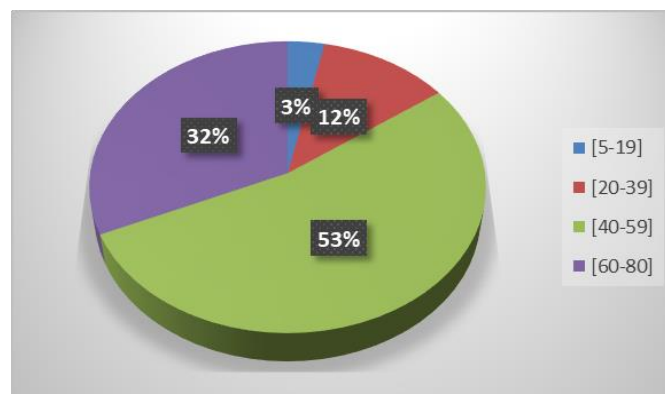


Figure 14 : Répartition de la population selon l'âge

1.3. Répartition selon la consommation du tabac

- ✓ Fumeur : 8%
- ✓ Non-fumeur : 92 %

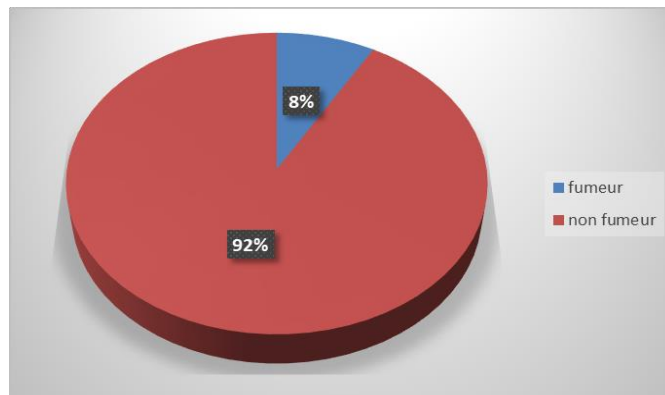


Figure 15 : Répartition de la population selon la consommation du tabac.

1.4. Répartition selon le type d'habitation

- ✓ Rural : 72 %
- ✓ Urbain : 28 %

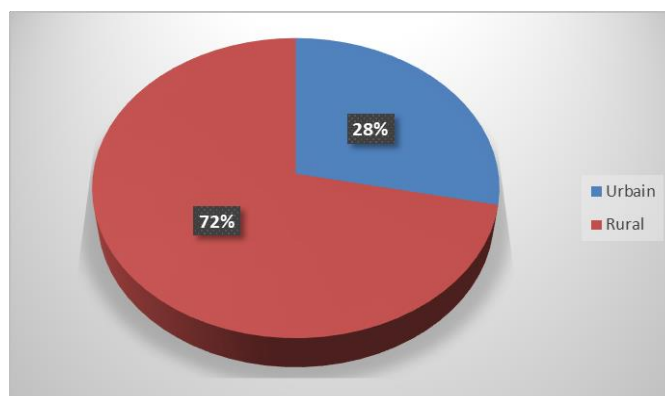


Figure 16 : Répartition de la population selon le type d'habitation.

1.5. Répartition selon le type d'eau consommée

- ✓ Eau de source : 77%
- ✓ Eau de robinet : 15%
- ✓ Eau minérale : 8%.

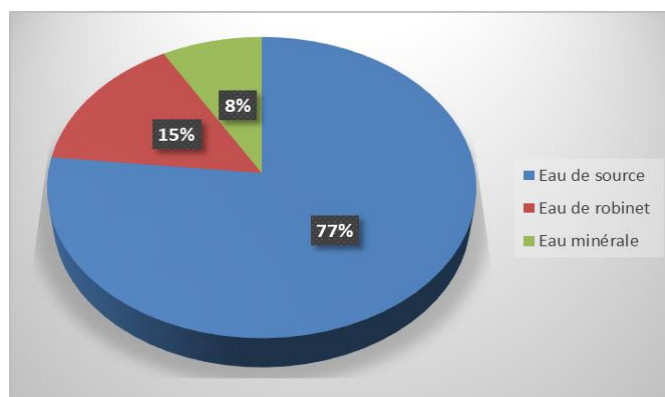


Figure 17 : Répartition de la population selon le type d'eau consommée.

2. Résultats de l'étude de l'érosion dentaire (immersion des dents dans les boissons)

Nous rappelons que 5 dents sèches ont été immergées dans chacune des 3 boissons testées (**Figure 18**) pendant 15 jours avec une agitation continue pendant l'immersion. Au cours des 3, 6, 9, 12 et 15 ème jours les 15 dents sont séchées puis pesées pour déterminer la perte du poids.

Le pH des boissons utilisées a été mesuré par un pH-mètre et les résultats obtenus sont rapportés dans le **Tableau 11**.

Tableau 11: pH des boissons

Boisson	Café	Soda (Coca-cola)	Boisson énergétique (TNT)
pH	5.19	2.72	2.79



Figure 18 : Immersion des dents dans les boissons.

Avec : (a) Dents immergées dans le café, (b) Dents immergées dans le Coca-Cola et (c) Dents immergées dans la boisson énergétique TNT.

Résultats obtenus après 3, 6, 9, 12, 15 jours de l'immersion dans des boissons.

2.1. Poids des dents immergées dans le café (en gramme)

Les résultats obtenus sont rapportés dans le **Tableau 12** :

Tableau 12 : Poids des dents immergées dans le café.

Code de la dent	Jours					
	<i>J0</i>	<i>J3</i>	<i>J6</i>	<i>J9</i>	<i>J12</i>	<i>J15</i>
B23-1	2,8589	2,8461	2,8235	2,8037	2,7631	2,7571
C41-1	0,7928	0,7881	0,7806	0,7453	0,7338	0,7282
A06-1	0,8556	0,8529	0,8518	0,8494	0,8299	0,8231
C34-1	0,7523	0,7436	0,7303	0,7100	0,7031	0,6980
D56-1	0,5948	0,5891	0,5816	0,5600	0,5480	0,5416

2.2. Poids des dents immergées dans la Coca Cola (en gramme)

Les résultats obtenus sont rapportés dans le **Tableau 13** :

Tableau 13 : Poids des dents immergées dans la Coca Cola.

Code de la dent	Jours					
	<i>J0</i>	<i>J3</i>	<i>J6</i>	<i>J9</i>	<i>J12</i>	<i>J15</i>
C46-1	1,8325	1,8255	1,8123	1,7640	1,7409	1,7014
A05-1	0,4650	0,4600	0,4535	0,4279	0,4221	0,4189
C47-1	1,0718	1,0692	1,0642	1,0300	1,0180	0,9992
C40-1	1,2998	1,2914	1,2800	1,2614	1,2360	1,2241
C43-1	0,4842	0,4799	0,4736	0,4465	0,4382	0,4348

2.3. Poids des dents immergées dans la boisson énergétique TNT (en gramme)

Les résultats obtenus sont rapportés dans le **Tableau 14** :

Tableau 14 : Poids des dents immergées dans la boisson énergétique TNT.

Code de la dent \ Jours						
	<i>J0</i>	<i>J3</i>	<i>J6</i>	<i>J9</i>	<i>J12</i>	<i>J15</i>
C45-1	0,8902	0,8813	0,8538	0,8301	0,7944	0,7768
D58 – 1	1,1719	1,1664	1,1376	1,1284	1,1066	1,0848
A01-1	1,3326	1,3276	1,3131	1,2927	1,2742	1,2462
B26-1	0,5532	0,5491	0,5267	0,5058	0,4973	0,4916
A10-1	0,8140	0,8087	0,8006	0,7813	0,7686	0,7587

2.4. Calcul du pourcentage de perte de masse café

Les résultats obtenus sont rapportés dans le **Tableau 15** :

Tableau 15: pourcentage de perte de masse des dents immergées dans le café

Cod e	$\left(\frac{J0 - J3}{J0}\right)_{100}$	$\left(\frac{J3 - J6}{J3}\right)_{100}$	$\left(\frac{J6 - J9}{J6}\right)_{100}$	$\left(\frac{J9 - J12}{J9}\right)_{100}$	$\left(\frac{J12 - J15}{J12}\right)_{100}$	$\left(\frac{J0 - J15}{J0}\right)_{100}$
B23-1	0,45%	0,79406908	0,70125731	1,448086457	0,217147407	3.5608101
C41-1	0,59283552	0,95165588	4,52216244	1,543002818	0,763150722	7.4419778
A06-1	0,31556802	0,12897174	0,28175628	2,295738168	0,819375828	3.0037401
C34-1	1,15645354	1,78859602	2,77967958	0,971830986	0,725359124	7.2178652
D56-1	0,95830531	1,27312850	3,71389271	2,142857143	1,167883212	8.944183
Moyenne de pertes de poids des 5 dents						6.03 %

2.5. Calcul du pourcentage de perte de masse Coca-Cola

Les résultats obtenus sont rapportés dans le **Tableau 16** :

Tableau 16: pourcentage de perte de masse des dents immergées dans le Coca-Cola

Code	$\left(\frac{J0 - J3}{J0}\right)_{100}$	$\left(\frac{J3 - J6}{J3}\right)_{100}$	$\left(\frac{J6 - J9}{J6}\right)_{100}$	$\left(\frac{J9 - J12}{J9}\right)_{100}$	$\left(\frac{J12 - J15}{J12}\right)_{100}$	$\left(\frac{J0 - J15}{J0}\right)_{100}$
C46 – 1	0,381991814	0,723089565	2,665121669	1,30952381	2,268941352	7.154161
A05 – 1	1,075268817	1,413043478	5,644983462	1,355456882	0,758114191	9.913979
C47 – 1	0,242582571	0,467639357	3,213681639	1,165048544	1,84675835	6.773652
C40 – 1	0,64625327	0,882762893	1,453125	2,013635643	0,962783172	5.823973
C43 – 1	0,888062784	1,312773494	5,722128378	1,858902576	0,775901415	10.202396
Moyenne de pertes de poids des 5 dents						7.97 %

2.6. Calcul du pourcentage de perte de masse TNT

Les résultats obtenus sont rapportés dans le **Tableau 17** :

Tableau 17 : pourcentage de perte de masse des dents immergées dans la boisson énergétique TNT

Code	$\left(\frac{J0 - J3}{J0}\right)_{100}$	$\left(\frac{J3 - J6}{J3}\right)_{100}$	$\left(\frac{J6 - J9}{J6}\right)_{100}$	$\left(\frac{J9 - J12}{J9}\right)_{100}$	$\left(\frac{J12 - J15}{J12}\right)_{100}$	$\left(\frac{J0 - J15}{J0}\right)_{100}$
C45 – 1	0,999775331	3,120390332	2,77582572	4,300686664	2,21550856	12.738711
D58 – 1	0,469323321	2,469135802	0,808720113	1,931939029	1,969998193	7.4323748
A01 – 1	0,375206363	1,092196445	1,553575508	1,431113174	2,197457228	6.483566
B26 – 1	0,741142444	4,079402659	3,968103285	1,680506129	1,146189423	11.13521
A10 – 1	0,651105651	1,001607518	2,410691981	1,625495968	1,288056206	6.793612
Moyenne de pertes de poids des 5 dents						8.92 %

3. Résultats du dosage des métaux

3.1. Validation des techniques de dosages

3.1.1. Validation de la technique de dosage du zinc

a) Fonction de réponse (courbe d'étalonnage) du zinc

Une fois les expériences réalisées et les données collectées, il convient tout d'abord de déterminer, sur la base des standards d'étalonnage (SE), la relation entre la réponse (signal ou réponse de l'instrument) Y et la quantité (concentration) X . Cette relation se caractérise à l'aide d'une fonction f qui doit être strictement monotone (strictement croissante ou décroissante) sur l'intervalle de dosage envisagé : $Y = f(X)$

Type	Equation	Paramètres	Linéaire
Droite passant par l'origine	$Y = \beta X$	β	OUI
Droite	$Y = \alpha + \beta X$	α, β	OUI

Nous avons procédé au passage des solutions d'étalonnage trois jours de suite. Le même manipulateur a réalisé toutes les séries. Les valeurs des densités optiques obtenues pour toutes les gammes sont rapportées sur le **Tableau 18**.

Tableau 18 : Courbes d'étalonnage du Zinc J1-J2-J3

	J 1	J 2	J 3
1 ppm	0,1037	0,0968	0,1019
2 ppm	0,2305	0,2366	0,2441
3 ppm	0,3443	0,3555	0,3606
4 ppm	0,4551	0,4716	0,4711
5 ppm	0,549	0,5713	0,5724
R^2	0,9972	0,9964	0,9957
Pente	0,1115	0,1184	0,1168
Ordonnée à l'origine	0,002	- 0,0088	- 0,0004

➤ **Courbe d'étalonnage du zinc**

Les **Figures 19, 20, 21** représentent les courbes d'étalonnage du Zinc (densités optiques en ordonnées et concentrations en abscisses).

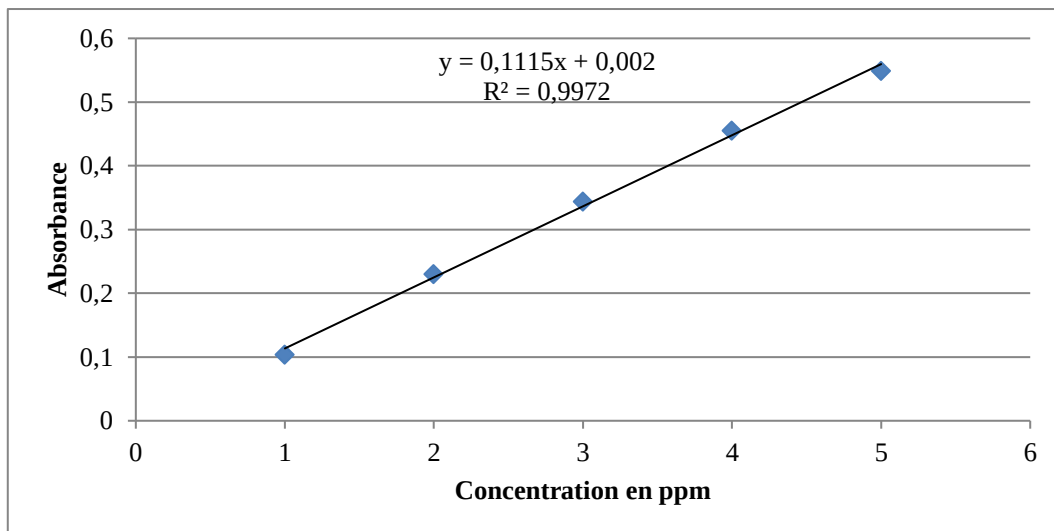


Figure 19: Courbe d'étalonnage du zinc (Premier jour).

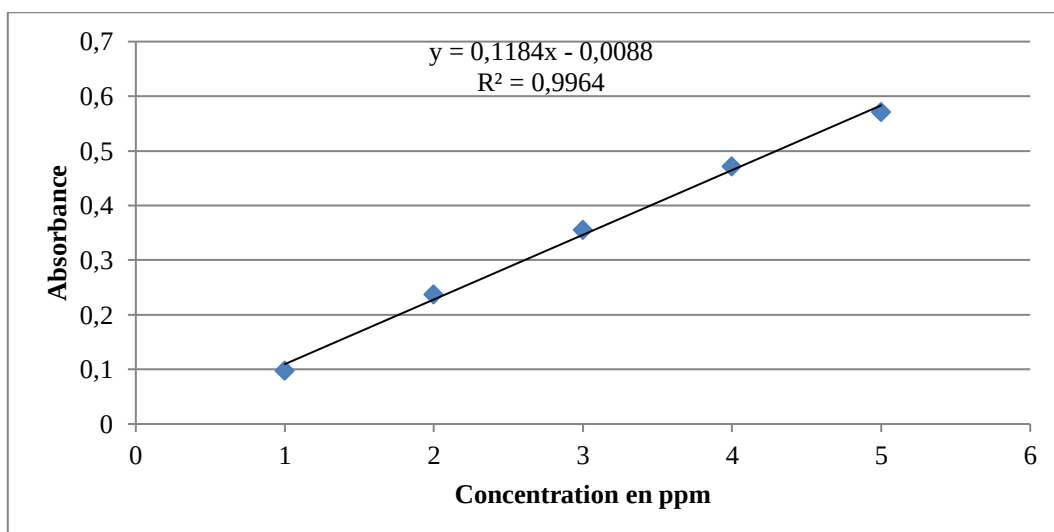


Figure 20: Courbe d'étalonnage du zinc (Deuxième jour).

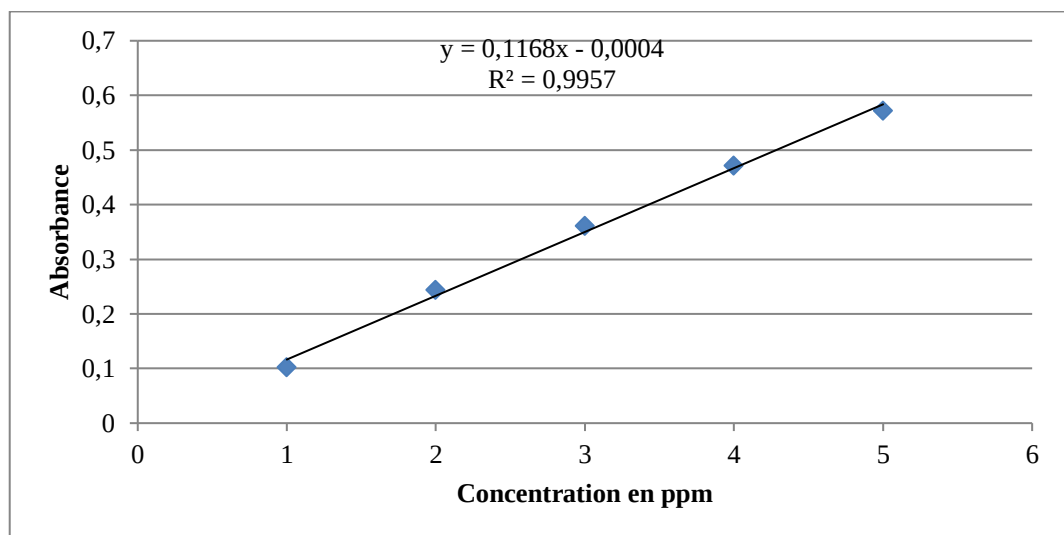


Figure 21: Courbe d'étalonnage du zinc (Troisième jour).

➤ **Courbe moyenne d'étalonnage du zinc**

Nous rapportons dans le **Tableau 19** ci-dessous les valeurs d'absorbance obtenues pour la courbe moyenne des gammes étalons. La **Figure 22** représente la courbe moyenne du Zinc.

Tableau 19: Courbe moyenne des gammes étalons du zinc.

Concentrations en ppm	Absorbance
1	0,1008
2	0,237066667
3	0,353466667
4	0,465933333
5	0,564233333
R^2	0,9965
Pente	0,1156
Ordonnée à l'origine	- 0,0024

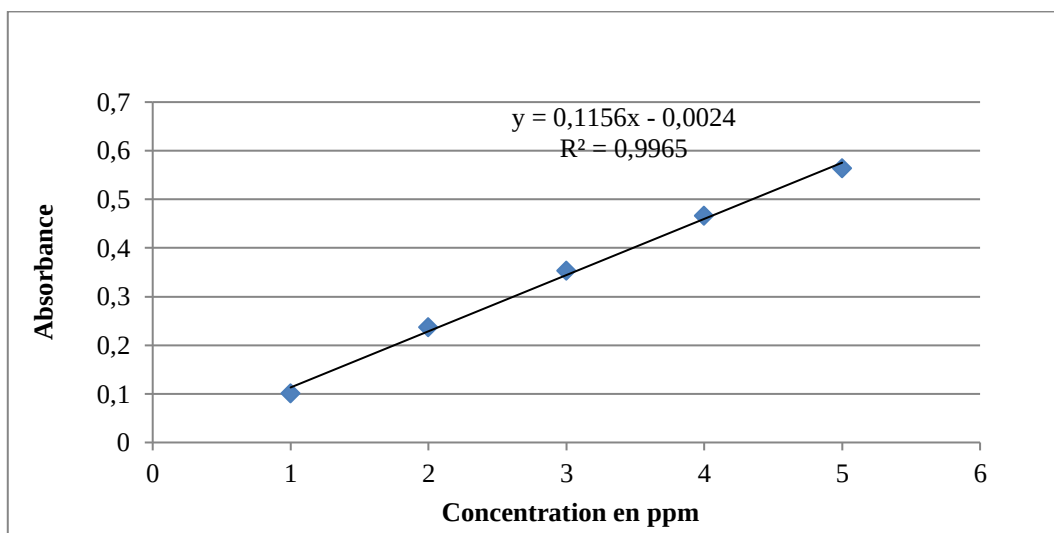


Figure 22: Courbe d'étalonnage moyenne du zinc.

L'équation de la courbe moyenne est de type **Droite** :

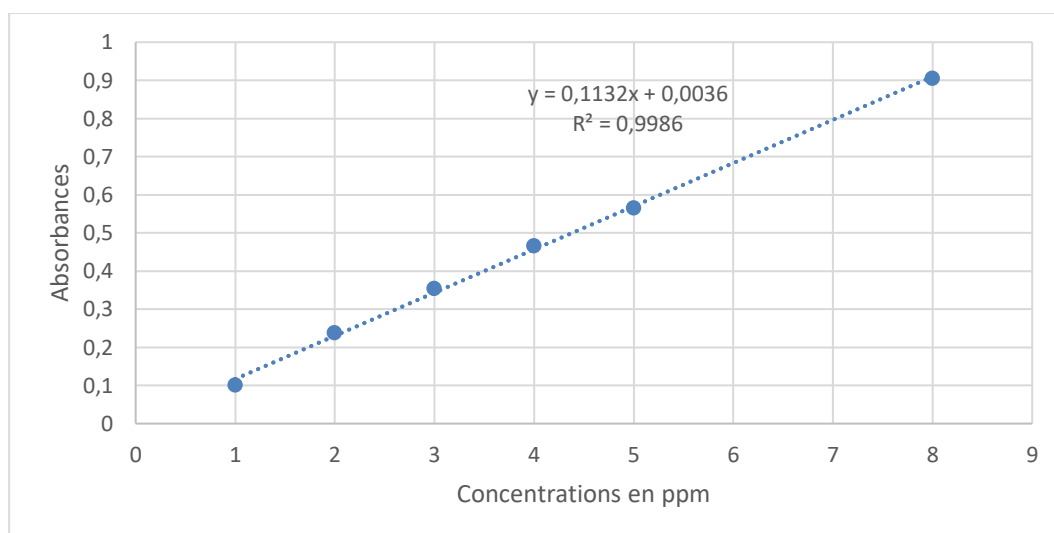
$$Y = \alpha X + \beta$$

b) Linéarité

Nous avons réalisé une gamme de solutions standards de 1 à 8 $\mu\text{g/L}$ à partir d'une solution mère de 100 ppm. Nous rapportons dans le **Tableau 20** les valeurs d'absorbance obtenues pour chaque concentration. La **Figure 23** représente la courbe obtenue avec ces concentrations.

Tableau 20: Domaine de linéarité de la courbe d'étalonnage du zinc

Concentrations en ppm	Absorbance
1	0.1008
2	0.2371
3	0.3535
4	0.4659
5	0.5642
8	0.9050
R^2	0.9986
Pente	0.1132
Ordonnée à l'origine	+0.0036

**Figure 23 : Courbe d'étalonnage du Zinc, concentrations : 1 à 8 ppm.**

Nous observons que la linéarité est bonne atteignant 8 ppm avec un coefficient de détermination de 0.9986. Au-delà de cette valeur la courbe perd sa linéarité.

c) Justesse

Pour évaluer la justesse de notre technique, nous avons calculé le recouvrement, le biais, et effectué les tests statistiques correspondants.

➤ **Recouvrement et recouvrement moyen**

A partir des absorbances obtenues pour chaque niveau de concentration, et pour chaque jour, nous avons calculé le recouvrement qui correspond au rapport de la concentration calculée sur la concentration introduite.

Sa valeur cible est de 100 % (la concentration calculée est égale à la concentration introduite).

La limite d'acceptabilité : $\pm 5\%$ [95-105] %

Son calcul permet d'évaluer l'erreur systématique

➤ **Biais absolu et biais relatif**

Contrairement au recouvrement, le biais ne tient pas compte du rapport des concentrations calculée et introduite mais de leur différence

Sa valeur cible est de 0 (la concentration calculée est égale à la concentration introduite).

La limite d'acceptabilité : $\pm 5\%$.

Les valeurs obtenues sont rapportées dans le **Tableau 21** :

Tableau 21: Calcul des recouvrements, du biais absolu et du biais relatif du zinc

Concentrations introduite (ppm)	Concentration calculée (ppm)	Biais absolu	Biais relatif	Recouvrement
1.5	1.51	0.01	0.66%	100.66%
1.5	1.53	0.03	2%	102%
1.5	1.51	0.01	0.66%	100.66%
2.5	2.54	0.04	1.6%	101.6%
2.5	2.51	0.01	0.4%	100.4%
2.5	2.54	0.04	1.6%	101.6%
4.5	4.50	0	0%	100%
4.5	4.49	-0.01	-0.22%	99.77%
4.5	4.50	0	0%	100%
Moyenne			0.74%	100.74%
Ecart type			0.65%	0.65%

d) Fidélité

La fidélité est un terme global qui varie entre deux valeurs extrêmes :

- ✓ L'une minimale appelée **Répétabilité** : Minimum de variabilité (même opérateur, même appareillage, temps court...).
- ✓ L'autre maximale appelée **Reproductibilité** : Maximum de variabilité (opérateur différent, appareillage différent, temps long...)

Lorsqu'on n'étudie que la variabilité induite par un seul facteur (dans notre cas c'est le jour), on parle de Fidélité intermédiaire.

La fidélité est évaluée par l'**écart type** (ou variance) des résultats d'essais pour un ou plusieurs niveaux de concentration, qui permet de calculer le coefficient de variation, donné par :

$$CV = \frac{Ecart\ type}{Moyenne} \times 100$$

La valeur cible de CV est : 0 (ce qui est impossible en pratique)

La limite d'acceptabilité : 5%

Nous avons choisi trois niveaux de concentration 1,5ppm, 2.5 ppm et 4 ,5ppm. Nous les avons analysés 3 fois pour chaque série (J1, J2, J3). Les absorbances obtenues nous ont servi pour le calcul du coefficient de variation (CV) :

- ✓ CV intragroupe : à partir des absorbances du même jour
- ✓ CV intergroupe : à partir des absorbances des 3 jours.

Les valeurs obtenues sont rapportées dans le **Tableau 22** :

Tableau 22: Coefficient de variation intra- et inter groupe

	Paramètres	Concentration 1.5 ppm	Concentration 2.5ppm	Concentration 4.5ppm	Moyenne
Intragroupe					
J1	Ecart type	0.0000535	0.0000335	0.001335	
	Moyenne	1.503	2.543	4.503	
	CV	0.0036%	0.0013%	0.0296%	0.0345%
J2	Ecart type	0	0.0024335	0.0002935	
	Moyenne	1.530	2.513	4.493	
	CV	0%	0.0968%	0.0065%	0.03443%
J3	Ecart type	0.0002335	0.0072335	0.0001	
	Moyenne	1.507	2.537	4.500	
	CV	0.0155%	0.2851%	0.0022%	0.1009%
Moyenne	CV	0.0064%	0.1277%	0.0128%	0.04896%
Inter groupe					
	Ecart type	0.00658	0.00253	0.0004	
	Moyenne	1.52	2.4867	4.49	
	CV	0.00658%	0.01019%	0.00891%	0.00856%

D'une manière générale, on remarque que les coefficients de variation varient entre 0% et 0.1009 % selon le jour et les concentrations.

Le coefficient de répétabilité est de **0.04896** (< 5%), et le coefficient de la fidélité intermédiaire est de **0.00856** (< 5%), ce qui est conforme aux limites fixées.

e) Etablissement du profil d'exactitude du Zinc

L'exactitude de la méthode est représentée par le profil d'exactitude (**Figure 24**).

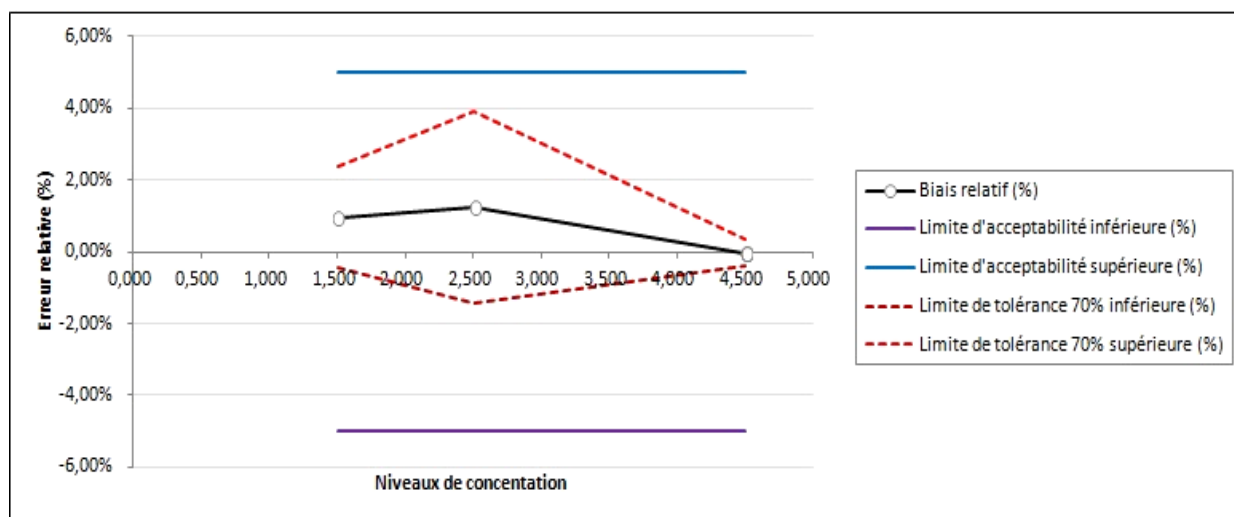


Figure 24: Profil d'exactitude du Zinc

Avec :

Concentration théorique (ppm)	1.5	2.5	4.5
Moy. des concentrations retrouvées (ppm)	1.514	2.531	4.499
Limite de tolérance basse (ppm)	1.493	2.465	4.481
Limite de tolérance haute (ppm)	1.536	2.598	4.516
Limite d'acceptabilité basse (%)	-0.46%	-1.42%	-0.41%
Limite d'acceptabilité haute (%)	+2.38%	+3.91%	+0.36%
Probabilité de tolérance β (%)	70%	70%	70%

La **Figure 24** montre que la méthode de dosage du Zinc est valide pour l'intervalle de dosage choisit où les limites haute et basse de l'intervalle de tolérance sont comprises dans les limites d'acceptabilité.

f) Limite de détection (LD) et de quantification (LQ)

Nous avons procédé au passage du blanc six fois de suite. Les résultats de mesure des densités optiques obtenues sont portés au **Tableau 23**.

Tableau 23: Densités optiques et écart type obtenus pour la solution du blanc.

Blanc	DO
1	0.0007
2	-0.0001
3	0.0002
4	-0.0004
5	0.0008
6	0.0012
Ecart type σ	0.000745654

$S = 0.1156$ (pente de la courbe du domaine de linéarité)

La limite de détection est donnée par :

$$LD = 3 \frac{\sigma}{S} = 3 \times \frac{0.000745654}{0.1156}$$

$$LD = 0.019350884 \text{ ppm}$$

La limite de quantification est donnée par :

$$LQ = 10 \frac{\sigma}{S} = 10 \times \frac{0.000745654}{0.1156}$$

$$LQ = 0.064502948 \text{ ppm}$$

g) Résumé de la validation pour le Zinc

Le **Tableau 24** est un récapitulatif de la validation du Zinc.

Tableau 24: Tableau récapitulatif de la validation du Zinc.

Critères de validation		Performances
Intervalle de dosage		0.0645-8 ppm
Linéarité		
Equation de la droite		$y = 0,1132x + 0,0036$
Coefficient de corrélation		$R^2 = 0,9986$
Limite de détection (LD)		0.019350884 ppm
Limite de quantification (LQ)		0.064502948 ppm
Justesse		
Recouvrement moyen (%)		100.74% ± 0.65%
Biais relatif		0.74%
Fidélité		
CV répétabilité		0.04896 %(< 5%)
CV fidélité intermédiaire		0.00856 %(<5%)
Exactitude (Justesse + Fidélité)		%0.75 (< 5%)

3.1.2. Validation de la technique de dosage du cuivre

a) Fonction de réponse (courbe d'étalonnage) du cuivre

Une fois les expériences réalisées et les données collectées, il convient tout d'abord de déterminer, sur la base des standards d'étalonnage (SE), la relation entre la réponse (signal ou réponse de l'instrument) et la quantité (concentration).

Nous avons procédé au passage des solutions d'étalonnage trois jours de suite. Le même manipulateur a réalisé toutes les séries. Les valeurs des densités optiques obtenues pour toutes les gammes sont rapportées sur le **Tableau 25**.

Tableau 25: Courbes d'étalonnage du cuivre. J1-J2-J3

	J 1	J 2	J 3
1 ppm	0,0366	0,0317	0,0286
2 ppm	0,0725	0,0728	0,0602
3 ppm	0,105	0,1061	0,0926
4 ppm	0,1452	0,1416	0,1254
5 ppm	0,1778	0,177	0,1553
R²	0,9991	0,9989	0,9998
Pente	0,0355	0,0359	0,0319
Ordonnée à l'origine	0,0009	- 0,002	- 0,0032

➤ **Courbe d'étalonnage du cuivre**

Les **Figures 25, 26 et 27** représentent les courbes d'étalonnage du plomb (densités optiques en ordonnées et concentrations en abscisses).

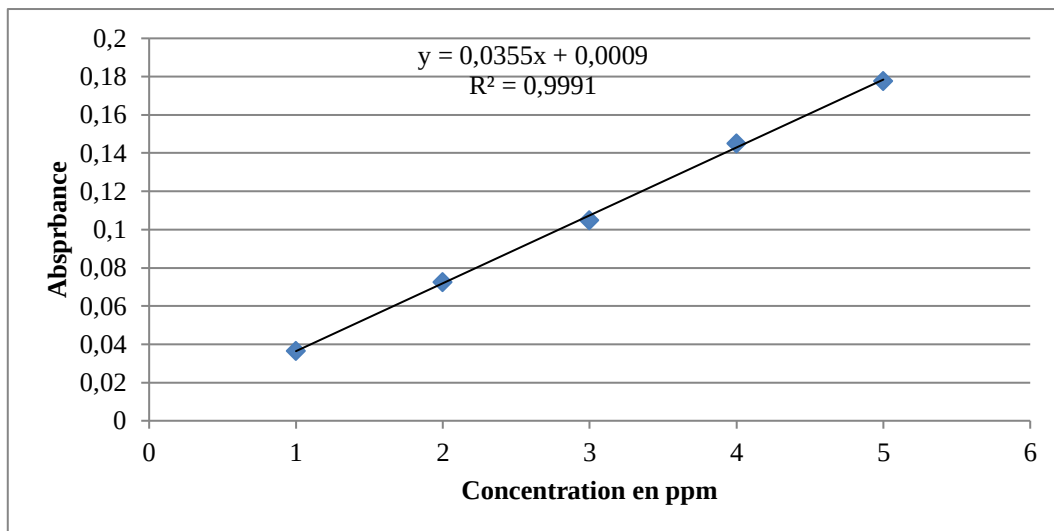


Figure 25: Courbe d'étalonnage du cuivre (premier jour).

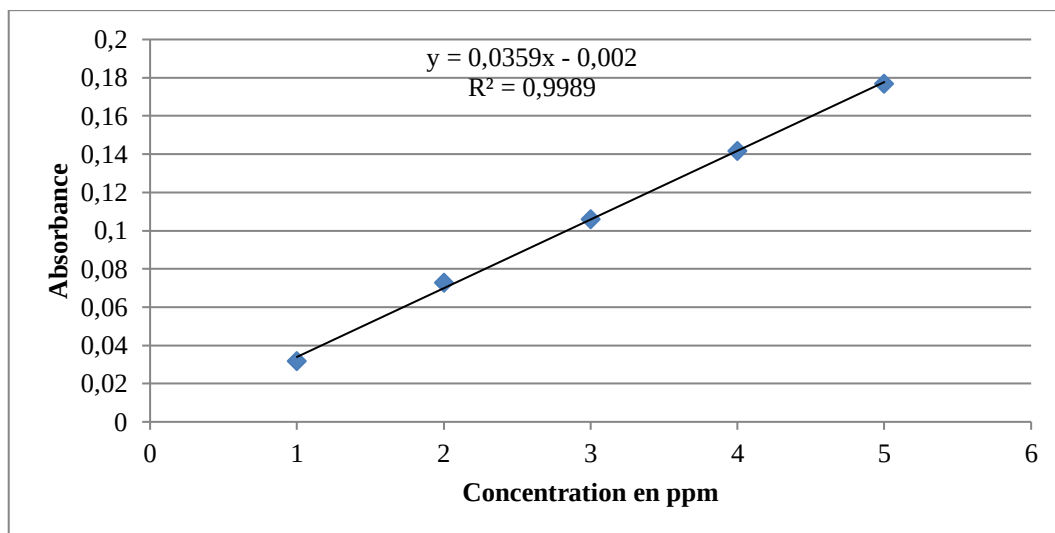


Figure 26: Courbe d'étalonnage du cuivre (Deuxième jour).

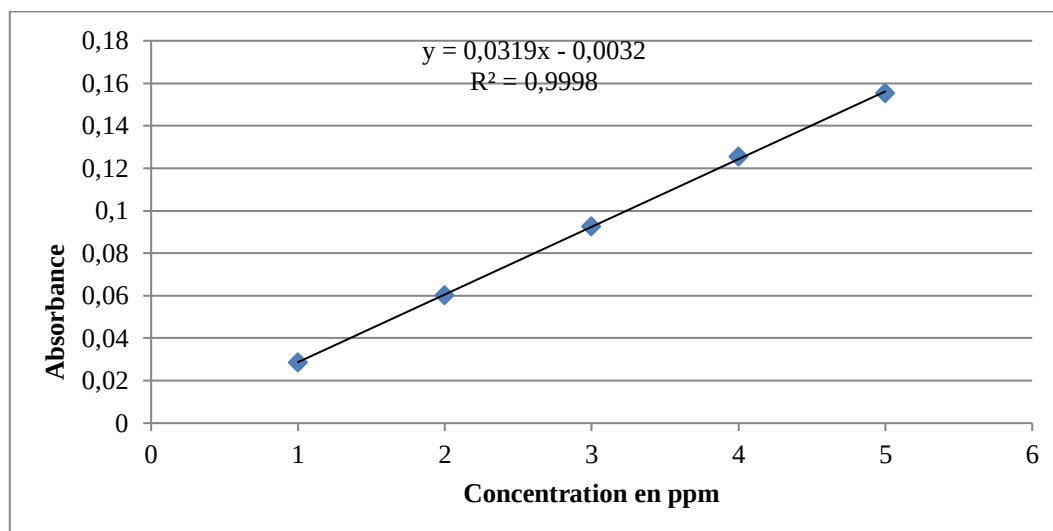


Figure 27: Courbe d'étalonnage du cuivre (Troisième jour).

➤ **Courbe moyenne d'étalonnage du cuivre**

Nous rapportons dans le **Tableau 26** les valeurs d'absorbance obtenues pour la courbe moyenne des gammes étalons. La **Figure 28** représente la courbe moyenne du cuivre.

Tableau 26: Courbe moyenne des gammes étalons du cuivre

Concentrations en ppm	Absorbance
1	0,0323
2	0,0685
3	0,101233333
4	0,1374
5	0,170033333
R^2	0,9997
Pente	0,0344
Ordonnée à l'origine	- 0,0014

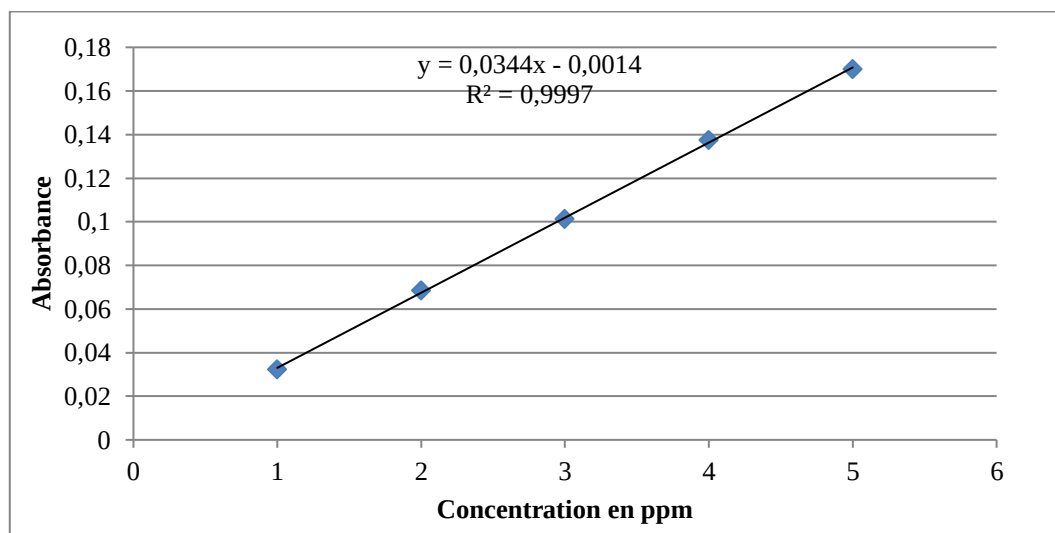


Figure 28: Courbe d'étalonnage moyenne du cuivre.

L'équation de la courbe moyenne est de type **Droite** : $Y = \alpha X + \beta$

b) Linéarité

Nous avons réalisé une gamme de solutions standards de 1 à 10 $\mu\text{g/L}$ à partir d'une solution mère de 100 ppm. Nous rapportons dans le **Tableau 27** les valeurs d'absorbance obtenues pour chaque concentration. La **Figure 29** représente la courbe obtenue avec ces concentrations.

Tableau 27: Domaine de linéarité de la courbe d'étalonnage du cuivre

Concentrations en ppm	Absorbance
1	0.0323
2	0.0685
3	0.101
4	0.1374
5	0.1700
10	0.3613
R^2	0.9991
Pente	0.0365
Ordonnée à l'origine	-0.0072

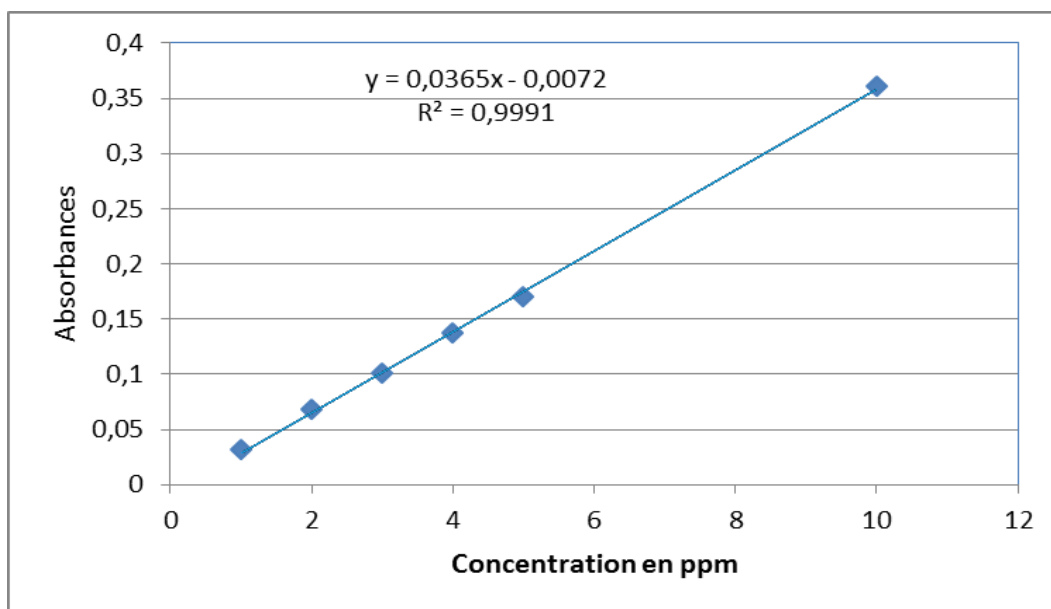


Figure 29 : Courbe d'étalonnage du Cuivre. Concentrations : 1 à 10 ppm.

Nous observons que la linéarité est parfaite atteignant 10 ppm avec un coefficient de détermination de 0.9991 (>0.999).

c) Justesse

Afin d'évaluer la justesse de notre technique, nous avons calculé le recouvrement, le biais, et effectué les tests statistiques correspondants.

➤ Recouvrement et recouvrement moyen

- ✓ Sa valeur cible est de 100 % (la concentration calculée est égale à la concentration introduite).
- ✓ La limite d'acceptabilité : $\pm 5\%$ [95-105] %

Son calcul permet d'évaluer l'erreur systématique

➤ Biais absolu et biais relatif

- ✓ Sa valeur cible est de 0 (la concentration calculée est égale à la concentration introduite).
- ✓ La limite d'acceptabilité : $\pm 5\%$.

Les valeurs obtenues sont rapportées dans le **Tableau 28**.

Tableau 28: Calcul des recouvrements, du biais absolu et du biais relatif du Cuivre.

Concentrations introduite (ppm)	Concentration calculée (ppm)	Biais absolu	Biais relatif	Recouvrement
1.5	1,49	-0.01	-0.66%	99.33%
1.5	1,48	-0.02	-1.33%	98.66%
1.5	1,53	0.03	2%	102%
2.5	2,5	0	0%	100%
2.5	2.53	0.03	1.2%	101.2%
2.5	2.55	0.05	2%	102%
4.5	4,65	0.15	3.33%	103.33%
4.5	4,51	0.01	0.22%	100.22%
4.5	4,55	0.05	1.11%	101.11%
Moyenne			0.87%	100.87%
Ecart type			2.14%	2.15%

d) Fidélité

La fidélité est évaluée par **l'écart type** (ou variance). La valeur cible de CV est : 0 (ce qui est impossible en pratique)

✓ La limite d'acceptabilité : 5%

Les valeurs obtenues sont rapportées dans le **Tableau 29** :

Tableau 29: Coefficient de variation intra- et inter groupe.

Paramètres		Concentration 1.5 ppm	Concentration 2.5ppm	Concentration 4.5ppm	Moyenne
Intragroupe					
J1	Ecart type	0.0001	0.0004335	0.0008335	
	Moyenne	1.49	2.503	4.647	
	CV	0.0067%	0.01732%	0.01794%	0.01399%
J2	Ecart type	0.0002335	0	0.0007	
	Moyenne	1.483	2.53	4.51	
	CV	0.0157%	0%	0.0155%	0.0104%
J3	Ecart type	0.000233	0.0007	0.0003	
	Moyenne	1.5267	2.55	4.55	
	CV	0.0153%	0.0275%	0.0066%	0.01647%
Moyenne	CV	0.0126%	0.01494%	0.01334%	0.01363%
Inter groupe					
	Ecart type	0.0003	0.0010335	0.0100335	
	Moyenne	1.51	2.517	4.577	
	CV	0.01987%	0.04106%	0.2192%	0.09338%

D'une manière générale, on remarque que les coefficients de variation varient entre 0% et 0.2192 % selon le jour et les concentrations.

Le coefficient de répétabilité est de **0.01363** (< 5%), et le coefficient de la fidélité intermédiaire est de **0.09338** (<5%), ce qui est conforme aux limites fixées.

e) Etablissement du profil d'exactitude du cuivre

L'exactitude de la méthode est représentée par le profil d'exactitude (**Figure 30**).

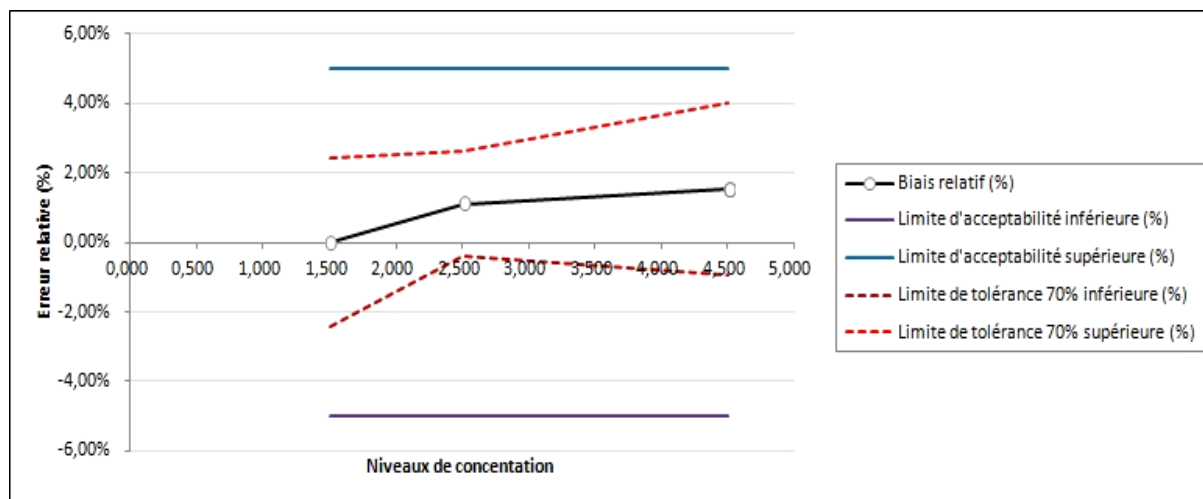


Figure 30: Profile d'exactitude du Cuivre.

Avec :

Concentration théorique (ppm)	1.5	2.5	4.5
Moy des concentrations retrouvées (ppm)	1.500	2.528	4.569
Limite de tolérance basse (ppm)	1.463	2.490	4.457
Limite de tolérance haute (ppm)	1.537	2.565	4.681
Limite d'acceptabilité basse (%)	-2.44%	-0.38%	-0.96%
Limite d'acceptabilité haute (%)	+2.44%	+2.60%	+4.02%
Probabilité de tolérance β (%)	70%	70%	70%

La **Figure 30** montre que la méthode de dosage du Cuivre est valide pour l'intervalle de dosage choisit où les limites haute et basse de l'intervalle de tolérance sont comprises dans les limites d'acceptabilité.

f) Limite de détection (LD) et de quantification (LQ)

Nous avons procédé au passage du blanc six fois de suite. Les résultats de mesure des densités optiques obtenues sont portés au **Tableau 30**.

Tableau 30: Densités optiques et écart type obtenus pour la solution du blanc.

Blanc	DO
1	0.0002
2	0.0003
3	0.0007
4	-0.001
5	-0.0005
6	0.0002
Ecart type σ	0.000617792

$S = 0.0344$ (pente de la courbe du domaine de linéarité)

La limite de détection est donnée par :

$$LD = 3 \frac{\sigma}{S} = 3 \times \frac{0.000617792}{0.0344}$$

$$LD = 0.053877189 \text{ ppm}$$

La limite de quantification est donnée par :

$$LQ = 10 \frac{\sigma}{S} = 10 \times \frac{0.000617792}{0.0344}$$

$$LQ = 0.17959063 \text{ ppm}$$

g) Résumé de la validation pour le Cuivre

Le **Tableau 31** est un récapitulatif de la validation du Cuivre.

Tableau 31: Tableau récapitulatif de la validation du Cuivre.

Critères de validation	Performances
Intervalle de dosage	0.179 - 10 ppm
Linéarité	
Equation de la droite	$y = 0.0365 x + 0.0072$
Coefficient de corrélation	$R^2 = 0.9991$
Limite de détection (LD)	0.053877189 ppm
Limite de quantification (LQ)	0.17959063 ppm
Justesse	
Recouvrement moyen (%)	$100.87\% \pm 2.15$
Biais relatif	0.87 %
Fidélité	
CV répétabilité	0.01363 %(< 5%)
CV fidélité intermédiaire	0.09338 %(<5%)
Exactitude (Justesse + Fidélité)	0.96338 % (< 5%)

3.1.3. Validation de la technique de dosage du plomb

a) Fonction de réponse (courbe d'étalonnage) du Plomb

Une fois les expériences réalisées et les données collectées, il convient tout d'abord de déterminer, sur la base des standards d'étalonnage (SE), la relation entre la réponse (signal ou réponse de l'instrument) et la quantité (concentration).

Nous avons procédé au passage des solutions d'étalonnage trois jours de suite. Le même manipulateur a réalisé toutes les séries. Les valeurs des densités optiques obtenues pour toutes les gammes sont rapportées sur le **Tableau 32**.

Tableau 32: Courbes d'étalonnage du plomb. J1-J2-J3.

	J 1	J 2	J 3
1 ppm	0,0029	0.0045	0.0036
2 ppm	0,0073	0.0083	0.0077
3 ppm	0,0114	0.0128	0.0124
4 ppm	0,017	0.0176	0.0167
5 ppm	0,0209	0.0224	0.0195
R²	0,9973	0.9979	0.9935
Pente	0,0046	0.0045	0.0041
Ordonnée à l'origine	- 0,0018	-0.0004	-0.0003

➤ Courbe d'étalonnage du Plomb

Les **Figures 31, 32 et 33** représentent les courbes d'étalonnage du plomb (densités optiques en ordonnées et concentrations en abscisses).

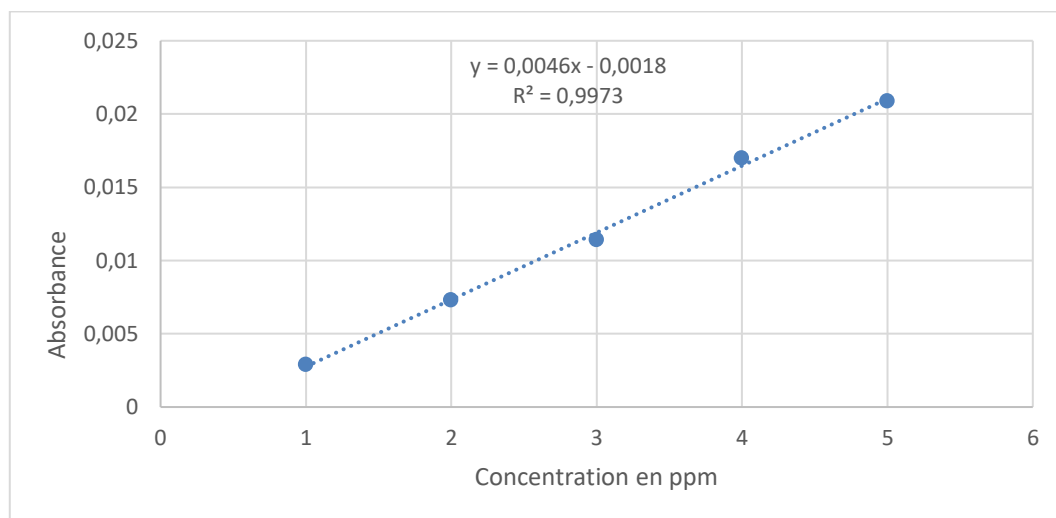


Figure 31: Courbe d'étalonnage du plomb (Premier jour).

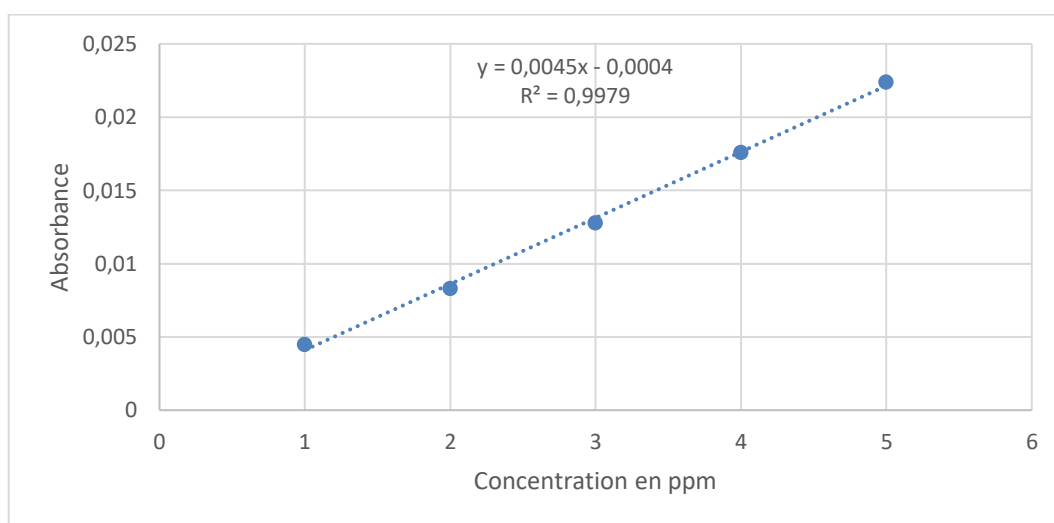


Figure 32: Courbe d'étalonnage du plomb (deuxième jour).

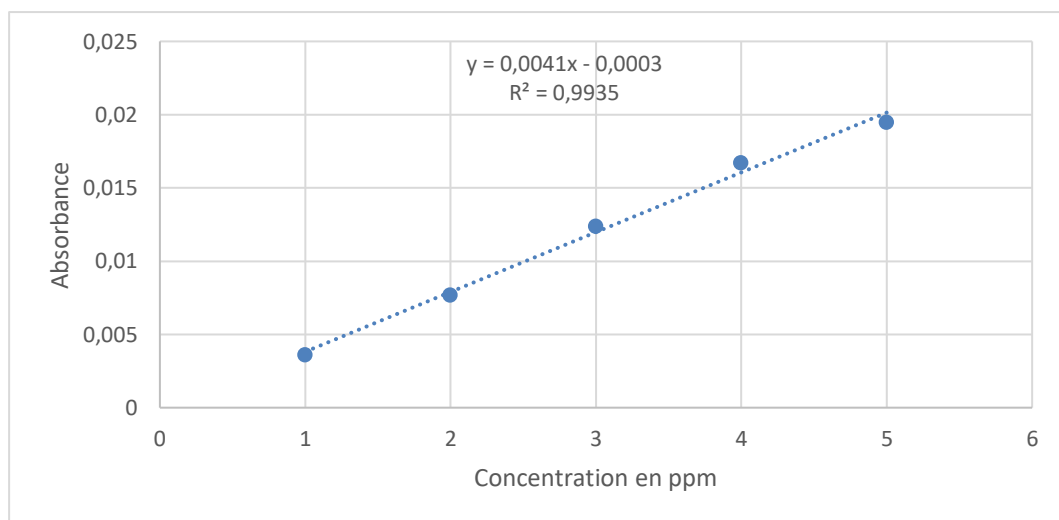


Figure 33: Courbe d'étalonnage du plomb (troisième jour).

➤ **Courbe moyenne d'étalonnage du Plomb**

Nous rapportons dans le **Tableau 33** les valeurs d'absorbance obtenues pour la courbe moyenne des gammes étalons. La **Figure 34** représente la courbe moyenne du plomb.

Tableau 33 : Courbe moyenne des gammes étalons du plomb.

Concentrations en ppm	Absorbance
1	0,0037
2	0,0078
3	0,0122
4	0,0171
5	0,0209
R²	0,9987
Pente	0,0044
Ordonnée à l'origine	- 0,0008

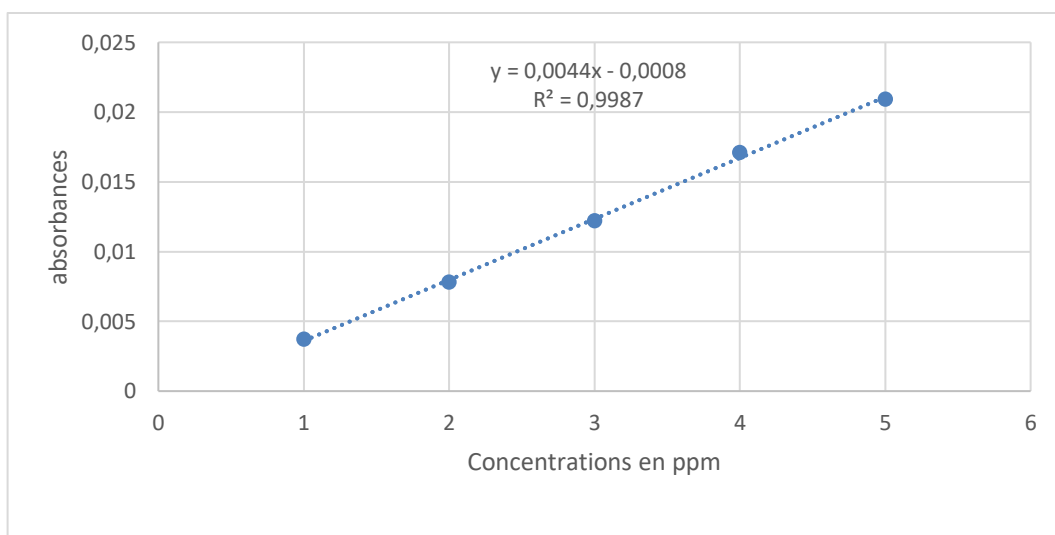


Figure 34: Courbe moyenne des gammes étalons du plomb.

L'équation de la courbe moyenne est de type **Droite** :

$$Y = \alpha X + \beta$$

b) Linéarité

Nous avons réalisé une gamme de solutions standards de 1 à 10 µg/L à partir d'une solution mère de 100 ppm. Nous rapportons dans le **Tableau 34** les valeurs d'absorbance obtenues pour chaque concentration. La **Figure 35** représente la courbe obtenue avec ces concentrations.

Tableau 34: Domaine de linéarité de la courbe d'étalonnage du plomb

Concentrations en ppm	Absorbance
1	0.0037
2	0.0078
3	0.0122
4	0.0171
5	0.0209
10	0.045
R^2	0.9991
Pente	0.0046
Ordonnée à l'origine	-0.0014

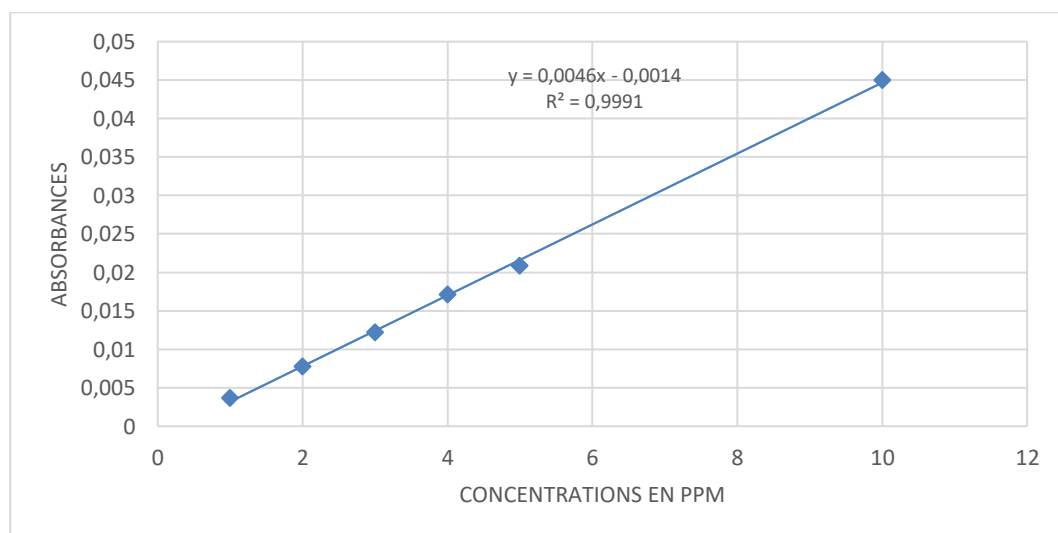


Figure 35: Courbe d'étalonnage du Plomb. Concentrations : 1 à 10 ppm.

Nous observons que la linéarité est excellente atteignant 10 ppm avec un coefficient de détermination de 0.9991 (>0.999).

c) Justesse

Afin d'évaluer la justesse de notre technique, nous avons calculé le recouvrement, le biais, et effectué les tests statistiques correspondants

➤ **Recouvrement et recouvrement moyen :**

Sa valeur cible est de 100 % (la concentration calculée est égale à la concentration introduite).

- ✓ La limite d'acceptabilité : $\pm 5\%$ [95-105] %

Son calcul permet d'évaluer l'erreur systématique.

➤ **Biais absolu et biais relatif**

- ✓ La limite d'acceptabilité : $\pm 5\%$.

Les valeurs obtenues sont rapportées dans le **Tableau 35** :

Tableau 35: Calcul des recouvrements, du biais absolu et du biais relatif du plomb

Concentrations introduite (ppm)	Concentration calculée (ppm)	Biais absolu	Biais relatif	Recouvrement
1.5	1,52	0.02	1.33%	101.33%
1.5	1,47	-0.03	-2%	98%
1.5	1,52	-0.02	-1.33%	101.33%
2.5	2,49	-0.01	-0.4%	99.6%
2.5	2.54	0.04	1.6%	101.6%
2.5	2.48	-0.02	0.8%	99.2%
4.5	4,51	0.01	0.22%	100.22%
4.5	4,49	-0.01	-0.22%	99.78%
4.5	4,56	0.06	1.33%	101.33%
Moyenne			0.15%	100.26%
Ecart type			1.33%	0.83%

d) Fidélité

La fidélité est évaluée par l'**écart type** (ou variance)

- ✓ La valeur cible de CV est : 0 (ce qui est impossible en pratique)
- ✓ La limite d'acceptabilité : 5%

Les valeurs obtenues sont rapportées dans le **Tableau 36** :

Tableau 36: Coefficient de variation intra- et inter groupe.

Paramètres		Concentration 1.5 ppm	Concentration 2.5ppm	Concentration 4.5ppm	Moyenne
Intragroupe					
J1	Ecart type	0.0017335	0.0085335	0.00603	
	Moyenne	1.523	2.487	4.507	
	CV	0.1138%	0.3431%	0.1339%	0.1969%
J2	Ecart type	0.0054335	0.0021	0.010436	
	Moyenne	1.473	2.54	4.493	
	CV	0.36887%	0.0827%	0.2322%	0.2279%
J3	Ecart type	0.0028	0.00824	0.00163	
	Moyenne	1.52	2.477	4.563	
	CV	0.1842%	0.3324%	0.0358%	0.1841%
Moyenne	CV	0.2223%	0.2527%	0.1340%	0.2030%
Inter groupe					
	Ecart type	0.0007	0.0039	0.0019	
	Moyenne	1.5	2.43	4.58	
	CV	0.0467%	0.1605%	0.0415%	0.0829%

D'une manière générale, on remarque que les coefficients de variation varient entre 0.0358% et 0.36887 % selon le jour et les concentrations.

Le coefficient de répétabilité est de **0.2030** (< 5%), et le coefficient de la fidélité intermédiaire est de **0.0829** (<5%), ce qui est conforme aux limites fixées.

e) Etablissement du profil d'exactitude du Plomb

L'exactitude de la méthode est représentée par le profil d'exactitude (**Figure 36**).

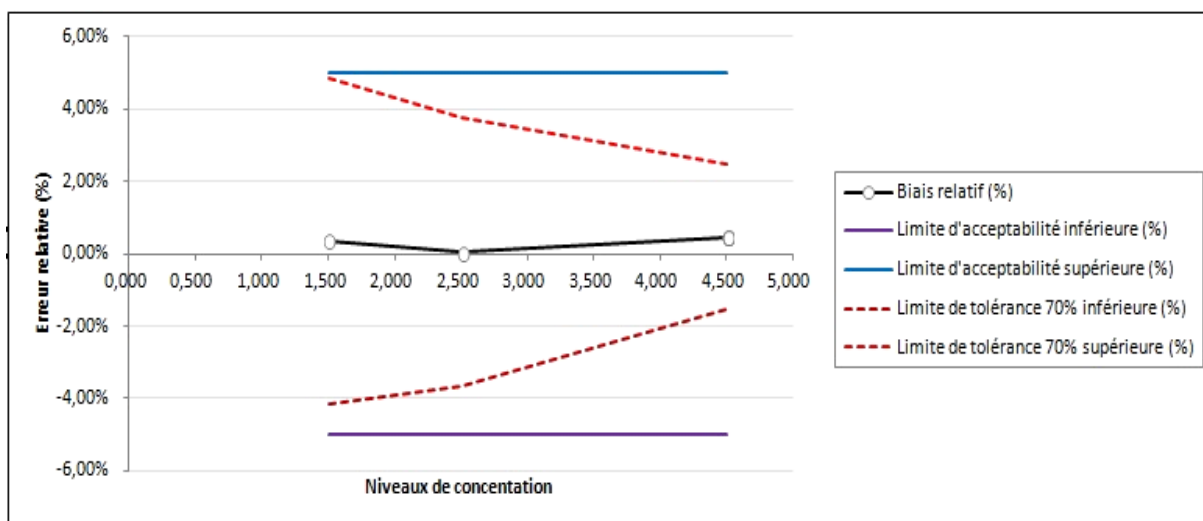


Figure 36: Profil d'exactitude du Plomb.

Avec :

Concentration théorique (ppm)	1.5	2.5	4.5
Moy des concentrations retrouvées (ppm)	1.506	2.501	4.521
Limite de tolérance basse (ppm)	1.438	2.408	4.430
Limite de tolérance haute (ppm)	1.573	2.594	4.612
Limite d'acceptabilité basse (%)	-4.13%	-3.67%	-1.55%
Limite d'acceptabilité haute (%)	+4.87%	+3.76%	+2.49%
Probabilité de tolérance β (%)	70%	70%	70%

La **Figure 36** montre que la méthode de dosage du Plomb est valide pour l'intervalle de dosage choisit où les limites haute et basse de l'intervalle de tolérance sont comprises dans les limites d'acceptabilité.

f) Limite de détection (LD) et de quantification (LQ)

Nous avons procédé au passage du blanc six fois de suite. Les résultats de mesure des densités optiques obtenues sont portés au **Tableau 37**.

Tableau 37: Densités optiques et écart type obtenus pour la solution du blanc.

Blanc	DO
1	0.0002
2	0.0001
3	0.0002
4	0.0004
5	0.0003
6	0.0005
Ecart type σ	0.000147196

$S = 0.0044$ (pente de la courbe du domaine de linéarité)

La limite de détection est donnée par :

$$LD = 3 \frac{\sigma}{S} = 3 \times \frac{0.000147196}{0.0044}$$

$$LD = 0.100360919 \text{ ppm}$$

La limite de quantification est donnée par :

$$LQ = 10 \frac{\sigma}{S} = 10 \times \frac{0.000147196}{0.0044}$$

$$LQ = 0.334536396 \text{ ppm}$$

g) Résumé de la validation pour le plomb

Le **Tableau 38** est un récapitulatif de la validation du Plomb.

Tableau 38: Tableau récapitulatif de la validation du Plomb.

Critères de validation	Performances
Intervalle de dosage	0.334-10 ppm
Linéarité	
Equation de la droite	$y = 0.0046x - 0.0014$
Coefficient de corrélation	$R^2 = 0.9991$
Limite de détection (LD)	0.100360919 ppm
Limite de quantification (LQ)	0.334536396 ppm
Justesse	
Recouvrement moyen (%)	100.26 % ± 0.83
Biais relatif	0.15 %
Fidélité	
CV répétabilité	0.2030 % (< 5%)
CV fidélité intermédiaire	0.0829 % (< 5%)
Exactitude (Justesse + Fidélité)	0.2329 % (< 5%)

3.2. Détermination des éléments traces dans les échantillons de dents

Nous rappelons dans le **Tableau 39** les teneurs normales des éléments étudiés dans les dents.

Tableau 39: Valeurs normales des métaux étudiés.

Élément	Concentration massique
Zinc	70-3500 ug/g. [80]
Cuivre	1-16 ug/g. [52]
Plomb	<4 ug/g. [67]

Les teneurs en cuivre, zinc et plomb retrouvées dans les dents analysées par SAAF sont rapportées dans le **Tableau 40**.

Tableau 40: Taux d'éléments traces dans les échantillons de dents.

Le code de la dent	Poids de la dent (g)	Teneur en Zn (ppm)	Teneur en Cu (ppm)	Teneur en Pb (ppm)	Teneur en Zn (µg/g)	Teneur en Cu (µg/g)	Teneur en Pb (µg/g)
A01-2	0.8543	5.9867	0.2594	<LQ	70,0773	3,0364	<LQ
A02	1.7425	4.5906	0.2932	0.8359	26,3449	1,6826	4,7971
A03	2.2614	6.1239	0.2875	0.7063	27,0801	1,2713	3,1233
A04	0.9262	6.3176	0.3664	0.9006	68,2099	3,9559	9,7236
A05-2	0.5516	4.4785	<LQ	<LQ	81,1911	<LQ	<LQ
A06-2	0.8902	5.4559	<LQ	0.5551	61,2885	<LQ	6,2357
A07	0.7115	6.1338	0.3382	0.8790	86,2094	4,7533	12,3542
A08	0.7923	5.6765	0.3382	0.7927	71,6458	4,2686	10,0050
A09	1.0511	6.2127	0.3607	0.4903	59,1067	3,4316	4,6646
A10-2	0.7948	5.2353	0.2340	<LQ	65,8694	2,9441	<LQ

A11	1.1544	6.4934	0.2734	1.5918	56,2491	2,3683	13,7890
A12	1.4570	6.5247	0.2875	0.7927	44,7817	1,9732	5,4406
A13	1.8608	6.7023	0.2763	0.7711	36,0184	1,4848	4,1439
A14	0.5632	4.9152	0.2847	0.8359	87,2727	5,0550	14,8420
A15	1.2414	6.6646	0.2228	0.7279	53,6862	1,7947	5,8635
A16	1.4446	6.5391	0.2368	1.6134	45,2658	1,6392	11,1685
A17	1.5562	6.1804	0.2481	0.6199	39,7147	1,5943	3,9834
B18	1.8210	7.3587	0.2368	0.4903	40,4102	1,3004	2,6925
B19	1.0387	6.2566	0.2960	<LQ	60,2349	2,8497	<LQ
B20	0.4338	3.0725	0.2312	<LQ	70,8276	5,3296	<LQ
B21	2.1289	6.5445	0.1946	<LQ	30,7412	0,9141	<LQ
B22	1.6817	6.9193	0.2650	0.4039	41,1447	1,5758	2,4017
B23-2	1.4960	5.9616	<LQ	0.4687	39,8503	<LQ	3,1330
B24	0.5166	5.3187	0.2030	<LQ	102,9559	3,9295	<LQ
B25	1.0668	7.0135	0.2228	0.7253	65,7433	2,0885	6,7988
B26-2	0.7286	4.5004	0.2481	<LQ	61,7678	3,4052	<LQ
B27	0.9154	5.9912	0.2537	0.4471	65,4490	2,7715	4,8842
B28	0.6125	4.8461	0.2256	<LQ	79,1200	3,6833	<LQ
B29	1.1108	6.4665	0.2678	<LQ	58,2148	2,4109	<LQ
B30	0.4814	4.7645	0.2932	<LQ	98,9717	6,0906	<LQ

B31	0.6468	4.9869	0.2622	<LQ	77,1011	4,0538	<LQ
B32	0.9964	6.2217	0.2256	<LQ	62,4418	2,2642	<LQ
B33	0.9458	6.8332	0.2734	0.9006	72,2478	2,8907	9,5221
C34-2	0.7266	5.4030	<LQ	0.4039	74,3600	<LQ	5,5588
C35	0.3952	4.6605	0.2256	0.4687	117,9276	5,7085	11,8598
C36	0.9098	6.6019	0.2256	<LQ	72,5643	2,4797	<LQ
C37	2.6355	6.6844	0.2960	0.6415	25,3629	1,1231	2,4341
C38	0.6787	5.3456	0.1918	<LQ	78,7623	2,8260	<LQ
C39	1.1246	6.7875	<LQ	<LQ	60,3548	<LQ	<LQ
C40-2	0.5300	6.3633	<LQ	<LQ	120,0623	<LQ	<LQ
C41-2	0.8975	5.7778	<LQ	0.5551	64,3766	<LQ	6,1850
C42	0.8660	6.1410	<LQ	<LQ	70,9122	<LQ	<LQ
C43-2	0.4509	4.5323	<LQ	1.2103	100,5167	<LQ	26.8419
C44	0.6855	4.9439	<LQ	<LQ	72,1211	<LQ	<LQ
C45-2	1.2634	6.4225	0.3044	<LQ	50,8350	2,4094	<LQ
C46-2	2.6285	4.8766	<LQ	<LQ	18,5528	<LQ	<LQ
C47-2	1.2724	6.1069	<LQ	<LQ	47,9951	<LQ	<LQ
C48	1.0358	6.3060	<LQ	<LQ	60,8805	<LQ	<LQ
D49	1.2254	6.3750	<LQ	0.3607	52,0238	<LQ	2,9435
D50	0.8870	6.5812	<LQ	<LQ	74,1962	<LQ	<LQ

D51	1.9263	6.9821	<LQ	<LQ	36,2462	<LQ	<LQ
D52	2.1429	7.8492	0.2256	<LQ	36,6289	1,0528	<LQ
D53	2.1882	9.2956	<LQ	<LQ	42,4806	<LQ	<LQ
D54	1.7785	7.2843	0.2002	<LQ	40,9575	1,1257	<LQ
D55	1.8655	9.4749	<LQ	<LQ	50,7901	<LQ	<LQ
D56-2	2.2515	6.2647	<LQ	<LQ	27,8246	<LQ	<LQ
D57	1.9214	7.4546	<LQ	<LQ	38,7978	<LQ	<LQ
D58-2	1.3614	7,8597	0,5563	1,8472	57,7325	4,0862	13,5684
D59	2.1565	6.6727	<LQ	<LQ	30,9423	1,4115	<LQ
D60	2.1156	6.3983	0.3044	<LQ	30,2434	1,4388	<LQ

Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus en ppm avec les teneurs normales des éléments étudiés au niveau des dents, nous avons converti les concentrations en $\mu\text{g/g}$ en appliquant la formule suivante :

$$C = \frac{(C' \times 0.01) \times 1000}{m}$$

Avec : **C** = concentration de l'élément trace en $\mu\text{g/g}$

C' = concentration de l'élément trace en ppm

m = masse de la dent entière en gramme

Les **Figures 37, 38 et 39** représentent les teneurs des éléments traces dans les échantillons par rapport aux valeurs normales.

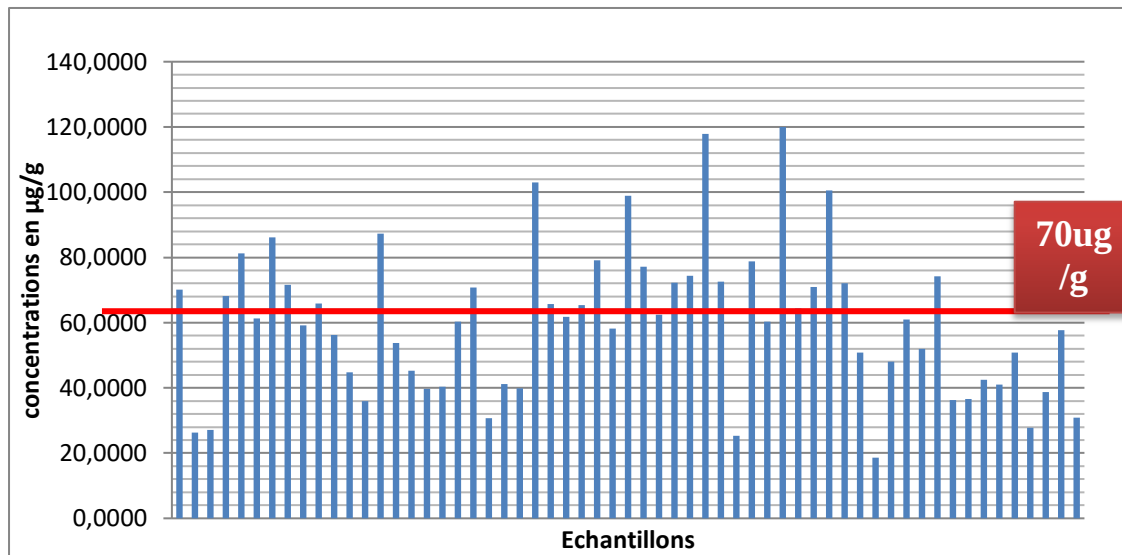


Figure 37: Teneurs en zinc par rapport à la valeur normales.

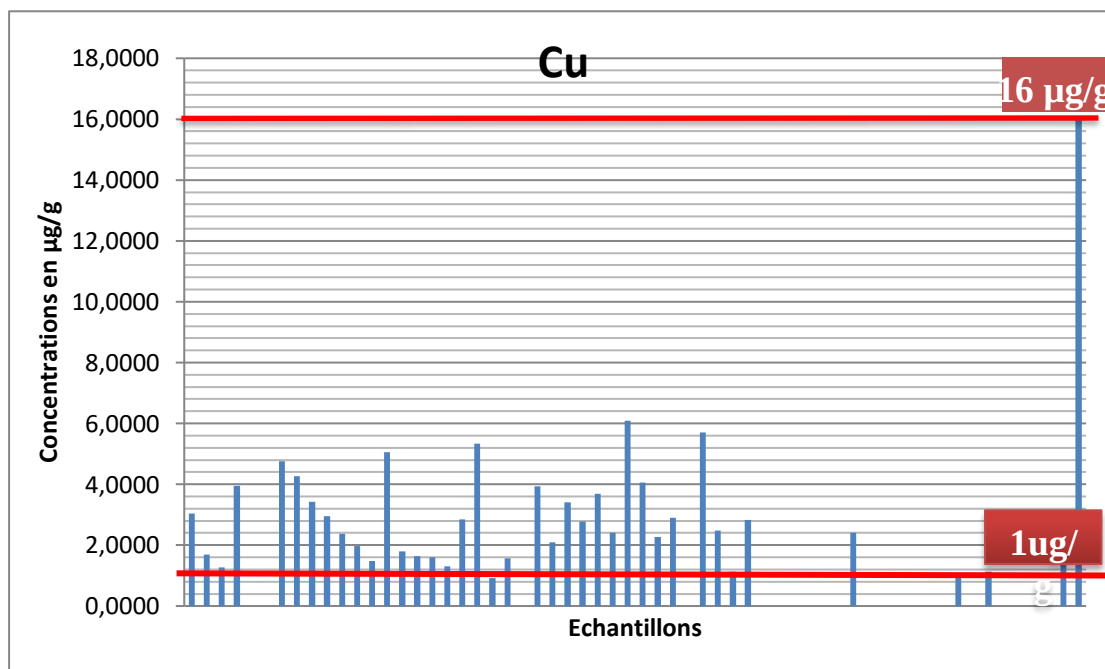


Figure 38: Teneurs en cuivre par rapport à la valeur normales.

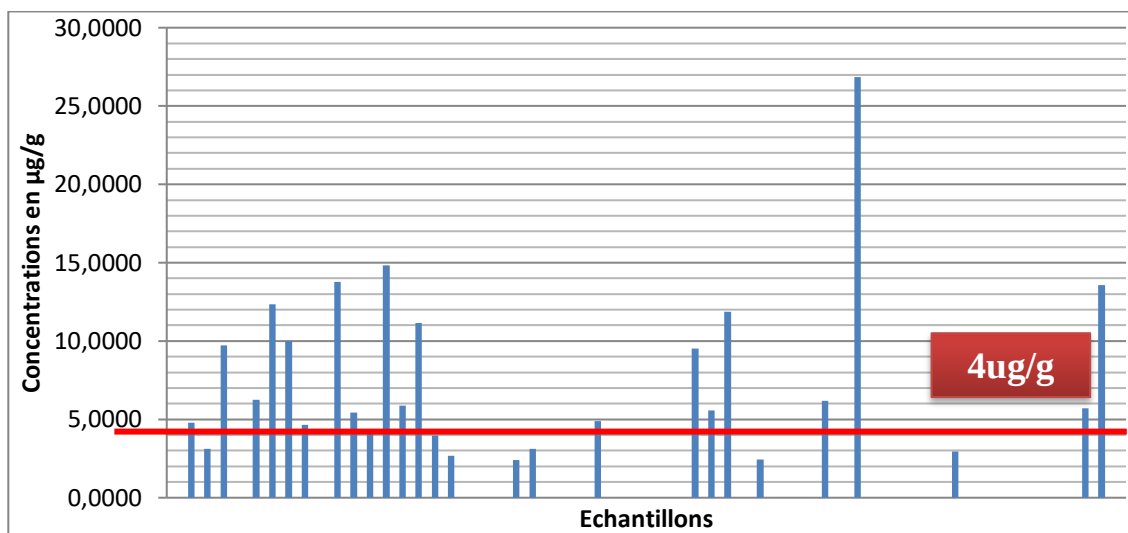


Figure 39: Teneurs en Pb par rapport à la valeur normales.

3.2.1 Répartition des teneurs des métaux dans les dents en fonction de la limite de quantification

a) Répartition des teneurs en Zinc dans les dents en fonction de la limite de quantification

Les résultats obtenus sont rapportés dans la **Figure 40** :

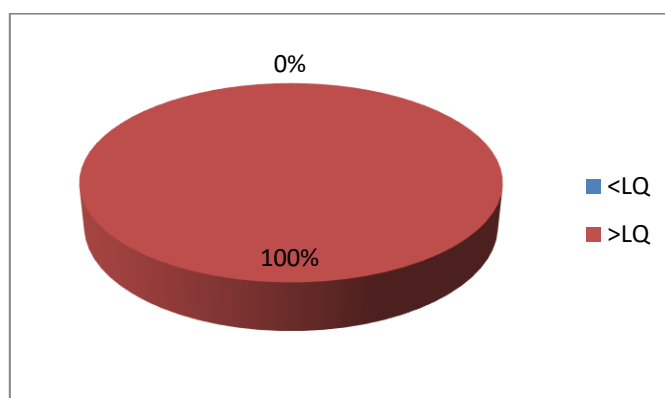


Figure 40: Répartition des teneurs en Zinc dans les dents en fonction de la limite de quantification.

b) Répartition des teneurs en Cuivre dans les dents en fonction de la limite de quantification

Les résultats obtenus sont rapportés dans les **Figures 41 et 42** :

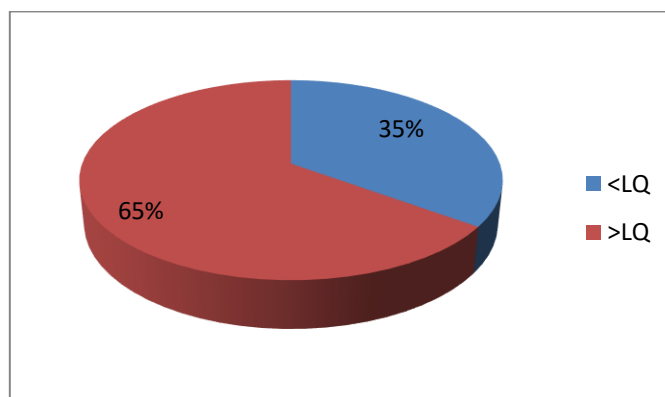


Figure 41: Répartition des teneurs en Cuivre dans les dents en fonction de la limite de quantification

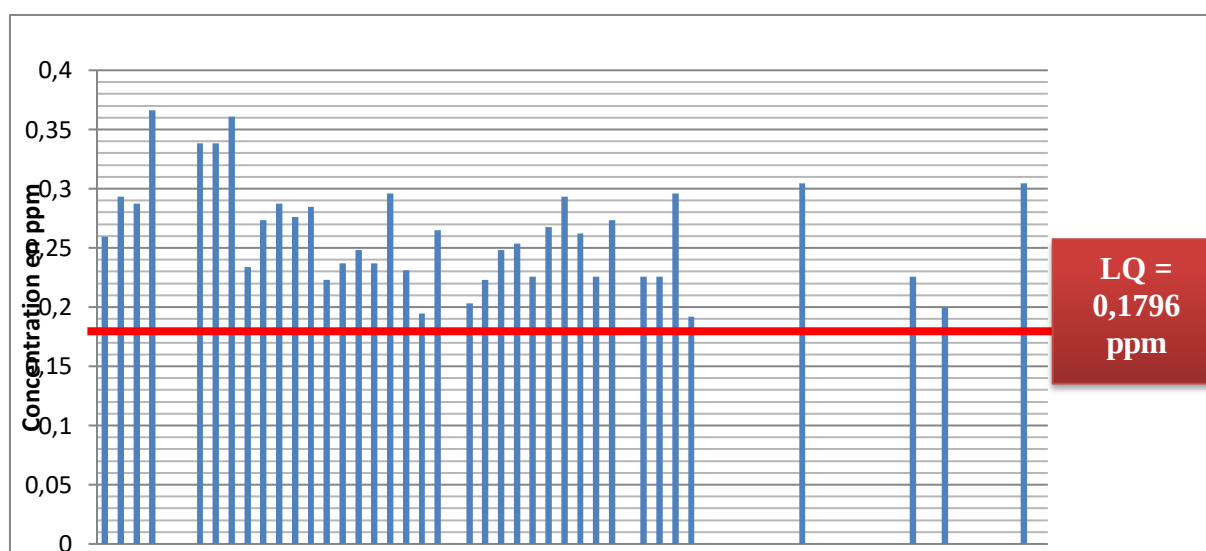


Figure 42: Teneurs du cuivre dans les dents

c) Répartition des teneurs en Plomb dans les dents en fonction de la limite de quantification

Les résultats obtenus sont rapportés dans les **Figures 43 et 44** :

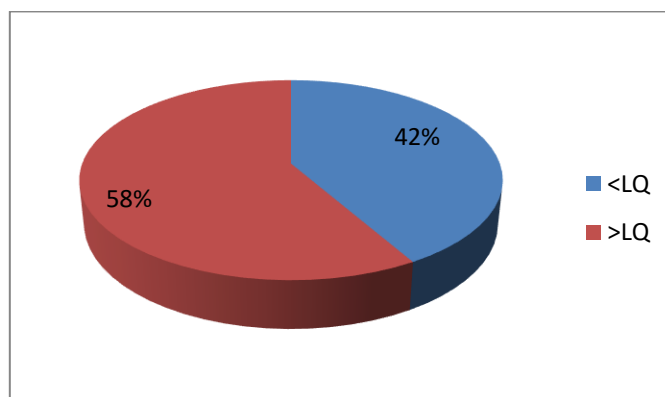


Figure 43: Répartition des teneurs en Plomb dans les dents en fonction de la limite de quantification

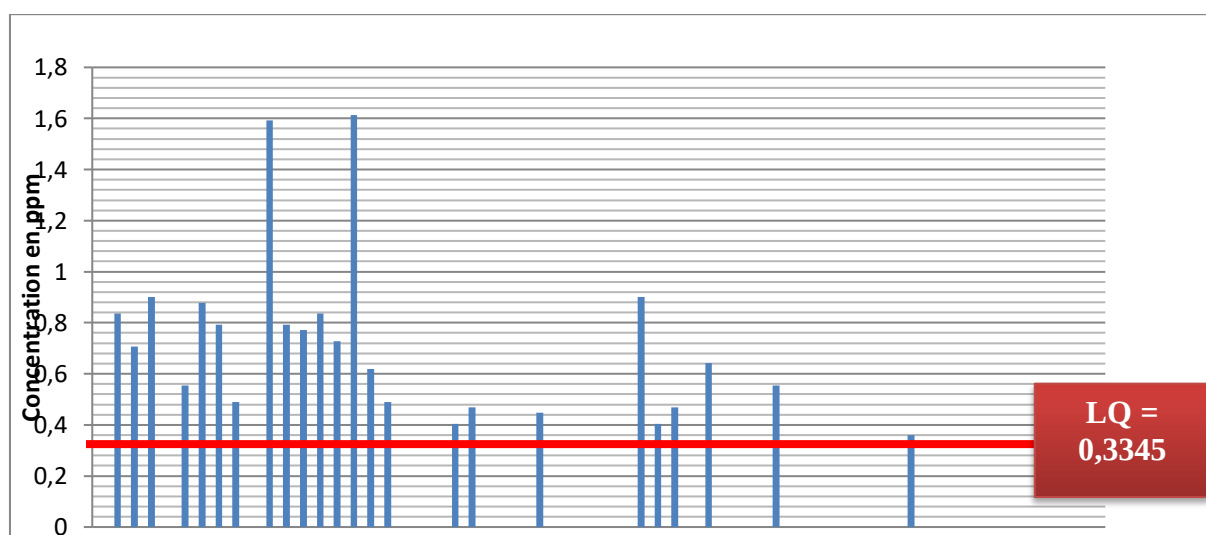


Figure 44: Teneurs du plomb dans les dents

3.2.2. Répartition des teneurs des métaux dans les dents en fonction des valeurs normales

Les **Figures 45, 46 et 47** représentent la répartition des teneurs en les 3 éléments traces en fonction des VN.

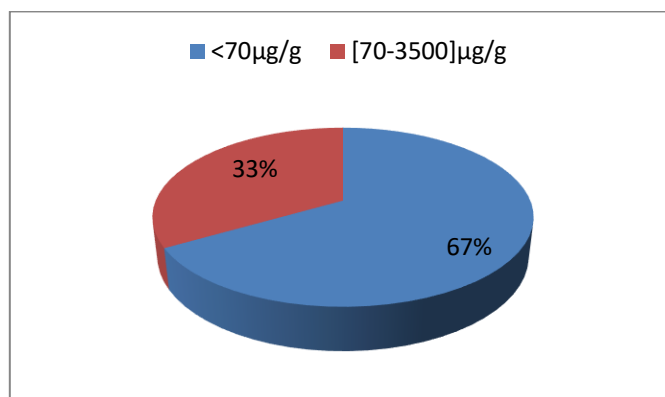


Figure 45: Répartition des teneurs en Zinc dans les dents en fonction des VN.

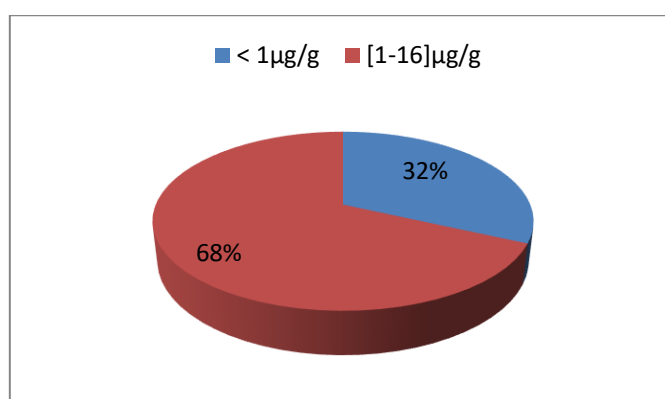


Figure 46: Répartition des teneurs en Cuivre dans les dents en fonction des VN.

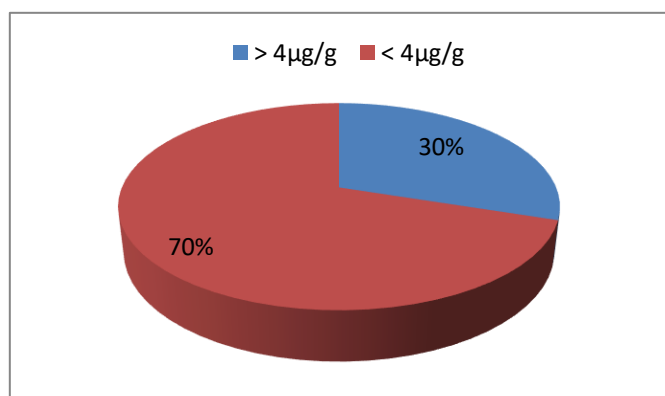


Figure 47: Répartition des teneurs en Plomb dans les dents en fonction des VN

4. Résumé des résultats de l'érosion et des concentrations en éléments traces étudiés

Dans le but de trouver la corrélation entre les deux études, nous avons tracé des tableaux récapitulatifs (les Tableaux 41,42 et 43).

4.1. Café

Tableau 41: Résumé des résultats de l'érosion et concentrations en éléments traces étudiés dans le café.

Code de la dent immergée dans le café	Pourcentage de perte totale (%)	Code de la dent utilisée pour le dosage des éléments traces	Teneur en Zn (ug/g)	Teneur en Cu (ug/g)	Teneur en Pb (ug/g)
B23-1	3.56	B23-2	39,8503	<LQ	3,1330
C41-1	7.44	C41-2	64,3766	<LQ	6,1850
A06-1	3.00	A06-2	61,2885	<LQ	6,2357
C34-1	7.22	C34-2	74,3600	<LQ	5,5588
D56-1	8.94	D56-2	27,8246	<LQ	<LQ

4.2. Coca Cola

Tableau 42: Résumé des résultats de l'érosion et concentrations en éléments traces étudiés dans le Coca-Cola.

Code de la dent immergée dans le Coca cola	Pourcentage de perte totale (%)	Code de la dent utilisée pour le dosage des éléments traces	Teneur en Zn (ug/g)	Teneur en Cu (ug/g)	Teneur en Pb (ug/g)
C46-1	7.15	C46-2	18,5528	<LQ	<LQ
A05-1	9.91	A05-2	81,1911	<LQ	<LQ
C47-1	6.77	C47-2	47,9951	<LQ	<LQ
C40-1	5.82	C40-2	120,0623	<LQ	<LQ
C43-1	10.20	C43-2	100,5167	<LQ	<LQ

4.3. Boisson énergétique TNT

Tableau 43: Résumé des résultats de l'érosion et concentrations en éléments traces étudiés dans le TNT.

Code de la dent immergée dans le TNT	Pourcentage de perte totale (%)	Code de la dent utilisée pour le dosage des éléments traces	Teneur en Zn (ug/g)	Teneur en Cu (ug/g)	Teneur en Pb (ug/g)
C45-1	12.74	C45-2	50,8350	2,4094	<LQ
D58-1	7.43	D58-2	57,7325	4,0862	13,5684
A01-1	6.48	A01-2	70,0773	3,0364	<LQ
B26-1	11.14	B26-2	61,7678	3,4052	<LQ
A10-1	6.79	A10-2	65,8694	2,9441	<LQ

Chapitre III : Discussion

Notre étude descriptive est réalisée sur 75 dents humaines collectées. Ce travail propose une méthode de dosage des éléments traces dans les dents humaines. La méthode ainsi proposée se fonde sur des bases scientifiques collectées. La spectrométrie absorption atomique avec flamme a été utilisée dans cette étude.

Notre objectif à travers ce travail est d'évaluer les teneurs en éléments traces : Pb, Zn, et Cu dans les dents provenant de 4 régions de la wilaya de Tizi-Ouzou (Draa El Mizane, Boghni, Makouda et Draa Ben Khedda).

Nous discuterons dans ce chapitre les résultats obtenus en tenant compte des informations rapportées à travers le questionnaire auprès des patients, à savoir : l'âge, le sexe, le type d'habitation, la nature de l'eau consommé, et la consommation du tabac. Puis nous allons évaluer la corrélation entre ces résultats avec ceux de l'étude de l'érosion dentaire. Enfin, Nous allons faire une comparaison avec d'autres études internationales réalisée à ce sujet.

1. Biais et limites de l'étude

Au cours de cette étude, nous avons été confrontés à un certain nombre de difficultés, notamment :

- ✓ Les patients ayant participé n'étaient parfois pas coopérants et n'acceptaient pas de répondre à toutes les questions du questionnaire ;
- ✓ Les dents collectées provenaient d'extractions dentaires et n'étaient pas saines, la plupart d'entre elles contenaient des caries ou étaient lésées ;
- ✓ Les tubes utilisés pour l'étude étant trop fragiles se cassaient durant la manipulation.
- ✓ Durant l'étape de minéralisation, nous avons utilisé des acides forts qui sont très irritants et qui ont nécessité une manipulation sous hotte ;
- ✓ Au cours de notre manipulation, nous étions confrontés à une rupture de gaz d'acétylène qui a provoqué un retard considérable de notre phase analytique sur la SAAF ;
- ✓ La validation des méthodes analytiques s'est faite sur une matrice simple. Or, les échantillons étaient constitués d'une matrice différente à base de dents dissoutes dans les acides forts. Néanmoins, il est difficile de recréer chimiquement une telle matrice ;
- ✓ Un nombre important d'échantillons ont des concentrations inférieures à la limite de quantification, nécessitant un appareil plus sensible que la SAAF.

Notre étude a été effectuée sur plusieurs paramètres de validation. Ces paramètres ont fait l'objet d'une évaluation fondée sur des données expérimentales, ce qui a permis d'apporter la preuve

que notre méthode s'applique bien aux produits analysés. Il s'agit notamment des études faites sur la linéarité, la justesse, l'exactitude, la fidélité, la limite de détection et de quantification.

2. Discussion des résultats selon les valeurs normales

2.1. Plomb

Sur les 60 dents analysées, 20 présentaient des valeurs supérieures à $4\mu\text{g/g}$ (les valeurs variaient entre $4.6646\mu\text{g/g}$ et $26.8419\mu\text{g/g}$) soit 33.33% des échantillons.

1.1.1 Répartition des résultats $> 4\mu\text{g/g}$

a) Selon l'âge

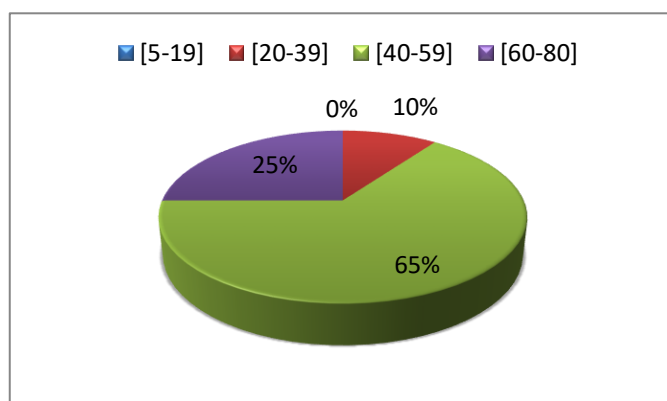
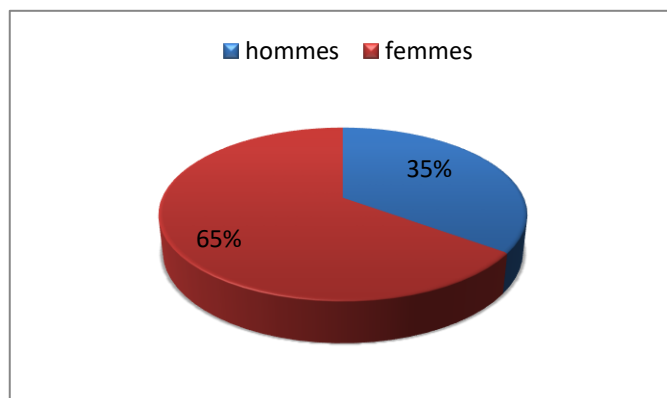


Figure 48: Répartition des échantillons selon l'âge.

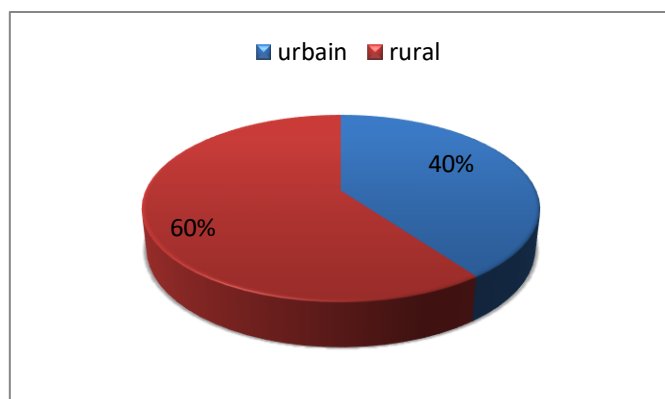
Sur les 20 échantillons revenus supérieurs à $4\mu\text{g/g}$:

- ✓ La majorité des échantillons ($n=13$) sont issus de patients entre 40 et 59 ans, soit 65% ;
- ✓ 5 échantillons sont issus de patients entre 60 et 80 ans, soit 25% ;
- ✓ 2 échantillons sont issus de patients entre 20 et 39 ans, soit 10% ;
- ✓ Aucun échantillon issu de patients entre 5 et 19 ans, soit 0%.

b) Selon le sexe**Figure 49: Répartition des échantillons selon le sexe.**

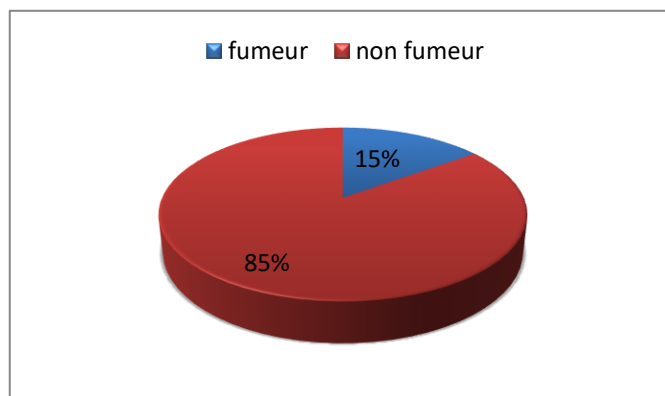
Sur les 20 échantillons revenus supérieurs à 4 $\mu\text{g/g}$:

- ✓ La plupart des échantillons (n=13) sont des femmes, soit 65%.
- ✓ 7 échantillons sont des hommes, soit 35%.

c) Selon le type d'habitation**Figure 50: Répartition des échantillons selon le type d'habitation.**

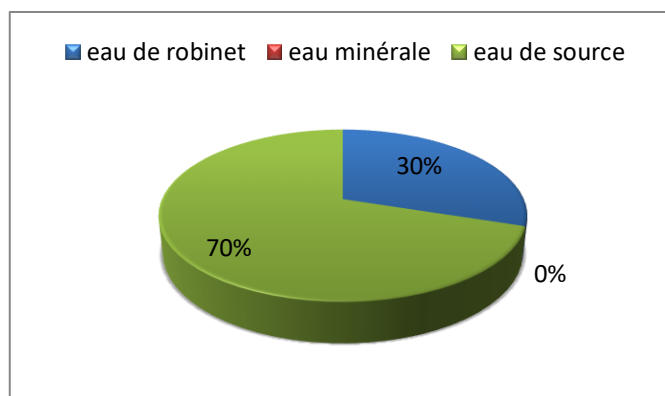
Sur les 20 échantillons revenus supérieurs à 4 $\mu\text{g/g}$:

- ✓ La majorité des échantillons (n=12) sont issus de patients habitant dans les zones rurales, soit 60% ;
- ✓ 8 échantillons sont issus de patients habitant dans les zones urbaines, soit 40% ;

d) Selon la consommation du tabac**Figure 51: Répartition des échantillons selon la consommation du tabac.**

Sur les 20 échantillons revenus supérieurs à 4 $\mu\text{g/g}$:

- ✓ La plupart des échantillons (n=17) sont issus de patients non-fumeurs, soit 85% ;
- ✓ 3 échantillons sont issus de patients fumeurs, soit 15% ;

e) Selon la nature d'eau consommée**Figure 52: Répartition des échantillons selon la nature d'eau consommée.**

Sur les 20 échantillons revenus supérieurs à 4 $\mu\text{g/g}$:

- ✓ La majorité des échantillons (n=14) sont issus de patients consommateurs d'eau de source, soit 70% ;
- ✓ Six échantillons sont issus de patients consommateurs d'eau de robinet, soit 30% ;
- ✓ Aucun échantillon issu de patients consommateurs d'eau minérale, soit 0%.

2.2. Cuivre

- ✓ La majorité des échantillons (n=21), soit 95% des concentrations inférieures à 1 µg/g sont toutes inférieures à la LQ.
- ✓ Un seul échantillon, soit 5% présente une valeur supérieure à la limite de quantification.

2.3. Zinc

2.3.1 Répartition des résultats < 70 µg/g

a) Selon l'âge

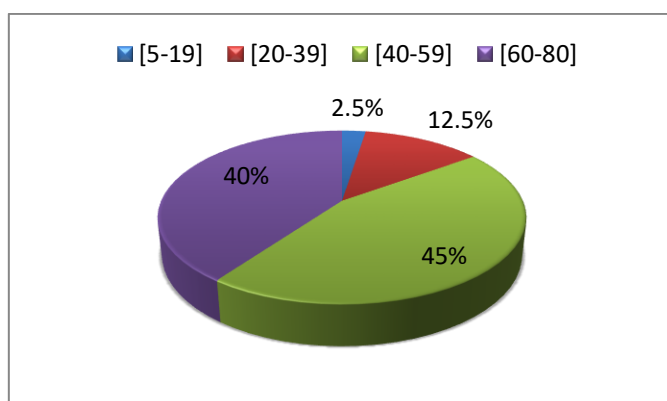


Figure 53: Répartition des échantillons selon l'âge.

Sur les 40 échantillons revenus inférieurs à 70 µg/g :

- ✓ La majorité des échantillons (n=18) sont issus de patients entre 40 et 59 ans, soit 45% ;
- ✓ 16 échantillons sont issus de patients entre 60 et 80 ans, soit 40% ;
- ✓ 5 échantillons sont issus de patients entre 20 et 39 ans, soit 12.5% ;
- ✓ Un seul échantillon issu de patients entre 5 et 19 ans, soit 2.5%.

b) Selon le sexe

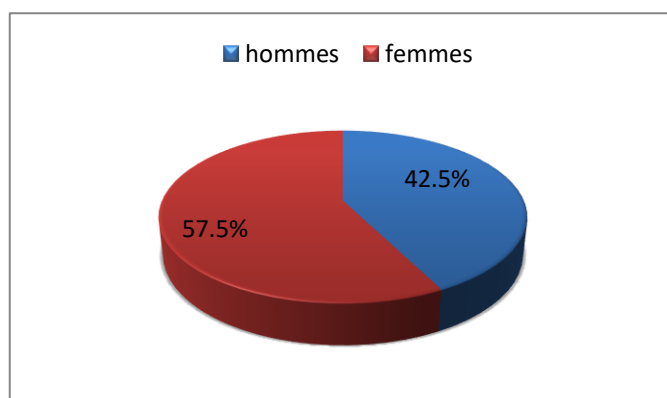


Figure 54: Répartition des échantillons selon le sexe.

Sur les 40 échantillons revenus inférieurs à 70 $\mu\text{g/g}$:

- ✓ La plupart des échantillons (n=23) sont des femmes, soit 57.5% ;
- ✓ 17 échantillons sont des hommes, soit 42.5% ;

c) Selon la nature d'eau consommée

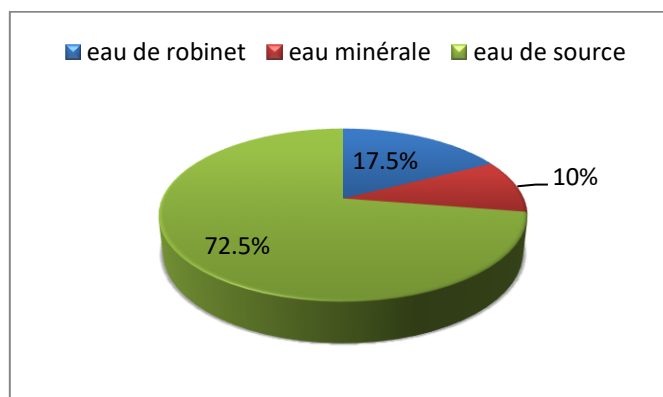


Figure 55: Répartition des échantillons selon la nature d'eau consommée.

Sur les 40 échantillons revenus inférieurs à 70 $\mu\text{g/g}$:

- ✓ La majorité des échantillons (n=29) sont issus de patients consommateurs d'eau de source, soit 72.5% ;
- ✓ 7 échantillons sont issus de patients consommateurs d'eau de robinet, soit 17.5% ;
- ✓ 4 échantillons sont issus de patients consommateurs d'eau minérale, soit 10% ;

La majorité des valeurs toxiques du plomb sont retrouvées chez les patients âgés de 40 ans à 59 ans, chez les femmes, les personnes habitants dans les zones rurales, chez les non-fumeurs, et les consommateurs d'eau de source.

Cela contredit les données de la littérature qui indiquent que la concentration du Pb est plus élevée dans les zones urbaines industrialisée car le Pb est considéré comme bio-indicateur de pollution de l'environnement par ce métal [67].

On peut expliquer cette contradiction par le fait que les régions urbaines étudiées ne sont pas très industrialisées, ou par l'utilisation des ustensiles en poterie émaillée, où le plomb entre dans sa composition, par les habitants des zones rurales, pour la conservation et le stockage des produits alimentaires [96].

Selon la monographie du plomb étudiée précédemment, La concentration du plomb dans les eaux naturelles souterraines et de surface est généralement faible, par contre, les eaux acides ou faiblement minéralisées peuvent s'enrichir en plomb, lors de leur distribution, si le système

d'adduction contient des éléments en plomb (eau de robinet), ce qui est en concordance avec les résultats retrouvés.

D'après les données de la littérature, le plomb se trouve dans le tabac, le papier à cigarettes, les filtres, et la fumée de cigarette, et donc chez les fumeurs se trouve élevée, ce qui est en concordance avec les résultats retrouvés [97].

Concernant les concentrations en zinc inférieures à 70 µg/g sont présentes chez les personnes âgées de 40 ans à 59 ans, avec un taux de 45%, et chez les femmes avec un taux de 58%. Quant au cuivre, 95% des concentrations inférieures à 1 µg/g sont inférieures à la LQ. Cette diminution des teneurs en zinc et en cuivre, peut être expliquée par une carence, qui est dû à une alimentation pauvre en zinc et en cuivre.

3. Corrélation entre les concentrations en éléments traces avec l'érosion dentaire

D'après les **tableaux 41, 42 et 43**, il n'existe aucune corrélation entre la concentration des éléments traces étudiés et le pourcentage de perte des dents immergées dans les boissons. Donc la perte de masse est due au pH des boissons utilisées.

Les **tableaux 15, 16 et 17** montrent que le pourcentage moyen de perte est plus élevée dans les dents immergées dans la boisson énergétique « TNT » avec une moyenne de 8.92% et dans la boisson gazeuse « Coca Cola » avec une moyenne de 7.97%, ayant des pH : 2.79, et 2.72 respectivement. Par contre, les dents immergées dans le café où le pH est de 5.19, présentent un pourcentage moyen de perte de 6.03%. Donc, plus le pH diminue, plus la perte de masse augmente.

4. Comparaison avec d'autres études internationales

Arruda-Neto et al, ont analysé 74 dents sur la plus grande ville du Brésil, Sao Paulo, où les concentrations de plomb, cuivre, et zinc dans les sédiments ont été trouvés supérieur aux limites acceptées. Ils ont constaté que la concentration de plomb était 40 % plus élevée dans les dents prélevées dans cette zone [98].

Une étude faite par « Tvinnereim et al » a déterminé le niveau d'exposition au plomb chez les enfants éthiopiens des zones rurales et urbaines. Les dents venant d'Addis Ababa (populations urbaines) avait des concentrations en plomb statistiquement plus élevé que celles de la vallée du Rift (populations rurales) [99].

Une autre étude illustre également des niveaux élevés de plomb dans les dents des populations vivant dans les pays industrialisés. Ils montrent que les concentrations la plus élevée de plomb dans les dents permanentes humaines étaient à Mitrovica (22,3 mg/kg), suivi de Klina (3,1 mg/kg) et Graz (1,6 mg/kg). Les auteurs ont expliqué cela par le fait que Mitrovica est une zone industrielle avec diverses unités technologiques : grandes fonderies, raffineries, flottation, usine de batteries et production d'acide sulfurique établissement [100].

Cependant, il existe d'autres études qui ont rapporté différemment. Ils n'ont pas observé de différence significative entre la région d'Ankara (urbaine) et de Balikesir (banlieue) en Turquie [101].

Une étude réalisée en Jordanie où ils ont déterminé la concentration du plomb dans les dents humaines chez ces deux catégories, a montré que la teneur en Pb chez les fumeurs est supérieure à celle trouvée chez les non-fumeurs [1].

Une étude réalisée en Iraq a montré que le taux des éléments traces y compris le zinc, le cuivre et le plomb était plus élevé chez les fumeurs que chez les non-fumeurs. Leurs résultats ont montré que l'érosion dentaire par différentes boissons dépendait du pH des boissons utilisées, qui augmente avec la diminution du pH [102].

Malgré une connaissance sans cesse croissante de l'influence négative des ions de métaux lourds sur l'organisme, nous ne connaissons toujours pas tout le spectre de leur impact négatif sur la santé humaine. Il ne fait cependant aucun doute que le risque d'exposition à des traces biologiques potentiellement nocives doit être minimisé, non seulement dans les groupes professionnels particulièrement exposés, mais aussi dans des populations entières. L'une des composantes de l'évaluation des risques pour la santé consiste à surveiller la teneur en éléments nocifs de l'organisme. Contrairement aux cheveux ou aux fluides corporels, les dents incluses, obtenues à la suite d'interventions chirurgicales dentaires de routine, semblent constituer un matériau extrêmement précieux qui permet une évaluation quantitative et qualitative de l'exposition à long terme des patients à des produits chimiques potentiellement dangereux pour la santé.

Afin d'évaluer un éventuel l'état nutritionnel et de surveiller l'impact de la pollution environnementale sur la population de la wilaya de Tizi-ouzou, trois éléments à savoir, le plomb, le zinc et le cuivre ont été étudiés puis une détermination de leur concentration dans les dents humaines est donc réalisée.

Les résultats obtenus indiquent qu'un nombre élevé de patients présentait une valeur toxique du plomb, où leur concentration était supérieure à la norme, c'est-à-dire supérieure à 4µg/g. tandis que la majorité des patients de la population étudiée présentait des concentrations inférieures à la norme pour le zinc (< 70µg/g) et dans les normes concernant le cuivre (entre 1 et 16 µg/g).

Le manque ou la surcharge d'un oligo-élément essentiel particulier peut être débilitant ou mettre la vie en danger. La carence en élément essentiel peut être due à une insuffisance alimentaire ou à une mauvaise santé, cette dernière pouvant résulter d'une malabsorption d'un élément particulier. Les valeurs actuelles peuvent soutenir un besoin de suppléments de Zn et Cu dans le régime alimentaire de la population étudiée.

Le dosage a été réalisé par la spectrométrie d'absorption atomique à flamme, une technique qui n'est pas suffisamment sensible pour quantifier les traces de métaux à des concentrations de l'ordre du ppb ou moins. En effet, un nombre important des résultats obtenus sont inférieur à la limite de quantification, ceci peut indiquer que les échantillons récoltés ne contiennent pas les éléments traces étudiés, comme il est possible qu'ils soient présents à des teneurs trop faibles

pour être détecté par la méthode de dosage utilisée. Pour cela un dosage par une méthode encore plus sensible est souhaitable.

En outre, une étude plus approfondie avec un échantillon de grande taille (représentatif) serait souhaitable pour garantir les niveaux réels de ces oligo-éléments dans les dents humaines en tant que marqueur de pollution/état nutritionnel pour la population à l'étude. Un bon nombre d'autres éléments pouvant aussi s'incorporer dans les dents peuvent être étudiés par la même occasion.

Même si cette étude a été réalisée sur un nombre d'échantillons insuffisamment élevés pour permettre une comparaison significative selon les paramètres étudiés ; l'âge, le sexe, la consommation du tabac, la nature d'eau consommée et le type d'habitation, les résultats intéressants obtenus avec le plomb peuvent servir de point de départ à une étude plus complète; celle-ci devra comprendre non seulement un nombre d'échantillons plus élevés, mais aussi chaque paramètre étudié doit avoir un nombre d'échantillon propre, bien choisi et soumis à des conditions d'étude précises.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] A. Alomary, I. Al-Momani et A. Massadeh, Lead and cadmium in human teeth from Jordan by atomic absorption spectrometry: Some factors influencing their concentrations, *Science of the Total Environment*, 2006.
- [2] B. Gulson et D. Wilson, «History of Lead exposure in children Revealed from Isotopic Analysis of Teeth.,» *Archives of Environmental Health* , pp. 279-283, 1994.
- [3] R. MARTIN, S. Naftel, A. Nelson, A. Feilen et A. Narvaez, «Metal Distributions in the Cementum Rings of Human Teeth: Possible Depositional Chronologies and Diagenesis,» *Journal of Archaeological Science*, pp. 936-945, 2007.
- [4] F. Al-Mahroos et F. Al-Saleh, «Lead Levels in Deciduous Teeth of Children in Bahrain,» *Annals of Tropical Paediatrics*, pp. 147-154, 1997.
- [5] M. Carvalho, A. Karydas, C. Casaca, C. Zarkadas, T. Paradellis, M. Kokkoris, B. Nsouli et A. Cuhna, «Fluorine Determination in Humain Healthy and Carious Teeth Using the PIGE Technique,» *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, pp. 561-567, 2001.
- [6] G. C, Definition of erosion and links to tooth wear.monog of oral sci, 2006.
- [7] S. BROOKES, R. SHORE, C. ROBINSON et S. & K. WOOD, Copper ions inhibit the demineralisation of human enamel, *Archives of Oral Biology*, 2003.
- [8] M. S. Doğan, Relation of trace elements on dental health, Intechopen, 2018.
- [9] A. LAUTROU, Anatomie dentaire 2 éme édition 264 P, Paris: Masson, 1998.
- [10] E. PIETTE et M. GOLDBERG, La dent normale et pathologique P392, Bruxelles: De Boeck université, 2001.
- [11] S. FAURE, L'anatomie bucco-dentaire P14, Actual pharm.Vol. 49, num 495, Avril 2010.
- [12] P. BERCY et H. TENENBAUM, Parodontologie: du diagnostic à la pratique. P 289, Paris: Bruxelles: De Boeck Université, 1996.
- [13] B. VIDAILHET, O. ROBIN, A. POLO, P. BRAVETTI et MAHL, Salivation P 1-8, EMC- Médecine Buccale, 2008.
- [14] G. MOUNT et W. HUME, Préservation et restauration de la structure dentaire, 1ére édition P280, Paris, Bruxelles: De Boeck université, 2002.
- [15] A. Boyer, Synthèse, caractérisation et évaluation biologique d'apatites phosphocalciques carbo silicatées Biotechnologies, Saint-Etienne: Ecole Nationale Supérieure des Mines Saint-Etienne, 2014.
- [16] R. Wilson, J. Elliott et S. Dowker, Rietveld refinement of the crystallographic structure of human dental enamel apatites, 1999.

- [17] R. LEGEROS et J. LEGEROS, Hydroxyapatite. Bioceramics and Their Clinical Applications, 367–394, 2008.
- [18] L. MERAMETDJIAN, *Phosphate et minéralisation dentaire, Quel role pour les transporteurs de phosphate*, Nantes, 2016.
- [19] C. ROBINSON, The chemistry of enamel caries. Critical Reviews in Oral Biology and Medicine, 2000.
- [20] C. Ganss, Definition of erosion and links to tooth wear.monog of oral sci, 2006.
- [21] A. LUSSI, Dental erosion: from diagnosis to therapy. Vol 20, Karger, 2006.
- [22] T. Imfeld, Dental erosion.Definition, classification and links, 1996.
- [23] Z. Cheng, X. Wang, F. Cui, F. Ge et J. Yan, The enamel softening and loss during early erosion, AFM, SEM and nanion -dentation, 2009.
- [24] M. Addy et R. Shellis, Interaction between attrition, abrasion and erosion intooth wear, 2006.
- [25] P. Lasfagues et J. Colon, Odontologie conservatrice et restauratrice, Tome 1: une approche médicale globale, paris: Editions CdP, 2010.
- [26] J. Coombes, sport drinks and dental erosion, 2005.
- [27] A. LUSSI, T. Jaeggi, R. Hickel, E. Hellwig et C. Ganss, L'érosion dentaire: diagnostic, évaluation du risque, prévention, traitement. P132, Paris, France, 2012.
- [28] L. Jager, Les lésions cervicales d'usures, du diagnostic au traitement, Nancy, 2011.
- [29] J. NUNN, S. NG, I. SHARKEY et M. COULTHARD, The dental implications of chronic use of acidic medicines in medically comprolised children, 2001.
- [30] A. Duxbury, Ecstasy-dental implications P38, 1993.
- [31] A. Shaw et L. Smith, Dental erosion- the problem and practical solutions, 13 février 1998.
- [32] H. TEN BRUGGEN CATE, Dental erosion in industry Br J Ind Med, 1968 Oct; 25(4):249-266.
- [33] B. CENTERWALL, C. ARMSTRONG, L. FUNKHOUSER et ELZAY, Erosion of dental enamel among competitive swimmers at a gas-chlorinatedswimming pool, 1986 Apr.
- [34] M. FERGUSON, R. DUNBAR et J. WALL, Enemal erosion related to winemaking occup, Med(Lond), 1996 Apr.
- [35] A. GRAY, M. FERGUSON et J. WALL, Wine tasting and dental erosion. Case report Aust Dent, 1998 Feb.
- [36] R. BARRON, R. CARMICHAEL et M. MARCON, Érosion dentaire et reflux gastro-oesophagien pathologique, J Can Dent Assoc, 2003 ; 69 : 84–89.

-
- [37] W. Young et F. Khan, Sites of dental erosion are saliva-dependent. *J Oral Rehabil*, 2002.
 - [38] M. Sixou, A. Diouf et D. Alvares, Biofilm buccal et pathologies buccodentaires. *Antibiotiques*, 2007.
 - [39] R. Papp, Les Propriétés Environnementales des éléments traces - Rév 1, CNEEIC Collège National d'Experts en Environnement de l'Industrie Chimique.
 - [40] M. Berger, Éléments traces. In: *Traité de nutrition artificielle de l'adulte*, Paris: Springer, 2007.
 - [41] Ghadimi & al, Trace elements can influence the physical properties of tooth enamel, Springer, 2013.
 - [42] M. Eskin, Oligo-éléments dans les dents: une source d'information sur l'alimentation et l'environnement. *Vitam Miner*, 2016.
 - [43] L. Prashanth, K. Kattapagari, R. Chitturi RT et V. Baddam, «A review on role of essential trace elements in health and disease,» *Journal University of Health Sciences*, pp. 4(2):75-78, 2015.
 - [44] M. Pathak, V. Shetty et D. Kalra, «Trace elements and oral health: A systematic review,» *Journal of Advanced Oral Research*, pp. 7(2):12-20, 2016.
 - [45] P. Bhattacharya, S. Misra et M. Hussain, «Nutritional aspects of essential trace elements in oral health and disease,» *An extensive review. Scientifica*, pp. 12-24, 2016.
 - [46] F. J. Barbosa, J. Tanus-Santos et R. Gerlach, «A critical review of biomarkers used for monitoring human exposure to lead: Advantages, limitations, and future needs,» *Environmental Health Perspectives*, pp. 1669-1674, 2005.
 - [47] R. Pilarczyk, J. Wójcik, P. Czerniak, P. Sablik P, B. Pilarczyk et A. Tomza-Marciniak, «Con- centrations of toxic heavy metals and trace elements in raw milk of Simmental and Holstein-Friesian cows from organic farm,» *Con- centrations of toxic heavy metals and trace elements in rEnvironmental Monitoring and Assessment*, 2013.
 - [48] A. Bigi, M. Massimo Gandolf et M. Gazzano, Structural Modifications of Hydroxyapatite induced by Lead Substitution for Calcium, 1991.
 - [49] EniG, *Tableau périodique des éléments. Generalic, Eni, «Tableaux et articles ».*, Split, Croatia(Hrvatska): Faculty of chemistry and Technology.
 - [50] M. Leslie, Klevay Lack of a Recommended Dietary Allowance forCopper may be Hazardous to Your Health, *Journal of the American College of Nutrition*, 1998.
 - [51] L. KNOTT et A. BAILEY, Collagen cross-links in mineralizing tissues: a review of their chemistry, function, and clinical relevance. 181-187, 1998.
 - [52] M. Biljana, Kalicanin, S. Ruzica et Nikolic, Potentiometric stripping analysis of zinc and copper in human teeth and dental materials 93-99, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 22, 2008.
 - [53] MC, *The biochemistry of copper* 525p, New York, 1991.

- [54] M. Arora, J. Weuve, J. Schwartz et R. Wright, «Association of environmental cadmium exposure with pediatric dental caries,» *Environmental Health Perspectives*, 2008.
- [55] W. Amin, F. Almimar et M. Alawi, «Quantitative analysis of trace elements in sound and carious enamel of primary and permanent dentitions,» *BJMMR*, 2016.
- [56] «conférence 2: cuivre: origines, usages et différentes formes P 73,» chez *Journée Techniques Viticulture Biologique*, Avignon, 8 et 9 décembre 2004.
- [57] R. Jeannot, Enrichissement hydrométallurgique du minerai de cuivre d'Ambatofinandrahana, 2016.
- [58] G. Nordberg, Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, 3ème édition française, chapitre 63(les métaux: propriétés chimiques et toxicité).
- [59] B. Med.Bull et COX DW, Disorders of copper transport, 1999, 55 (3): 544-555.
- [60] M. Linder et M. Hazegh-Azam, Copper biochemistry and molecular biology 797S-811S, Clin. Nutr, 1996.
- [61] J. Walker WR, The results of copper bracelet clinical trial and subsequent studies in : Inflammatory diseases and copper – Sorenson JR 469-479, Humana Press, Clifton, 1982.
- [62] R. Koleva-Kolarova, «Copper in the human organism,» 2011. [En ligne]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/284772858>.
- [63] S. Ben Moussa, , H. Bachoua, N. Brigui et B. Badraoui, Synthèse, caractérisation et étude structurale des hydroxyapatites à base de plomb, Tunisie, 2016.
- [64] M. Othmani, H. Bachoua et Y. Ghandour, Synthesis, characterization and catalytic properties of copper-substituted hydroxyapatite nanocrystals, Materials Research Bulletin.
- [65] R. Garnier, Toxicité du plomb et de ses dérivés, EMC-Toxicologie Pathologie 2 67–88, 2005.
- [66] WHO, *Environmental health criteria 165. Inorganic lead*, Geneva, 1995.
- [67] Kamberi & al, Teeth as Indicators of Environmental Pollution with Lead, Journal of Environment Analytical Toxicology, 2012.
- [68] R. Garnier, «Microsoudure dans l'industrie électronique,» p. 61:286, 2000.
- [69] H. Thiriat-Delon, J. Steffan et D. Nicolas, *Enquête de dépistage du saturnisme infantile d'origine hydrique, dans les Vos-ges*, 1994, pp. 3:263-73.
- [70] *Expertise collective INSERM. Plomb dans l'environnement. Quels risques pour la santé?*, Paris: INSERM, 1999, p. 461.
- [71] US Department of health and human services, *Toxicological profile for lead*, Atlanta, 1999, p. P640.

-
- [72] J. Nortier, B. Sangster et R. Van Kestern, Acute lead poisoning with hemolysis and liver toxicity after ingestion of red lead, 1980.
 - [73] Bismuth & al, Les effets du plomb sur la santé, Paris, 2000.
 - [74] A. Amara, M. Bisson, C. Hulot et N. Marescaux, Plomb et ses dérivés inorganiques, INERIS, 2016.
 - [75] D. EL-HADJELA, Effet de la combinaison de la vitamine C et la vitamine E sur le métabolisme et la distribution du zinc chez des rats diabétiques sous un régime alimentaire pauvre en zinc [PhD Thesis], Université Badji Mokhtar-Annaba, 2016.
 - [76] [En ligne]. Available: <http://tableau-periodique.fr/element-zinc.php..>
 - [77] [En ligne]. Available :
https://www.biomis.com/referentiel/liendoc/preci/ZINC.pdf&ved=2ahUKqa9vDP8QFjAAegQIBxAB&usg=AOvVaw2nLIJH-ZiZ_P3INVOZZBH-..
 - [78] N. Bonnard, M. Brondeau et D. Jargot, Zinc et composés minéraux(I): Cahier de notes documentaires- Hygiène et sécurité du travail. N 187, 2e trimestre, les services techniques et médicaux de l'INRS. Fiche toxicologiques, 2002.
 - [79] A. Roussel et I. Hininger-Favier, Éléments-trace essentiels en nutrition humaine chrome, sélénium, zinc et fer. Endocr Nutr, 2009.
 - [80] S. Khaled, J. Brun et L. Bardet, Importance physiologique du zinc dans l'activité physique., Montpellier: Science & Sport. Laboratoire de physique industrielle et pharmaceutique. Service avenue du Doyen Girand..
 - [81] *TOXICOLOGICAL REVIEW OF ZINC AND COMPOUNDS*, Washington D.C U.S: Environmental Protection Agency Washington D.C, July 2005.
 - [82] Lingawi et H. Saud, «Effect of divalent metal cations on hydroxyapatite dissolution kinetics relevant to dental caries and erosion,» Queen Mary's School of Medicine and Dentistry University of London, 2012. [En ligne]. Available: <http://qmro.qmul.ac.uk/jspui/handle/1234567>.
 - [83] Y. TANG, H. CHAPPELL, M. DOVE et R. REEDER, Zinc incorporation into hydroxylapatite. Biomaterials, 30, 2864-2872, 2009.
 - [84] R. CLAEYSEN, *Zinc et brulure :Etude du statut en zinc et influence de la supplémentation sur un modèle animal de bulure sévère*, Grenoble: Ecole doctorale en ingénierie pour la santé, la cognition et l'environnement. Université de grenoble.
 - [85] A. PICHARD, «Zinc et ses dérivés,» INERIS - *fiche de données toxicologique et environnementales des substances chimiques*, 02 03 2005.
 - [86] . J. VANDEGANS et A. M. KERSABIEC, Spectrométrie d'absorption atomique, 2006.
 - [87] J. Richard, M. Brown et J. Milton, Analytical techniques for trace, 2005.
 - [88] J. Paré et J. Belanger, Technique and instrumentation in analytical chemistry, Instrumental methods in food analysis, 1997.

- [89] M. Dilhan et D. Bourrier, *Spectroscopie par absorption atomique AAS*, LAAS-CNRS.
- [90] ISO/CEI 17025, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais P41*, AFNOR, 2005.
- [91] *Pharmacie_2015_Pinguet.pdf*.
- [92] I. Pinguet, *Validation analytique : application de la procédure SFSTP 2003-2006 au domaine de la phytothérapie*. Sciences pharmaceutiques, 2015.
- [93] *STP PHARMA - VAL ANA - 2006 - PART II final.pdf*, 2006.
- [94] M. Feinberg, *Interprétation du profil d'exactitude*, Paris, 2010.
- [95] A. Bouklouze et Y. Cherrah, *Validation des procédures analytique selon la nouvelle approche basée sur l'erreur total (Profil d'exactitude)*, 2009.
- [96] A. Matmar et A. YAMANI, *ESSAIS DE MIGRATION DES METAUX LOURDS DANS LES USTENSILES DE CUISINE EN CERAMIQUE. Dosage du plomb et du cadmium lessivables par Spectrométrie d'Absorption Atomique Flamme selon la directive 84/500/CEE*, Tizi-Ouzou, 2019.
- [97] D. Bernhard, A. Rossmann et G. Wick, *Metals in Cigarette Smoke*, 2005.
- [98] J. Arruda-Neto, M. Oliveira, J. Sarkis, P. Bordini et M. Manso-Guevara, *Study of environmental burden of lead in children using teeth as bioindicator*, 2009, pp. 614-618.
- [99] H. Tvinnereim, W. Fantaye, R. Isrenn, K. Bjorvatn et Z. Melaku, *Lead levels in primary teeth in children from urban and rural areas in Ethiopia.*, 2011.
- [100] B. Kamberi, L. Kqiku, V. Hoxha et E. Dragusha, *Lead concentrations in teeth from people living in Kosovo and Austria*, 2011.
- [101] A. Bu-Olayan et B. Thomas, *Dental lead levels in residents from industrial and suburban areas of Kuwait*, 1999.
- [102] S. Sabri Najim et A. Maiada Abdulla, *Dental Erosion by Beverages and Determination of Trace Elements in Teeth by Atomic Absorption Spectrometry*, 2016.

ANNEXE I : fiche de renseignement (Questionnaire)

Université Mouloud MAMMERI de Tizi Ouzou
Faculté de médecine
Laboratoire de Toxicologie

Erosion dentaire par les boissons et détermination des éléments traces dans les dents par la SAA à flamme

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

☐ Identification de l'étude

Enquêteur : Lieu du cabinet :
Numéro du patient :
Date : / / 2021.

☐ Identification du patient

Nom : Prénom : Age (ans) :
Sexe : Homme ☐ Femme ☐
Type de dent extraite :
Profession :
Type d'habitation : Urbain ☐ Rural ☐

A. Habitudes alimentaires

1/ Quel type de boisson consommez-vous habituellement ?

Eau ☐ Soda ☐ Jus de fruit ☐ Thé ☐ Café ☐

- Si vous consommez les boissons acides, c'est à quel moment ?

Durant les repas ☐ Entre les repas ☐ Durant la nuit ☐

2/ Quel type d'eau consommez-vous ?

Eau de robinet ☐ Eau minérale ☐ Eau de source ☐

3/ Veuillez mettre une croix dans les cases correspondantes à votre réponse :

Aliments	Fréquence de consommation	Journalière	Hebdomadaire	Mensuelle	Jamais
Boissons acides					
Boissons énergétiques					
Aliments acides (agrumes, vinaigre, cornichons...)					
Produits laitiers (yaourts, lait, fromage)					
Viande rouge					
Produits de mer (poissons, crustacés, fruits de mer)					

B. Maladies générales

1/ Avez-vous régulièrement des problèmes gastriques (Reflux Gastro-Œsophagien ou des troubles digestifs) ?

Oui ☐

Non ☐

C. Prise médicamenteuse

1/ Prise quotidienne de médicaments :

Oui ☐

Non ☐

- Lequel de ces médicaments ?

Granion de cuivre ☐

Antihistaminique ☐

Sédatif ☐

2/ Avez-vous pris des compléments alimentaires ?

Oui ☐

Non ☐

- Si oui, le(s)quel(s) ?

Vit C ☐

Zinc ☐

Autres

D. Habitudes

1/ Pratiquez-vous une activité physique ?

Jamais ☐

faible ☐

modéré ☐

intense ☐

2/ Etes-vous fumeur ? Oui ☐ Non ☐

- Si Oui, à quelle fréquence :

1-10cig/jours ☐ ≥10-20cig/jours ☐ ≥20 cig/jr ☐

3/ prenez-vous de la chique ? Oui ☐ Non ☐

4/ Prenez-vous de l'alcool ? Oui ☐ Non ☐

- Si oui à quelle fréquence

Journalier ☐ Hebdomadaire ☐ Mensuelle ☐

E. Hygiène bucco-dentaire

1/ A quelle fréquence brossez-vous les dents ?

Jamais ☐ 1 fois/jour ☐ Au moins 2 fois/jour ☐

2/ En cas de réponse positive aux troubles digestif, brossez-vous les dents directement après exposition à un agent acide ? Oui ☐ Non ☐

3/ Quel type de brosse à dents utilisez-vous ?

Dure ☐ Médium ☐ Souple ☐

4/ La marque du dentifrice que vous utilisez ?

5/ Utilisez-vous des bains de bouche ? Oui ☐ Non ☐

F. Suivi par un chirurgien-dentiste

- A combien de fois vous rendez visite au dentiste par an ?

.....

Merci pour votre collaboration.

ANNEXE II : Protocole de décontamination pour le dosage des métaux

La décontamination consiste à éliminer les traces de métaux restants dans le matériel utilisé pour le dosage de ces derniers sous l'action d'acide fort.

1) Appareils et matériel :

- Etuve thermostatée.
- Cristallisatoire.
- Bacs.
- Gants, Compresse, buvettes, masque.

2) Réactifs :

- Acide nitrique supra pur
- Eau distillée exempte de métaux lourds.
- Détergent ou savon.

3) Mode opératoire :

- 1- Rincer le matériel à décontaminer avec l'eau de robinet.
- 2- Tremper le matériel pendant une nuit dans une solution de savon.
- 3- Rincer minutieusement avec l'eau de robinet puis avec l'eau distillée plusieurs fois.
- 4- Laisser immerger dans une solution d'acide nitrique HNO_3 à 10% pendant 6 jours à température ambiante ou 2 jours à 60°C.
- 5- Rincer plusieurs fois avec de l'eau distillée.
- 6- Sécher à l'air libre ou dans l'étuve à 100°C.

RESUME

La biosurveillance des éléments traces métalliques dans les dents humaines est devenue un outil important pour évaluer l'état nutritionnel en plus de surveiller l'impact de la pollution environnementale sur la santé. Le but de cette étude est de mettre en œuvre une technique de minéralisation des dents puis la détermination de la concentration de trois éléments métalliques (le Plomb le Zinc et le Cuivre) au niveau de dents humaines collectées dans différentes régions de la wilaya de Tizi-ouzou. Une autre étude a été effectuée en parallèle afin d'évaluer l'influence de trois boissons consommées de façon régulière par la population sur l'érosion dentaire.

Sur 60 dents analysées, 20 présentaient des concentrations en plomb supérieures à $4\mu\text{g/g}$; 40 avaient des teneurs en zinc inférieures à $70\ \mu\text{g/g}$ et 21 échantillons présentaient des concentrations en cuivre inférieures à $1\ \mu\text{g/g}$. Il semble que les tissus durs des dents retenues puissent constituer un matériau précieux pour l'évaluation de l'exposition environnementale à long terme aux ions métalliques. L'étude démontre que les concentrations retrouvées dépendent de certains facteurs liés aux habitudes et l'environnement des individus.

Mots clés

Biosurveillance, dent humaine, SAAF, concentrations en éléments traces , érosion dentaire.

ABSTRACT

Biomonitoring of metallic trace elements in human teeth has become an important tool for assessing nutritional status in addition to monitoring the impact of environmental pollution on health. The aim of this study is to implement a tooth mineralization technique then the determination of the concentration of three metallic elements (lead, zinc and copper) in human teeth collected in different regions of the wilaya of Tizi-ouzou. Another study was carried out in parallel to assess the influence of three drinks consumed regularly by the population on dental erosion.

Out of 60 teeth analyzed, 20 had lead concentrations greater than 4 µg/g; 40 had zinc contents below 70 µg/g and 21 samples had copper concentrations below 1 µg / g. It appears that the hard tissue of retained teeth may be a valuable material for the assessment of long-term environmental exposure to metal ions. The study shows that the concentrations found depend on certain factors related to the habits and environment of individuals.

Keywords

Biomonitoring, human teeth, SAAF, trace element concentrations, dental erosion.