

## Eléments traces métalliques chez les accouchées et les nouveau-nés résidant aux environs des sites d'exploitation minière dans la ville de Lubumbashi, République Démocratique du Congo

Cham LC<sup>1</sup>, Chuy KD<sup>2</sup>, Tamubango H<sup>3</sup>, Chenge MF<sup>1,2,4</sup>, Kaniki A<sup>5</sup>,  
Mwembo TA<sup>1,2</sup> et Kalenga MK<sup>1,2</sup>

(1) Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, République Démocratique du Congo.

(2) Ecole de santé publique, Université de Lubumbashi, République Démocratique du Congo.

(3) Institut Supérieur des Techniques Médicales de Likasi, République Démocratique du Congo.

(4) Centre des Connaissances en Santé (CCSC), République Démocratique du Congo.

(5) Faculté de polytechnique, Université de Lubumbashi, République Démocratique du Congo.

### Résumé

**Contexte :** Depuis les années 2000, de nombreux cas de pollution environnementale (sol, air et cours d'eau) par les éléments traces métalliques (ETM) ont été documentés dans la ville de Lubumbashi. Cette étude visait à déterminer les concentrations sanguines des ETM et les coefficients de corrélation chez les accouchées et leurs nouveau-nés dans la ville de Lubumbashi, République Démocratique du Congo.

**Méthode :** Cette étude de cohorte prospective a été effectuée chez les accouchées exposées aux ETM dans la ville de Lubumbashi. Les ETM ont été dosés dans 756 échantillons de sang prélevés chez 378 accouchées et de 378 nouveau-nés recrutés consécutivement et volontairement. Le sang prélevé par ponction veineuse directe, a été conservé à  $-10^{\circ}\text{C}$  dans des tubes Eppendorf sans EDTA, avant d'être acheminé au laboratoire de l'office congolais de contrôle (OCC/Lubumbashi) où après traitement et préparation acide un dosage à l'ICP-OES pour détermination des concentrations des ETM a été effectué. L'analyse des taux fournis a porté sur la détermination des moyennes géométriques des concentrations sanguines exprimées en  $\mu\text{g/L}$  et des facteurs de bioaccumulation des ETM dans le sang total des accouchées et des nouveau-nés.

**Résultats :** Les moyennes géométriques des concentrations sanguines des ETM dans le sang total des accouchées étaient Al (28,0); As (33,23); Cd (2,59); Cr (4,86); Pb (17,86); Co (3,12); Cu (218); Mg (1603); Mn (23,9); Ni (8,04); Se (47,32); Zn (419); et des nouveau-nés : Al (27,8); As (33,51); Cd (2,83); Cr (5,03); Pb (15,58); Co (3,12); Cu (215); Mg (1683); Mn (23,5); Ni (8,93); Se (46,61); Zn (384).

Les facteurs de bioaccumulation des ETM se présentent comme suit pour les accouchées : Al (2,97); As (3,32); Cd (2,59); Cr (4,86); Pb (0,43); Co (3,9); Cu (0,31); Mg (0,01); Mn (1,59); Ni (5,74); Se (0,33); Zn (0,06) et pour les nouveau-nés : Al (2,96); As (3,51); Cd (2,83); Cr (5,03); Pb (0,38); Co (3,91); Cu (2,39); Mg (0,009); Mn (1,57); Ni (6,38); Se (0,33); Zn (0,05)

**Conclusion :** Les concentrations sanguines des ETM toxiques ainsi que leurs facteurs de bioaccumulation sont supérieurs aux valeurs normales, tandis que ceux des ETM dits essentiels sont en déficit aussi bien chez les accouchées que chez leurs nouveau-nés. Ceci nécessite une surveillance systématique des dites concentrations chez ces individus vulnérables et des études ultérieures sur l'effet de ces concentrations sur la morbi-mortalité maternelle et infantile à Lubumbashi.

**Mots clés :** éléments traces métalliques, accouchées, nouveaux nés, Lubumbashi.

Date of Submission: 07-08-2020

Date of Acceptance: 21-08-2020

### I. Introduction

Les éléments traces métalliques (ETM) sont des substances chimiques retrouvées naturellement dans l'environnement en concentrations négligeables (inférieures à 100 particules par million ou 100  $\mu\text{g/g}$ ). Certains d'entre eux sont impliqués dans des processus biologiques essentiels tels l'expression des gènes, la synthèse protéique et indispensable pour la croissance, le développement et la physiologie de l'organisme. Les ETM peuvent se révéler toxiques pour les organismes vivants si certains seuils de biodisponibilité sont franchis, initiant ainsi des réactions biochimiques alternatives pouvant contribuer à l'apparition de maladies ou des troubles nutritionnels<sup>(1-5)</sup>.

Le sol constitue la source majeure des ETM dans l'environnement (Cu, Ni, Pb, Zn, and Se), ils y sont non biodégradables et y ont des demi-vies de l'ordre de plusieurs siècles. Les ETM peuvent être partiellement épurés des sols par les racines de certaines plantes et par pénétration foliaire<sup>(6-9)</sup>. Un déficit de l'organisme en

ETM est essentiellement lié à un apport nutritionnel inadéquat ou une augmentation des besoins, tandis qu'un apport excessif en éléments toxiques est souvent lié à une pollution environnementale <sup>(10)</sup>.

En République Démocratique du Congo, plus précisément dans la ville de Lubumbashi, l'exploitation minière artisanale et industrielle impacte négativement l'environnement (sol, air, cours d'eau) et les populations riveraines. <sup>(11-14)</sup>. Les gestantes ainsi que leurs nouveau-nés représentent une population vulnérable à la pollution environnementale par le fait que les phases de vie embryonnaire, fœtale et infantile sont les plus sensibles au déséquilibre nutritionnel, et à l'exposition aux ETM de l'environnement. L'exposition des gestantes à des agents toxiques peut avoir des effets néfastes sur l'expression des gènes, avec possibilité d'affecter le développement fœtal et provoquer notamment un retard de croissance intra-utérin, la mort fœtale in utero, un déficit cognitif et/ou moteur dans l'enfance, et même une altération de la santé plus tard au cours de la vie. La gestante exposée peut développer des états morbides tels que la prééclampsie, l'anémie, le diabète gestationnel, etc. <sup>(15)</sup>.

A notre connaissance, jusqu'à ce jour, les concentrations des ETM dans les matrices biologiques des accouchées et des nouveau-nés, ainsi que leur impact sanitaire sur les deux populations, n'ont pas encore été rigoureusement étudiées.

La présente étude a pour objectif de déterminer les concentrations sanguines des ETM ainsi que leurs corrélations chez les accouchées et leurs nouveau-nés dans la ville de Lubumbashi afin de contribuer à élucider l'impact de la pollution environnementale minière sur le couple mère-enfant et d'élaborer d'une stratégie de prévention.

## II. Méthodes

**Type d'étude:** Cette étude est une étude de cohorte prospective des accouchées et des nouveau-nés exposées aux éléments traces métalliques qui a été menée du 30 Novembre 2018 au 30 Mai 2019.

**Zone d'étude :** L'étude a été conduite dans la ville de Lubumbashi, jadis Elisabethville, chef-lieu de la province du haut Katanga. Le nom de cette ville puise son origine dans son implantation le long de la rivière Lubumbashi, ayant donné lieu au nom du site de découverte des gisements du cuivre et d'installation des miniers pour l'exploitation par l'Union Minière du Haut Katanga – "UMHK", actuelle Gécamines (1906-1910). Avec le temps, plusieurs autres sociétés minières s'y sont implantées, notamment : STL, Ruashi mining, Chemaf, Somika, CDM, Congo Motor, AnvilMining, Cota mining, etc.

**Population d'étude:** Elle est constituée des accouchées ainsi que leurs nouveau nés consécutivement enrôlées dans dix institutions médicales de Lubumbashi, à savoir : les Cliniques Universitaires de Lubumbashi, l'Hôpital Général Provincial de Référence Jason Sendwe, le Centre Médical du Centre-ville, la Polyclinique Imani, le Centre de Santé d'Apprentissage et de Recherche Tshamilemba, le Centre Médical la Garde, l'Hôpital Militaire de la Ruashi, le Centre de Santé Eben Ezer, le Centre Médical Crisem, et le Centre Médical Luna. Les couples accouchées-nouveau nés retenus pour l'étude étaient des gestantes porteuses d'une grossesse monofoetale, ayant suivis les consultations prénatales dans l'institution hôte et qui s'y sont accouchées. Ces gestantes devraient avoir habité la ville depuis au moins 2 ans et passé toute la durée de la gestation dans le quartier d'étude. Elles ne devraient pas non plus être fumeuses, ni avoir de conjoint/partenaire fumeur. Répondant à ces critères un total de 378 accouchées et de 378 nouveau-nés ont été concernés par l'étude.

**Collecte des données :** Des fiches de collectes des données comportant un questionnaire semi fermé ont servi à collecter les éléments anamnestiques auprès des gestantes puis des accouchées. Une équipe constituée d'enquêteurs formés a permis le recueil des renseignements anamnestiques au cours de la gestation et au prélèvement d'échantillons de sang en postpartum immédiat. Chaque fiche de collecte des données portait un code correspondant à celui retrouvé sur les tubes Eppendorf ayant servi au recueil des échantillons sanguins. Les fiches de collectes de données ainsi que les échantillons sanguins étaient transmis quotidiennement par les différents enquêteurs à l'investigateur principal pour encodage et conservation. Le sang prélevé par ponction veineuse directe, a été conservé à  $-10^{\circ}\text{C}$  dans des tubes Eppendorf sans EDTA, avant d'être acheminé au laboratoire de l'office congolais de contrôle (OCC/Lubumbashi). Après dosage des ETM dans chacun des échantillons, les résultats étaient transmis par le laboratoire à l'investigateur principal par finaliser l'encodage.

**Dosage des éléments traces métalliques :** Le laboratoire provincial de l'Office congolais de contrôle de Lubumbashi a été choisi pour le dosage des éléments traces métalliques dans les échantillons de sang total. Ce laboratoire dispose de l'équipement et de la compétence nécessaires pour un dosage simultané et fiable de plusieurs éléments traces métalliques dans diverses matrices biologiques et dispose d'une certification de qualité ISO 9150 depuis 2010. Plusieurs travaux scientifiques des chercheurs de l'université de Lubumbashi s'y sont déroulés. Le dosage des éléments traces métalliques s'est effectué dans les échantillons de sang total grâce à l'ICP- OES Optima 8300 (Optical Emission inductively coupled plasma spectrometry system) de marque Perkin Elmer. Les éléments traces métalliques dosés sont les suivants : Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Mg, Mn, Ni, Pb, Se, Zn

**Référentiel d'analyse statistiques :** L'encodage de nos données s'est effectué à l'aide du logiciel EPI info 7. Les statistiques de Kolmogorov – Smirnov (test K – S) et l'asymétrie et le kurtosis nous ont permis de tester la normalité et la log-normalité de la distribution des données. Ensuite, grâce au logiciel XLSTAT 2019.2.2.

59614, les moyennes arithmétiques et géométriques des taux sanguins des ETM ont été calculées. Les variables nominales ont été présentées en pourcentages, le calcul du coefficient de corrélation entre le taux au niveau du cordon ombilical du nouveau-né et au niveau du sang veineux périphérique maternel a été opéré pour chaque ETM. Le facteur de bioaccumulation (FB) a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{FB} = \frac{\text{Concentration sanguine moyenne du métal}}{\text{Valeur de la norme du métal}}$$

Le FB permet de préciser le degré de bioconcentration. L'existence de risque sanitaire est considérée lorsque la valeur de FB > 1, carence si la valeur est < 1 (16).

**Considérations éthiques :** Cette étude fait partie intégrante d'une étude doctorale dont le protocole a été approuvé par le comité d'éthique médicale de l'école de santé publique de l'université de Lubumbashi sous le numéro UNILU/CEM/117/2018 du 10/10/2018. Toutes les participantes à l'étude ont apporté leur consentement éclairé à l'équipe d'enquêteurs avant l'administration du questionnaire et le prélèvement des échantillons de sang.

### III. Résultats

#### 1. Participation à l'étude et profil sociodémographique des accouchées incluses dans l'étude

Sur un total de 378 accouchées ayant participé à l'étude, l'âge moyen était de 29 ± 6 ans, la majorité résidait dans les quartiers périphériques de la ville (n=365 soit 96,60%), 184 soit 48,70% avaient un niveau d'étude secondaire et 138 soit 36,5% universitaires. A 64,30% (n=243) ont été « sans emploi », 216 soit 57,10% avaient un conjoint fonctionnaire de l'état. A 37% (n=140) ces accouchées étaient pauci pares, 22,8% (n=86) des primipares et 15,1% (n=57) des grandes multipares.

Le tableau 1 présente les caractéristiques sociodémographiques des accouchées ayant participé à la présente étude.

**Tableau 1 : Répartition des gestantes selon les caractéristiques sociodémographiques**

Caractéristiques sociodémographique	Effectif (n=378)	Pourcentage (%)
Age maternel (ans)		
<18	2	0,50
18-35	321	84,90
>35	55	14,6
Quartier de résidence		
Périphérique	365	96,6
Centre-Ville	13	3,4
Niveau d'études		
Analphabète	19	5,0
Primaire	30	7,9
Secondaire	184	48,7
Universitaire	138	36,5
Post-Universitaire	7	1,9
Profession de la gestante		
Sans emploi	243	64,3
Fonctionnaire	68	18,0
Informel	65	17,2
Minier artisanal	2	0,5
Profession du conjoint		
Fonctionnaire	216	57,1
Informel	143	37,8
Minier artisanal	14	3,7
Sans emploi	5	1,3
Parité		
Nullipare	4	1,1
Primipare	86	22,8
2-3	140	37,0
4-5	91	24,1
≥6	57	15,1

#### 2. Dosages et facteurs de bioaccumulation des ETM dans le sang des accouchées et des nouveaux nés

Le tableau 2 présenté les concentrations sanguines des ETM chez l'accouchée (moyenne géométrique) et leurs facteurs de bioaccumulation.

**Tableau 2 : Concentrations sanguines des ETM chez les accouchées et leurs facteurs de bioaccumulation**

Eléments Traces Métalliques	Nombre d'échantillons	Limites de détection (µg/L)	Moyenne géométrique (µg/L)	Facteur de bioaccumulation (µg/L)	Valeur de référence (source)
<b>Toxiques</b>					
Al	323	1	28,0	2,97	< 9,4 µg/L (25)
As	160	2	33,23	3,32	< 10 µg/L (25)

Cd	187	0.1	2.59	2.59	< 1 µg/L (25)
Cr	181	0.2	4.86	4.86	< 1 µg/L (25)
Pb	215	0.05	17.86	0.43	< 41,3 µg/L (17)
<b>Essentiels</b>					
Co	232	0.2	3.12	3.9	< 0.8 µg/L (25)
Cu	366	0.4	218	0.31	700-1500 µg/L (25)
Mg	376	0.04	1603	0.01	182287-233328 µg/L (25)
Mn	362	0.1	23.9	1.59	< 15.00 µg/L (25)
Ni	199	0.5	8.04	5.74	< 1,4 µg/L (29)
Se	196	3	47.32	0.33	< 142 µg/L (29)
Zn	254	0.2	419	0.06	< 7270 µg/L (17)

Le tableau 3 présenté les concentrations sanguines des ETM chez les nouveau-nés (moyenne géométrique) et leurs facteurs de bioaccumulation.

**Tableau 3: Concentrations sanguines des ETM chez les nouveau-nés et leurs facteurs de bioaccumulation**

Eléments Traces Métalliques	Nombre d'échantillons	Limites de détection (µg/L)	Moyenne géométrique (µg/L)	Facteur de bioaccumulation (µg/L)	Valeur de référence (source)
<b>Toxiques</b>					
Al	318	1	27.8	2.96	< 9.4 µg/L (25)
As	158	2	33.51	3.51	< 10 µg/L (25)
Cd	220	0.1	2.83	2.83	< 1 µg/L (25)
Cr	189	0.2	5.03	5.03	< 1 µg/L (25)
Pb	209	0.05	15.58	0.38	< 41,3 µg/L (17)
<b>Essentiels</b>					
Co	209	0.2	3.12	3.91	< 0.8 µg/L (25)
Cu	366	0.4	215	2.39	90-460 µg/L (25)
Mg	376	0.04	1683	0.009	148260 -209023 µg/L (25)
Mn	362	0.1	23.5	1.57	< 15.00 µg/L (25)
Ni	199	0.5	8.93	6.38	< 1,4 µg/L (29)
Se	196	3	46.61	0.33	< 142 µg/L (29)
Zn	254	0.2	384	0.05	< 7270 µg/L (17)

### 3. Corrélation entre les ETM toxiques dans le sang total de l'accouchée et de son nouveau-né

Le tableau 4 présente les coefficients de corrélations positives, et les valeurs p, qui existent entre les concentrations de certains ETM contenus dans le sang total de l'accouchée et les concentrations des ETM retrouvées dans le sang total du cordon des nouveau-nés.

**Tableau 4 : Corrélation entre ETM dans le sang total des accouchées et des nouveau-nés**

ETM	Concentration dans le sang maternel (µg/L)	Concentration dans le sang du nouveau-né (µg/L)	Coefficient de Correlation	P value
Aluminium	28.0	27.8	0.59	0.000
Arsenic	33.23	33.51	0.27	0.005
Cadmium	2.83	2.83	1	0.000
Chrome	4.86	5.03	1.03	0.247
Cobalt	3.12	3.12	1	0.000
Cuivre	218	215	0.057	0.0305
Manganèse	23.5	23.5	1	0.000
Magnésium	1603	1683	0.347	0.000
Nickel	8.04	8.93	0.308	0.000
Plomb	17.86	15.58	0.87	0.000
Sélénium	47.32	46.61	0.326	0.000
Zinc	419	384	0.293	0.000

La figure 1 montre le profil similaire des concentrations des ETM dans les compartiments maternels et des nouveau-nés.

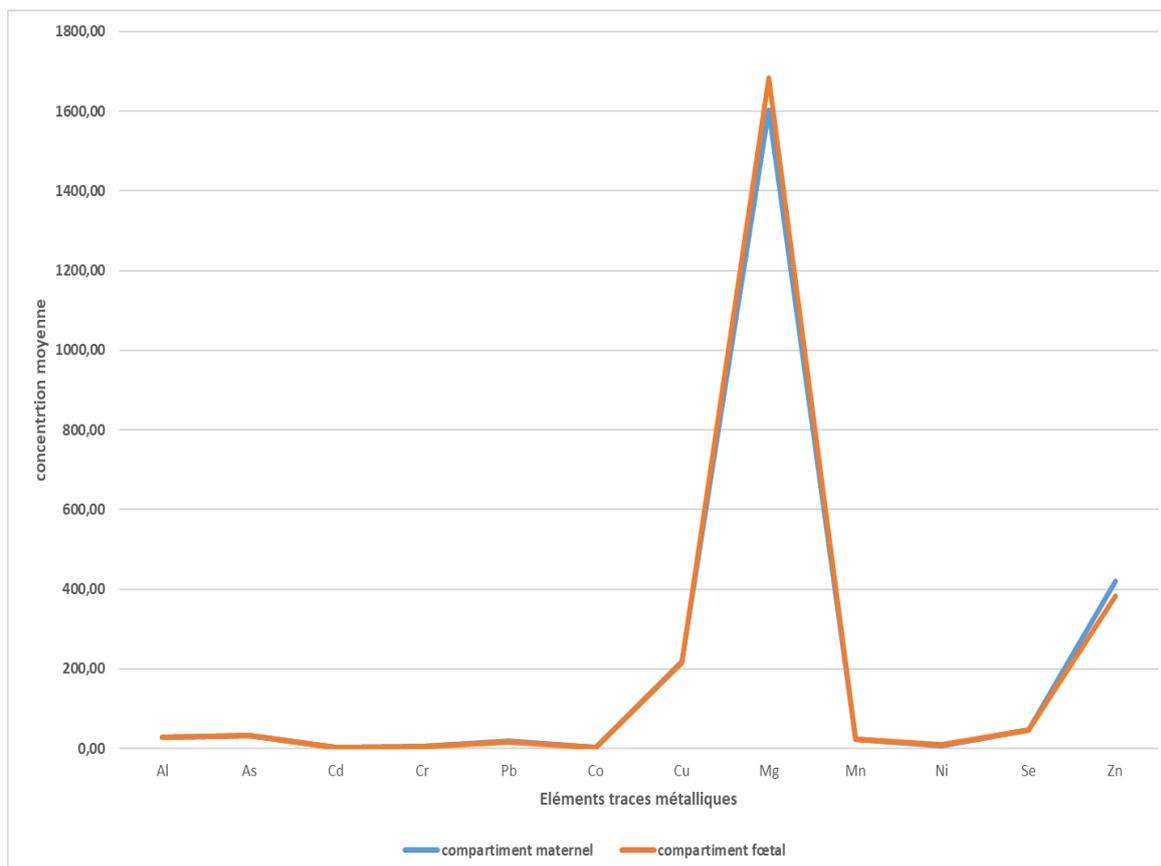


Figure 1 : Profil des concentrations des ETM dans les compartiments maternels et des nouveau-nés.

#### IV. Discussion

Cette étude avait pour but de déterminer les concentrations sanguines des ETM ainsi que leurs corrélations chez les accouchées et leurs nouveau-nés dans la ville de Lubumbashi afin de contribuer à élucider l'impact de la pollution environnementale minière sur le couple mère-enfant.

Les principaux résultats présentés dans les tableaux II et III montrent les moyennes géométriques des ETM dosés exprimés en ( $\mu\text{g/L}$ ) et leur facteur de bioaccumulation. Tandis que le tableau IV et la figure 1 reprennent les corrélations des ETM dans les compartiments maternels et neonataux.

#### Concentrations sanguines des ETM chez les accouchées et nouveau-nés, et facteurs de bioaccumulation

Nos résultats reflètent une exposition inhabituelle des accouchées ainsi que leur nouveau nés aux éléments traces métalliques. Les éléments traces métalliques dits toxiques (Al, As, Cd, Cr, Ni, Pb) présentent des moyennes géométriques et des facteurs de bioaccumulation supérieurs aux valeurs de référence (Tableau 2 et 3). En effet les facteurs de bioaccumulation sont en moyenne de 3 traduisant une exposition anormale et de longue durée aux différents ETM toxiques. Cette exposition pourrait découler d'une contamination des eaux de consommation, des nappes phréatiques, des cours d'eau et produits de la pêche (crustacés, coquillages et poissons) et des légumes poussant sur des sols pollués<sup>(25)</sup>. De plus l'inhalation d'émanations de fumées d'ateliers de soudage et des poussières chargées d'ETM pourrait constituer une autre source d'exposition. Les cours d'eau du haut Katanga sont régulièrement pollués par les rejets de l'exploitation minière<sup>(12)</sup>. Et, l'environnement immédiat des ménages lushois est jonché des multiples ateliers de soudage.

Ces taux anormalement élevés d'ETM dans le sang des accouchées et des nouveaux nés de Lubumbashi constitue un réel problème de santé publique au vu des effets mutagènes et cancérigènes de certains d'entre eux dont l'arsenic. Comparés aux autres études (Annexe I), nos résultats font état des concentrations supérieures en ETM pour la plupart toxiques (Al, As, Cd, Cr, Ni, Pb), bien que certains ont des taux inférieurs à ceux trouvés ailleurs : (Al, Cr, Ni) en Chine<sup>(24)</sup> et (Pb) en Bolivie<sup>(35)</sup>. L'évidence pousse à constater que dans les milieux où la gestion des résidus de l'exploitation minière est sous optimale la contamination de l'environnement conduit à l'exposition des populations vulnérables parmi lesquelles les gestantes, nouveaux nés ainsi que les enfants.

Quant aux ETM dits essentiels (Co, Cu, Mg, Mg, Se, Zn) nos résultats notent des moyennes géométriques et des facteurs de bioaccumulation inférieurs aux valeurs de référence, sauf (Co, Cu, Mn)

(Tableau 2 et 3). Ce constat est le reflet d'un état carenciel tel que noté chez des sujets habitants un sol pauvre en sélénium et ayant une alimentation pauvre en protéines (végétariens, vieillards, femmes enceintes, allaitantes, nourrissons, patients en cure d'amaigrissement, patients sous-alimentation parentérale prolongée et ceux présentant un syndrome de mal absorption)<sup>(29)</sup>. Les concentrations élevées de Cobalt et de Cuivre dans le sang total des nouveaux nés et des accouchées, pourraient être témoins d'une exposition inhabituelle à cet élément trace bien qu'essentiel, mais surtout traduire de façon indirecte l'état d'anémie ferriprive chronique des gestantes avec pour conséquence la naissance des nouveaux nés carencés également. Les habitudes alimentaires des gestantes (notamment la géophagie) et l'infestation parasitaire (helminthes, protozoaires) contribuent à maintenir la carence martiale. En effet une carence en fer augmente l'absorption du cobalt sans modifier son transfert<sup>(25,38,39)</sup>.

Les concentrations élevées de manganèse traduisent une exposition importante aux fumées et poussières chargées de manganèse dans notre milieu vu que son absorption est essentiellement respiratoire (>95%)<sup>(17)</sup>. En effet des nombreux camions transportant des minerais circulent sans mesures de protection dans nos agglomérations, soulevant après leur passage un nuage de poussières chargés en éléments traces de même que certaines industries minières rejettent dans l'atmosphère des fumées provenant de leurs activités.

Comparés aux autres études (Annexe I), nos résultats révèlent des taux des ETM dits essentiels (Co, Cu, Mg, Se, Zn) inférieurs à ceux des autres études, sauf pour le Sélénium<sup>(23)</sup>, le Manganèse, et le Cobalt. Il est important de noter que tout déséquilibre dans la balance entre éléments essentiels et toxiques constitue une situation sanitaire préoccupante et devrait être analysé singulièrement en vue d'un diagnostic et d'une prise en charge efficiente<sup>(10)</sup>.

### **Corrélation entre les concentrations des ETM dans le sang total des accouchées et des nouveau-nés**

Il se dégage des tableaux II, III, IV et de la figure 1 que les concentrations des ETM ainsi que les facteurs de bioaccumulation sont quasi identiques chez l'accouchée et chez le nouveau-né. Ceci constitue un danger génésique au vu des effets mutagènes et cancérigènes de certains ETM (As) et leurs rôles dans la survenue de nombreux états morbides. Les périodes de développement embryonnaire, fœtal et infantile sont sensibles au déséquilibre nutritionnel, au stress et aux influences de l'environnement. L'exposition des gestantes à des agents toxiques dès la conception et durant la gestation peut avoir des effets néfastes sur l'expression des gènes, en particulier ceux, pouvant affecter le développement fœtal, provoquer un retard de croissance intra-utérin, la mort fœtale in utero, un déficit cognitif et parfois moteur pendant l'enfance, et probablement aussi l'altération de la santé beaucoup plus tard dans la vie.<sup>(15)</sup>

Nos résultats remettent en question le rôle protecteur de la barrière hémato placentaire face aux ETM tels le démontre les facteurs de bioaccumulation et les coefficients de corrélation dans les deux compartiments. L'immaturation physiologique des différents systèmes du fœtus le rendent vulnérables face à l'exposition aux ETM.

### **Mérites et limites de l'étude**

La taille de notre échantillon est l'un des principaux points forts de cette étude: 756 individus ont été inclus dans cette étude. L'ensemble de la périphérie de la ville (lieu où sont localisées les activités minières industrielles et artisanales dans la ville de Lubumbashi) été couverte. Toutes les accouchées reçues dans les institutions médicales retenues durant toute la période d'étude ont été concernées.

Malgré certains biais de sélection lors du recrutement inhérent au design de l'étude (recrutement consécutif et participation volontaire) l'on peut considérer que l'échantillon était représentatif de la population cible. Le seuil de détection des ETM dans le sang total des individus inclus dans l'étude a varié de 41,8% (As) à 85,4% (Al). L'utilisation de l'ICP-OES a permis la mesure de très faibles concentrations des ETM dans les échantillons de sang total.

La sensibilité de l'ICP-OES très satisfaisante pour la mesure des éléments traces métalliques dans les échantillons organiques. Dans les autres études, en raison d'une LOD (Limit of détection) plus basse que la nôtre, le pourcentage de détection des métaux analysés est parfois plus élevé que celui de notre étude, spécialement les études ayant eu recours à l'ICP-MS.<sup>(17)</sup>

## **V. Conclusion**

Cette étude a montré que les concentrations sanguines des éléments traces métalliques toxiques sont élevées tant chez les gestantes que chez leur nouveaux avec des facteurs de bioaccumulation dépassant 2 unités pour la plupart. Cet état des choses pose la problématique de l'exposition des gestantes aux ETM dans notre milieu, les sources principales d'exposition et les conséquences sur la santé des gestantes exposées ainsi que leurs nouveaux nés. Le personnel de santé ainsi que les autorités administratives et sanitaires devraient prendre en compte cette situation sanitaire préoccupante. Des recherches futures peuvent être menées pour identifier les principales modes d'exposition et de contamination aux ETM, et explorer les mesures de lutte préventive

pouvant être envisagées, instaurées et soigneusement respectées contre leur absorption nocive par les gestantes qui y sont exposées dans les sites étudiées.

**Abbreviations et sigles:**

**Al** : Aluminium

**As** : Arsenic

**Cd** : Cadmium

**Co** : Cobalt

**Cr** : Chrome

**Cu** : Cuivre

**ETM**:Eléments Traces Métalliques

**Mg** : Magnésium

**Ni** : Nickel

**Pb** : Plomb

**Se** : Sélénium

**Zn** : Zinc

**OMS**:Organisation Mondiale de la Santé

**RDC**: République Démocratique du Congo

**UNILU**: Université de Lubumbashi.

**Conflits d'intérêts**: aucun

**Correspondant** : [Chamyamfr@yahoo.fr](mailto:Chamyamfr@yahoo.fr)

**Contributions:**

Auteur et investigateur principal: Cham LC.

Analyse des données : Tamubango H.

Edition et révision: Chuy KD.

Encadrement institutionnel: Département de Gynécologie-Obstétrique, Faculté de Médecine, UNILU.

Encadrement scientifique:Chenge MF, Mwembo TA, Kaniki A,Kalenga MK.

**Références**

- [1]. Nielsen FH., (1990), New essential trace elements for the life sciences. *BiolTrace Elem Res*;26-27:599-611.
- [2]. H. J. M. Bowen, (1976) *Trace Elements in Biochemistry*, 2nd ed. London: Academic Press.
- [3]. Frieden E., (1972),The chemical elements of life. *Sci Am.* 227:52-60.
- [4]. Wada O. (2004),What are trace elements? Their deficiency and excess states.*J Japan Med Assoc.* 47:351-8.
- [5]. Stohs SJ, Bagchi D., (1995), Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions. *Free RadicBiol Med.* 18:321-36.
- [6]. Kabata-Pendias, A., (2011), *Trace Elements in Soils and Plants*, 4th ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA,
- [7]. Muszyńska, E.; Hanus-Fajerska, E.; Piwowarczyk, B.; Augustynowicz, J.; Ciarkowska, K.; Czech, T., (2017), From laboratory to field studies—the assessment of *Biscutella laevigata* suitability to biological reclamation of areas contaminated with lead and cadmium. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 142, 266–273.
- [8]. Xiong, T.; Zhang, T.; Dumat, C.; Sobanska, S.; Dappe, V.; Shahid, M.; Xian, Y.; Li, X.; Li, S., (2018),Airborne foliar transfer of particular metals in *Lactuca sativa* L.: Translocation, phytotoxicity, and bioaccessibility. *Environ.Sci. Pollut. Res. Int.*
- [9]. Chandra, R.; Kumar, V., (2017),Phytoextraction of heavy metals by potential native plants and their microscopic observation of root growing on stabilised distillery sludge as a prospective tool for in situ phytoremediation of industrial waste. *Environ. Sci. Pollut. Res.*24, 2605–2619.
- [10]. Skalny A.V., (2014), Bioelements and bioelementology in pharmacology and nutrition: fundamental and practical aspects. In: Atroshi F, editor.*Pharmacology and nutritional intervention in the treatment of disease*.Rijeka: InTech; p. 225-241
- [11]. Banza Lubaba Nkulu C, Casas L, Haufroid V, De Putter T, Saenen ND, Kayembe-Kitenge T, et al., (2018),Sustainability of artisanal mining of cobalt in DR Congo. *Nat Sustain.* 1(9):495-504.
- [12]. Nkulucbl. (sd), Rapport de l'enquete sur la pollution chimique dans les quartiers Tshamilemba et kabecha de la ville de lubumbashi. :26.
- [13]. Musa Obadia P, Kayembe-Kitenge T, Haufroid V, BanzaLubabaNkulu C, Nemery B., (2018), Preeclampsia and blood lead (and other metals) in Lubumbashi, DR Congo. *Environ Res.* 167:468-71.
- [14]. Godart et Bogaert, (2010), Pollution et contamination des sols aux métaux lourds dues à l'industrie métallurgique à Lubumbashi : Empreinte écologique, impact paysager,pistes de gestion,ULB mémoires)
- [15]. Kippler M, Wagatsuma Y, Rahman A, Nermell B, Persson L-Å, Raqib R, et al., (2012), Environmental exposure to arsenic and cadmium during pregnancy and fetal size: A longitudinal study in rural Bangladesh. *ReprodToxicol.* 34(4):504-11.
- [16]. Aduayi-Akue AA, Gnandi K, Tete-Benissan A, Degbe M, Tanouayi G, Gbeassor M., (2015), Evaluation des teneurs des métaux lourds dans le sang des sujets de la zone de traitement des phosphates au Sud du Togo. *Int J BiolChem Sci.* 10;9(4):1972.
- [17]. Nisse C, Tagne-Fotso R, Howsam M, Richeval C, Labat L, Leroyer A., (2017), Blood and urinary levels of metals and metalloids in the general adult population of Northern France: The IMEPOGE study, 2008–2010. *Int J Hyg Environ Health.* ;220(2):341-63.
- [18]. Perera, F.P., Jedrychowski, W., Rauh, V., Whyatt, R.M., (1999), Molecular Epidemiologic research on the effects of environmental pollutants on the fetus. *Environ. Health Perspect.* 107 (Suppl. 3), 451–460.
- [19]. Perera, F., Herbstman, J., 2011. Prenatal environmental exposures, epigenetics, and disease. *Reprod. Toxicol.* 31 (3), 363–373.
- [20]. Baeyens W, Vrijens J, Gao Y, Croes K, Schoeters G, Den Hond E, et al., (2014), Trace metals in blood and urine of newborn/mother pairs, adolescents and adults of the Flemish population (2007–2011). *Int J Hyg Environ Health.* 217(8):878-90.
- [21]. Goullé J-P, Mahieu L, Castermant J, Neveu N, Bonneau L, Lainé G, et al. (2005), Metal and metalloid multi-elementary ICP-MS validation in whole blood, plasma, urine and hair. *Forensic Sci Int.* 153(1):39-44.

- [22]. Caroli S, Alimonti A, Coni E, Petrucci F, Senofonte O, Violante N., (1994), The Assessment of Reference Values for Elements in Human Biological Tissues and Fluids: A Systematic Review. *Crit Rev Anal Chem*;24(5-6):363-98.
- [23]. Alimonti A, Petrucci F, Laurenti F, Papoff P, Caroli S., (2000), Reference values for selected trace elements in serum of term newborns from the urban area of Rome. *Clin Chim Acta*. 292(1-2):163-73.
- [24]. Liang C, Wu X, Huang K, Yan S, Li Z, Xia X, et al, (2019), Trace element profiles in pregnant women's sera and umbilical cord sera and influencing factors: Repeated measurements. *Chemosphere*. 218:869-78.
- [25]. Biomnis,(2014), *Analyses Médicales Spécialisées. Précis de Biopathologie* :Paris.
- [26]. Cabrera-Rodríguez R, Luzardo OP, González-Antuña A, Boada LD, Almeida-González M, Camacho M, et al, (2018), Occurrence of 44 elements in human cord blood and their association with growth indicators in newborns. *Environ Int*. 116:43-51.
- [27]. Almeida Lopes ACB de, Martins AC, Urbano MR, Buzzo ML, Camargo AEI, Peixe TS, et al. (2019), Blood reference values for metals in a general adult population in southern Brazil. *Environ Res*. 177:108646.
- [28]. LeBlanc A, Institut national de santé publique du Québec, Direction des risques biologiques environnementaux et occupationnels, Institut national de santé publique du Québec, Direction de la toxicologie humaine, (2004), Étude sur l'établissement de valeurs de référence d'éléments traces et de métaux dans le sang, le sérum et l'urine de la population de la grande région de Québec [Internet]. Montréal, Québec: Institut national de santé publique du Québec, Direction toxicologie humaine, Direction risques biologiques, environnementaux et occupationnels; [cité 6 nov 2019].
- [29]. Cesbron, A., E. Sausseureau, L. Mahieu, I. Couland, M. Guerbet, et J.-P. Gouille., (2013), « Metallic Profile of Whole Blood and Plasma in a Series of 106 Healthy Volunteers ». *Journal of Analytical Toxicology* 37 (7): 401-5.
- [30]. Parajuli RP, Fujiwara T, Umezaki M, Furusawa H, Ser PH, Watanabe C., (2012), Cord Blood Levels of Toxic and Essential Trace Elements and Their Determinants in the Terai Region of Nepal: A Birth Cohort Study. *Biol Trace Elem Res*. 147(1-3):75-83
- [31]. Röllin HB, Rudge CVC, Thomassen Y, Mathee A, Odland JØ., (2009), Levels of toxic and essential metals in maternal and umbilical cord blood from selected areas of South Africa—results of a pilot study. *J Environ Monit*. 11(3):618.
- [32]. Bermúdez L, García-Vicent C, López J, Torró MI, Lurbe E., (2015), Assessment of ten trace elements in umbilical cord blood and maternal blood: association with birth weight. *J Transl Med*. 13(1):291.
- [33]. Bocca B, Ruggieri F, Pino A, Rovira J, Calamandrei G, Martínez MÁ, et al, (2019), Human biomonitoring to evaluate exposure to toxic and essential trace elements during pregnancy. Part A. concentrations in maternal blood, urine and cord blood. *Environ Res*. 177:108599.
- [34]. Qi Y, Du J., (2015) Analysis of the content and correlation of 6 Trace Elements in maternal and fetal blood in Shenyang area. *Biomed Res*. 26(3):5.
- [35]. Barbieri FL, Gardon J, Ruiz-Castell M, Paco V. P, Muckelbauer R, Casiot C, et al., (2016), Toxic trace elements in maternal and cord blood and social determinants in a Bolivian mining city. *Int J Environ Health Res*. 3 26(2):158-74.
- [36]. Li A, Zhuang T, Shi J, Liang Y, Song M., (2019), Heavy metals in maternal and cord blood in Beijing and their efficiency of placental transfer. *J Environ Sci*. juin;80:99-106.
- [37]. Qi Y, Du J., (2015) Analysis of the content and correlation of 6 Trace Elements in maternal and fetal blood in Shenyang area. *Biomed Res*.;26(3):5.
- [38]. Burns J, Forsyth JS, Paterson CR. (1993), Factors associated with variation in plasma copper levels in preterm infants of very low birth weight. *Eur J Pediatr*;152:240-3.
- [39]. Jochum F, Fuchs A, Cser A, Menzel H, Lombeck I., (1995), Trace mineral status of full-term infants fed human milk, milk-based formula or partially hydrolysed whey protein formula. *Analyst*;120:905-9.

**Annexe I. Comparaison des résultats de notre étude avec ceux d'autres études**

Pays	Nombre d'échantillons	Moyenne de concentration sanguine de la mère (µg/L)	Moyenne de concentration sanguine du cordon ombilical (µg/L)	Source de comparaison
<b>Aluminium ( Al)</b>				
RDC (Lubumbashi)	378/378	28.0	27.8	<b>Notre étude</b>
Canada (Québec)	100	3.1 (1.2-17.3)		(21)
China (Ma'anshan)	2382/2382	57.50 (32.62-132.65)	46.14 (13.34-123.49)	(24)
France (Nord)	1016	2.18 (2.00 - 2.37)		(17)
Italy		2-8		(29)
Italy (Rome)	143		3.14	(23)
<b>Arsenic ( As)</b>				
RDC(Lubumbashi)	378/378	33.23	33.51	<b>Notre étude</b>
Belgium (Flanders)	235/241	0.64 (0.57-0.72)	0.54 (0.47-0.62)	(20)
Bolivia	75/83	6.14 (3.32-14.33)	6.06 (3.32-44.77)	(35)
Brazil (Parana)	512	5.38 (5.14, 5.63) RV : 12.30		(27)
Canada (Québec)	100	6.2 (4.4-14.2)		(21)
China (Beijing)	156/156	2.90 ± 2.13 (<0.07-11.0)	2.0 ± 1.4 (<0.07-8.93)	(24)
China (Shenjing)	180/180	4.435(2.166-30.610)	2.967(0.000-132.90)	(34)
China (Ma'anshan)	2382/2382	1.77 (0.59-5.95)	1.87 (0.64-6.53)	(24)
France (Nord)	1016	1.71 [1.59 - 1.84]		(17)
France (Le Havre)	106	2.48 (1.08-7.10)		(29)
Nepal (Terai)	94	1.30		(30)
South Africa	96/96	0.43(0.08-1.65)	0.41 (0.09-1.26)	(31)
Spain (canary Island)	471		1.36 ± 3.02	(26)
Spain (Valencia)	54/54	0.2	2.03	(32)
Spain (Tarragona)	40/31	1.8 (0.3-7.3)	1.2 (0.3-5.9)	(33)
<b>Cadmium (Cd)</b>				
RDC(Lubumbashi)	378/378	2.59	2.83	<b>Notre étude</b>

Belgium (Flanders)	235/241	0.312 (0.291–0.334)	0.073 (0.066–0.081)	(20)
Brazil (Parana)	512	0.09 (0.08, 0.11) RV :1.33		(27)
Canada (Québec)	100	0.03 (0.01–0.05)		(21)
Canada (Québec)	317	0.688(0.622- 0.761)		(28)
China (Beijing)	156/156	0.72 ± 0.51 (<0.03–2.68)	0.22 ± 0.2 (<0.03–0.46)	(24)
China (Shenjing)	180/180	1.155(0.338-3.119)	0.142(0.000-16.780)	(34)
China (Ma'anshan)	2382/2382	0.06629 (0.02673-0.15869)	0.03914 (0.0563-0.19801)	(24)
France (Nord)	1016	0.39 [0.37 - 0.41]		(17)
France (Le Havre)	106	6.0 (0.13–1.82)		(29)
Italy		0.1 - 2		(22)
Italy (Rome)	143		0.11	(23)
Nepal (Terai)	94	0.29		(30)
RDC(Lubumbashi)	40	0.7 (0.5–1.0)		(5)
South Afri	96/96	0.15 (0.06–0.48)	0.04 (0.01–0.1)	(31)
South Saudia	1565/1566	0.983(0.233–3.157)	0.704(0.245–15.325)	(25)
Spain (canary Island)	471		0.01 ± 0.02	(26)
Spain (Tarragona)	40/31	0.4 (0.3–2.5)	0.5 (0.2–0.9)	(33)

**Annexe I: suite**

<b>Cobalt (Co)</b>				
RDC(Lubumbashi)	378/378	3.12	3.12	<b>Notre étude</b>
Brazil (Parana)	512	0.28 (0.26, 0.30) RV: 1.10		(27)
Canada (Québec)	100	0.49 (0.30–1.02)		(21)
China (Ma'anshan)	2382/2382	0.39 (0.12-0.98)	0.30 (0.15-0.61)	(24)
France (Nord)	1016	0.33 [0.32 - 0.34]		(17)
France (Le Havre)	106	1.07 (0.20–0.63)		(29)
Italy		= 20		(22)
Italy (Rome)	143		0.20	(23)
RDC(Lubumbashi)	40	1.9 (1.1–3.4)		(13)
South Africa	96/96	0.46 (0.22–2.68)	0.34 (0.07–0.85)	(31)
Spain (Valencia)	54/54	0.6195	0.2891	(32)
Spain (Tarragona)	40/31	0.3 (0.1–0.9)	0.3 (0.1–0.6)	(33)
<b>Chrome (Cr)</b>				
RDC(Lubumbashi)	378/378	4.86	5.0	<b>Notre étude</b>
China (Beijing)	156/156	6.36 ± 8.08 (<0.10–37.9)	12.6 ± 26.3 (<0.10–238)	(24)
China (Ma'anshan)	2382/2382	2.88 (1.52-8.00)	2.63 (1.43-9.82)	(24)
France (Nord)	578	0.47 [0.43 - 0.51]		(17)
France (Le Havre)	106	4.40 (0.33–0.87)		(29)
Italy		0.08 -0.5		(22)
Spain (canary Island)	471		1.10 ± 0.66	(26)
Spain (Valencia)	54/54	1.508	3.6244	(32)
Spain (Tarragona)	40/31	0.5 (0.2–1.2)	0.6 (0.1–2.5)	(33)
<b>Nickel (Ni)</b>				
RDC(Lubumbashi)	378/378	8.04	8.93	<b>Notre étude</b>
Canada (Québec)	100	2.20 (0.04–5.31)		(21)
China (Beijing)	156/156	14.5 ± 11.5 (<0.21–47.3)	6.1 ± 3.8 (<0.21–21.2)	(36)
China (Ma'anshan)	2382/2382	0.74 (0.27-2.70)	1.28 (0.45-5.01)	(24)
France (Nord)	1016	1.30 [1.26 - 1.34]		(17)
France (Le Havre)	106	1.98 (0.25–1.36)		(29)
Italy		1.1 -4		(22)
Italy (Rome)	143		0.54	(23)
Spain (canary Island)	471		0.78 ± 0.8	(26)
Spain (Tarragona)	40/31	0.6 (0.4–1.9)	0.7 (0.5–1.7)	(32)
<b>Plomb (Pb)</b>				
RDC(Lubumbashi)	378/378	17.86	15.58	<b>Notre étude</b>
Belgium (Flanders)	235/241	11.1 (10.6–11.7)	8.6 (8.1–9.2)	(20)
Bolivia	419/240	26.53 (4.38–801.60)	22.57 (3.26–707.15)	(35)
Brazil (Parana)	512	15.8 (15.0, 16.5) RV : 45.1		(27)
Canada (Québec)	100	0.062(0.014–0.25)		(21)
Canada (Québec)	311	1.886(1.786- 2.007)		(28)
China (Beijing)	156/156	23.1 ± 21.2 (3.22–151)	14.2 ± 7.6 (3.51–44.0)	(24)
China (Shenjing)	180/180	21.105(0.000-121.70)	21.625(0.000-436.300)	(34)
China (Ma'anshan)	2382/2382	0.86 (0.18-9.25)	0.72 (0.12-16.42)	(24)
France (Nord)	1016	15.6 [15.0 - 16.1]		(17)
France (Le Havre)	106	240(5.4–39.3)		(29)
Italy		40 - 290		(22)
Nepal (Terai)	79	23.1		(30)

*Eléments traces métalliques chez les accouchées et les nouveau-nés résidant aux environs ..*

RDC(Lubumbashi)	40	66.6 (51.6–79.4)		(13)
Saudi Arabia	1577/1572	25.4 (0.73–59.55)	20.57 (1.54–56.511)	(25)
South Africa	96/96	32.9 (16.3–81.5)	24(15–87)	(31)
Spain (canary Island)	471		1.62 ± 2.26	(26)
Spain (Tarragona)	40/31	12(5.2–41)	7.9 (2.8–32)	(33)

**Annexe I: Suite**

<b>Cuivre (Cu)</b>				
RDC(Lubumbashi)	378/378	218	215	<b>Notre étude</b>
Belgium (Flanders)	235/241	1312 (1279–1347)	600 (585–615)	(20)
Brazil (Parana)	512	1182.8 (1139.4, 1227.8) RV : 2141.1		(27)
Canada (Québec)	100	1075(794–2023)		(21)
China (Shenjing)	180/180	1410.5 (539.9-2636.0)	464.4 (193.5-1967.0)	(37)
China (Ma'anshan)	2382/2382	2030 (1410-2880)	300 (180-570)	(24)
France (Le Havre)	106	731(743–1513)		(29)
Italy		600 – 1400		(22)
Italy (Rome)	143		305	(23)
Nepal (Terai)	94	652		(30)
South Africa	96/96	1600(1329–2035)	641(384–1165)	(31)
Spain (canary Island)	471		402.04 ± 193.95	(26)
Spain (Valencia)	54/54	1461.558	260.5386	(32)
Spain (Tarragona)	40/31	1664(892-2626)	623(386–813)	(33)
<b>Magnesium (Mg)</b>				
RDC(Lubumbashi)	378/378	1603	1683	<b>Notre étude</b>
Brazil (Parana)	512	38702.3 (37895.8- 39525.9) RV: 62765.4		(27)
China (Ma'anshan)	2382/2382	19470 (16130-24440)	17580 (14320-22280)	(24)
Spain (Valencia)	54/54	20200	15100	(32)
<b>Manganese (Mn)</b>				
RDC(Lubumbashi)	378/378	23.9	23.5	<b>Notre étude</b>
Belgium (Flanders)	235/241	12.1 (11.6–12.7)	31.2 (29.8–32.8)	(20)
Canada (Québec)	100	1.12 (0.63–2.26)		(21)
Canada (Québec)	286	9.739 (9.401- 10.090)		(28)
China (Shenjing)	180/180	29.145(14.410-70.230)	45.895(17.080-158.500)	(37)
China (Beijing)	156/156	24.3 ± 19.5 (<0.03–179)	49.1 ± 18.0 (10.7–112)	(36)
China (Ma'anshan)	2382/2382	26.6 (13.5-104.3)	54.4 (32.5-137.5)	(24)
France (Nord)	1016	8.12 [7.96 - 8.29]		(17)
France (Le Havre)	106	15.0 (5.9–13.3)		(29)
Italy		6.7 - 10.4		(22)
Italy (Rome)	143		1.85	(23)
RDC(Lubumbashi)	40	19.4 (15.0–24.3)		(13)
South Africa	96/96	17.7 (8.8–30.6)	19.7 (7.2–69)	(31)
Spain (Valencia)	54/54	1.7545	3.37	(32)
Spain (Tarragona)	40/31	16 (5.6–33)	28(7.7–77)	(33)
<b>Selenium (Se)</b>				
RDC(Lubumbashi)	378/378	47.32	46.61	<b>Notre étude</b>
Brazil (Parana)	512	85.4 (83.7, 87.1) RV : 132.2		(27)
Canada (Québec)	100	112(79–141)		(21)
Canada (Québec)	317	216.535 (206.661- 224.409)		(28)
China (Ma'anshan)	2382/2382	70.27 (45.14-106.60)	43.21 (26.30-76.01)	(24)
France (Le Havre)	106	151 (85–142)		(29)
Italy		80-140		(22)
Italy (Rome)	143		43.7	(23)
Nepal (Terai)	94	168		(30)
South Africa	96/96	100(82–153)	99(79–182)	(31)
Spain (canary Island)	471		66.69 ± 24.31	(26)
Spain (Valencia)	54/54	55.432	34.5196	(32)
Spain (Tarragona)	40/31	107(37-156)	100(40–170)	(33)

**Annexe I: Fin.**

<b>Zinc (Zn)</b>				
RDC(Lubumbashi)	378/378	419	384	<b>Notre étude</b>
Brazil (Parana)	512	6306.9 (6053.8, 6570.7) RV : 12076.3		(27)
Canada (Québec)	100	726(551–925)		(21)
China (Shenjing)	180/180	5747.0 (2300.0-8620.0)	1793.0 (789.0-13850.0)	(37)
China (Ma'anshan)	2382/2382	810 (600-1130)	900 (650-1330)	(24)
France (Nord)	1016	5487 [5432 - 5542]		(17)
France (Le Havre)	106	5135 (4220–7198)		(29)
Italy		4000-8000		(22)
Italy (Rome)	143		901	(23)
Nepal (Terai)	94	2202		(30)
South Africa	96/96	5849(3745–8075)	2338(1558–4738)	(31)
Spain (canary Island)	471		1179 ± 417	(26)
Spain (Valencia)	54/54	758.408	693.028	(32)
Spain (Tarragona)	40/31	6708(4071-9064)	2311(1489–3049)	(33)

Cham LC, et. al. “Eléments traces métalliques chez les accouchées et les nouveau-nés résidant aux environs des sites d’exploitation minière dans la ville de Lubumbashi, République Démocratique du Congo.” *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS)*, 19(8), 2020, pp. 50-60.