

Détermination des teneurs en métaux lourds dans les compléments alimentaires mis en vente en Algérie par spectrométrie d'absorption atomique

Akli Islem Chebli^{1*}, Soumia Haddad², Meriem Oukil², Mohamed Amine Reffai¹, Saida Seleyimi¹, Sabrina Cheradi¹, F.Z Hamzaoui^{1,3}

¹Centre National de Toxicologie

²Département de chimie du médicament, faculté de chimie, université des sciences et de la technologie Houari Boumediene

³départements de pharmacie, faculté de médecine, université Alger 1

Abstract. Food supplements are products intended to be ingested in addition to the current diet in order to compensate for a real or supposed insufficient daily intake.

A wide range of toxic substances that contaminate food supplements such as cadmium, lead and mercury causing long-term carcinogenic, mutagenic, toxic effects for reproduction and for the kidneys.

A method of analyzing metals in food supplements by electrothermal atomic absorption spectrometry has been developed according to standard NF 13804 and validated, the pretreatment of samples was carried out by digestion under pressure according to standard NF 13805.

In total, a number of sixty (60) products were checked and analyzed by an atomic absorption spectrometry method by comparing the result obtained with the EC regulation n° 1881/2006, which sets the standard of 3 mg / Kg in supplements. Food for lead and 1 mg / Kg for cadmium.

In this study, we found low levels of lead and cadmium in food supplements available for sale in Algeria, All of the results obtained showed that 5% of the samples had a lead content below the MRL and 5% a cadmium content lower than MRL. 90% of the food supplements sold in Algeria were compliant; nevertheless 51% of the products contained a lead or cadmium content above the limit of quantification of the method of analysis but below the MRL. If the products have been used and packaged according to the manufacturer's instructions, the average daily intake of heavy metals will be well below the recommended tolerable daily allowance.

Keywords: food supplements, heavy metals, chemical contamination, toxicological analyzes, atomic absorption spectrometry

Résumé. Les compléments alimentaires sont des produits destinés à être ingérés en complément de l'alimentation courante afin de pallier à une insuffisance réelle ou supposée des apports journaliers.

Un large éventail de substances toxiques qui contaminent les compléments alimentaires tels que le cadmium, le plomb et le mercure causant à long terme des effets cancérigènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction et pour les reins.

Une méthode d'analyse des métaux dans les compléments alimentaires par spectrométrie d'absorption atomique électrothermique a été mise au point au Centre National de Toxicologie selon la norme NF 13804 et validée, le prétraitement des échantillons a été réalisé par une digestion sous pression selon la norme NF 13805.

Au total un nombre de soixante (60) produits a été contrôlés et analysés par une méthode de spectrométrie d'absorption atomique en comparant le résultat obtenu avec le règlement CE n° 1881/2006 qui fixe la norme de 3 mg/Kg dans les compléments alimentaires pour le plomb et 1 mg/Kg pour le cadmium .

*Corresponding author. Akli Islem Chebli.

E-mail: chebliislam@live.fr

Adresse : rue petit Staoueli , NIPA, Delybrahim Alger.

Dans cette étude, nous avons trouvé de faibles niveaux de plomb et de cadmium dans les compléments alimentaires disponibles à la vente en Algérie, L'ensemble des résultats obtenus a montré que 5 % des échantillons présentent une teneur en plomb inférieure à LMR et 5 % une teneur en cadmium inférieure à LMR. 90% des compléments alimentaires mis en vente en Algérie étaient conforme, néanmoins 51% des produits contenaient une teneur en plomb ou en cadmium supérieure à la limite de quantification de la méthode d'analyse mais inférieure à la LMR. Si les produits ont été utilisés et conditionnés selon les instructions du fabricant, l'apport quotidien moyen en métaux lourds sera bien en deçà des apports journaliers tolérables recommandés.

Mots clés : compléments alimentaires, métaux lourds, contamination chimique, analyses toxicologiques, spectrométrie d'absorption atomique

Liste des abréviations :

LMR : limite maximal en résidus

LQ : limite de quantification

LD : limite de détection

SFSTP : Société Française des Sciences et Techniques Pharmaceutiques

1. Introduction

Le complément alimentaire est toute substance ou produit transformé, dont le but est de compléter le régime alimentaire normal (1), le complément alimentaire constitue une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seuls ou combinés (1), commercialisés sous plusieurs formes (gélules, comprimés, pilules et autres formes similaires tels des sachets de poudre, des ampoules) (1).

En Algérie, une production de plus en plus croissante et une augmentation considérable dans la demande et de l'intérêt vis-à-vis des compléments alimentaires, la problématique porte sur la contamination de ces compléments alimentaires par les métaux lourds tels que le cadmium, le plomb et le mercure causant à long terme des effets cancérigènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction, pour les reins et qui sont rapportés par la littérature (2, 3,4).

La détermination des teneurs en cadmium et en plomb est donc incontournable pour garantir la sécurité des compléments alimentaires. Selon la réglementation européenne la limite maximale en résidus et contaminants ne doit pas dépasser 3 mg/ Kg pour le plomb et 1 mg/ Kg pour le cadmium (5).

Une méthode d'analyse des compléments alimentaires par spectrométrie d'absorption atomique électrothermique a été mise au point au Centre National de Toxicologie selon la norme NF 13804 et validée selon un protocole SFSTP qui définit la validation du profil d'exactitude, le prétraitement des échantillons a été réalisé par une digestion sous pression selon la norme NF 13805.

L'objectif de cette étude était de déterminer la teneur en plomb et en cadmium dans différents compléments alimentaires commercialisés en Algérie.

2. Méthodologie

2.1. Matériel

2.1.1. Plan d'échantillonnage

L'étude a été effectuée selon un plan d'échantillonnage comprenant toutes les catégories des compléments alimentaires (vitamines et minéraux, substances à but nutritionnel ou physiologique, plantes ou préparation de plantes) commercialisés dans 8 pharmacies différentes situées à Alger : Bab Ezzouar, Dar El Beida, Bab el oued, Alger centre, Draria. Cheraga, Staoueli et 4 commerces parapharmaceutiques situés à Alger centre, Staoueli, et Dar el Beida.

Au total 60 produits ont été analysés, les compléments alimentaires sélectionnés pour l'échantillonnage sont identifiés de C1 à C43.

Un échantillonnage en plus a été effectué dans les pharmacies situées à Zeralda, Alger centre, Ouled Fayet, Hydra ainsi que dans les commerces parapharmaceutiques situés à Bab Ezzouar, Zeralda, Hydra , et qui concerne les compléments alimentaires dont la teneur en plomb ou en cadmium dépassait la LMR , ces échantillons identifiés C5.1 à C5.4 , C6.1 à C6.2, C9.1 à C9.2, C34.1 à C34.3 , C39.1 à C39.2 , C43.1 à C43.4

2.1.2. Réactifs et solutions

Les différents produits utilisés dans cette méthode d'analyse sont : Acide nitrique HNO₃ 65 % (CARLO ERBA V2A650182A,Italie), Peroxyde d'hydrogène H₂O₂ (30% en V/V, qualité ICP), Solution standard plomb (PANREAC 0000517687, Illinois USA), Solution standard cadmium (PANREAC 0000479599, Illinois USA) , Dihydrogénophosphate d'ammonium (CHEM-LAB20.0100511.1 , Belgique) , Nitrate de magnésium (CHEM-LAB 20.124120.1 , Belgique), L'eau ultra-pure, utilisée pour préparer les solutions étalons et les échantillons, est obtenue à partir du système de production d'eau milli-Q (résistivité = 18.1 M.Ω.cm). Des solutions filles ont été réalisées à des concentrations différentes (Solution mère à 1000µg/L de plomb et cadmium, Solution fille de plomb à 100 µg/L, Solution fille cadmium à 20 µg/L) pour la préparation de la gamme d'étalonnage et les contrôles de qualité.

2.1.3. Instrument d'analyse

L'instrument utilisé pour la détermination de la teneur de plomb et de cadmium est un spectrophotomètre d'absorption atomique électrothermique équipé d'une correction par effet Zeeman de type AAnalyst 800 Perkin Elmer (Massachusetts,USA), l'instrument est équipé d'un auto sampler (AS 800 auto sampler), piloté automatiquement par le logiciel (Win Lab 32) , la source de lumière est une lampe à cathode creuse pour le plomb (perkinLuminaLamp P/N N305-0157) et le cadmium (perkinLuminaLamp P/N N305-0115) , le compartiment électrothermique équipé d'un four en graphite et protégé par le gaz argon (de qualité 5.5) , le prétraitement de l'échantillon est réalisé par microonde (Sineo Master 15 ,China).

2.1. Méthode analytique

Journal Le prétraitement des échantillons a été réalisé par une digestion sous pression, une prise d'essai de 0.5 gramme de complément alimentaire est pesée, la minéralisation acide est réalisée par ajout de 3 mL d'acide nitrique, 0.5mL le peroxyde d'hydrogène et 3 mL d'eau ultra pure, les vessels de digestion de 100 mL en polytétrafluoroéthylène, Le minéralisât final récupéré et complété jusqu'à 50 mL d'eau distillé

Le Programme thermique de digestion est décrit dans la le **tableau 1**.

Tableau 1 : Programme thermique de micro-onde

Étape	Température (°C)	Temps (min)	W énergie (watts)
1	130	10	1800
2	150	20	1800
3	180	25	1800

Les conditions analytiques instrumentales qui sont appliquées sont optimisées et validées, ces conditions sont définies dans le **tableau 2** et le **tableau 3**.

Tableau 2 : Conditions opératoires instrumentales

Élément	Pb	Cd
Type de Lampe	Cathode creuse	Cathode creuse
Longueur d'onde (nm)	283.3	228.8
Énergie de la lampe	37	25
Correction	Effet Zeeman	Effet Zeeman
Débit du gaz vecteur (argon) mL/mn	250	250
Volume du modificateur de matrice (µl)	5	5
Volume injecté (µl)	20	20
Modificateurs de matrice	NH ₄ H ₂ PO ₄ 0.6 g/l	Mg(NO ₃) ₂ 10g/l + NH ₄ H ₂ PO ₄ 0.6 g/l
Réplique	2	2

Tableau 03 : programme d'atomisation électrothermique

Étape	Température (C °)		Temps de montée (S)		Temps de maintien (S)		Débit de gaz (l /min)	
	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd
Séchage	110	110	1	1	30	30	250	250
Pyrolyse	130	130	15	15	30	30	250	250
Atomisation	1600	1400	0	0	5	5	0	0
Nettoyage	24500	24500	1	1	3	3	250	250

3. Résultat

La technique d'analyse est linéaire de 0.5 à 8 mg/Kg pour le plomb et de 0.1 à 1.8 mg/Kg pour le cadmium. La limite de quantification (LQ) pour le plomb est de 0,37 mg/Kg et pour le cadmium est de 0,19 mg/Kg.

Dans cette étude, soixante (60) échantillons de complément alimentaire au total ont été analysés. Les résultats obtenus sont décrits dans le **Tableau 04**.

54 échantillons (90 %) des échantillons avaient une teneur en plomb ou cadmium inférieure à la LMR. Trois (03) échantillons avaient une teneur en plomb supérieure à la LMR ce qui correspond à 5 % des produits collectés, il s'agit des échantillons C5, C6, C9, ces trois échantillons appartiennent à la catégorie des vitamines et des minéraux dont l'origine est synthétiques, trois (03) échantillons avaient une teneur en cadmium supérieure à la LMR ce qui correspond à 5 %, il s'agit des échantillons C34, C39, C43, ces trois échantillons appartiennent à la catégorie des plantes ou préparation de plantes dont l'origine est naturelle.

51% des produits contenaient une teneur en plomb ou en cadmium supérieure à la LQ mais inférieure à la LMR.

Tableau 4 : Concentrations en plomb et en cadmium des 60 échantillons de compléments alimentaires

Catégorie des Compléments alimentaires	Code	Composition	Concentration plomb (mg/Kg)	Concentration cadmium (mg/Kg)	
Vitamines et minéraux	C1	Cholécalciférol, carbonate de calcium	2.10 ±0.23	0.22 ±0.1	
	C2	Calcium	< LQ	< LQ	
	C3	Vitamine C	< LQ	< LQ	
	C4	Vitamine C	< LQ	0.84±0.1	
	C5	Vitamine C (acide ascorbique),oxyde de zinc stéarate de magnésium	14.80 ±0.23	0.42±0.1	
	C5.1	Vitamine C (acide ascorbique),oxyde de zinc stéarate de magnésium	2.45±0.23	0.53±0.1	
	C5.2	Vitamine C (acide ascorbique),oxyde de zinc stéarate de magnésium	2.10±0.23	0.43±0.1	
	C5.3	Vitamine C (acide ascorbique),oxyde de zinc stéarate de magnésium	1.31±0.23	< LQ	
	C5.4	Vitamine C (acide ascorbique),oxyde de zinc stéarate de magnésium	0.62±0.23	< LQ	
	C6	Vitamine C, stéarate de magnésium	13.60 ±0.23	0.28 ±0.1	
	C6.1	Vitamine C, stéarate de magnésium	2.42±0.23	< LQ	
	C6.2	Vitamine C, stéarate de magnésium	2.16±0.23	0.79±0.1	
	C7	Oxyde de zinc	< LQ	< LQ	
	C8	Vitamines C ,B1, B2, B3, B6, B12	< LQ	0.53 ±0.1	
	C9	Vitamines B1, B2, B3, B5, B6 ,B8, B9 ,B12, C	7.35 ±0.23	< LQ	
	C9.1	Vitamines B1, B2, B3, B5, B6 ,B8, B9 ,B12, C	0.93±0.23	< LQ	
	C9.2	Vitamines B1, B2, B3, B5, B6 ,B8, B9 ,B12, C	1.12±0.23	< LQ	
	C10	Vitamines B1, B6	1.42 ±0.23	0.87±0.1	
	C11	Vitamines B9	< LQ	0.46±0.1	
	C12	Vitamine B6, B9	< LQ	0.78±0.1	
	C13	Vitamine E	< LQ	< LQ	
	C14	Vitamines B1 , B9	< LQ	< LQ	
	C15	Vitamine D	0.90 ±0.23	0.41 ±0.1	
	substances nutritionnel physiologique	à but ou C16	Cholestérol, sodium, sucres, protéines, vitamines A ,C, calcium, fer	< LQ	< LQ

C17	Acides gras saturé, sucres, polyols, amidon, sels, protéines, calcium, sodium, fer	< LQ	0.63±0.1
C18	Vitamines B1 ,B2, PP ,B6, B9 Protéine, glucides, lipides, minéraux.	1.54 ±0.23	0.59±0.1
C19	Hydroxyde ferrique poly maltose, Acide folique	1.57 ±0.23	< LQ
C20	Isolats de Protéines de Lactosérum, Concentré de Protéines de Lactosérum	< LQ	0.23±0.1
C21	protéine isolée de soja, caséinate de calcium, de protéines de lactosérum concentré de lait, poudre de cacao, de saccharose	< LQ	< LQ
C22	Concentrés de protéines, glucides	1.23 ±0.23	0.84±0.1
C23	Acides gras oméga3, oméga 6	< LQ	< LQ
C24	complexe glycine-sulfate de fer	2.08±0.23	0.78±0.1
C25	Lipide, acide aminé, sels, protéines, glucides	1.19±0.23	< LQ
C26	Acide aminés : L-lysine	2.15±0.23	0.46 ±0.1
C27	Acide aminés : L- Méthionine	0.62 ±0.23	< LQ
C28	Acide aminés : L-Glutamine	< LQ	< LQ
C29	Acide aminés : L-Arginine	< LQ	< LQ
C30	Acide aminés : L-Tryptophane	1.84 ±0.23	0.22 ±0.1
C31	Hydrate de carbone	< LQ	< LQ
C32	Taurine, chrome	0.98±0.23	0.26±0.1
C33	Taurine	1.50 ±0.23	< LQ
C34	Poudre concentrée de Ganodermalucidum	< LQ	1.84±0.1
C34.1	Poudre concentrée de Grifolafrondosa	0.87±0.23	0.93±0.1
C34.2	Poudre concentrée de Lentinusedodes	1.05±0.23	0.8±0.1
C34.3	Poudre concentrée de Ganodermalucidum	1.12±0.23	0.45±0.1
C35	Extrait naturelle du gingembre	1.25±0.23	< LQ
C36	Eleutherococcussenticosus Melissa officinalis Tryptophane Magnesium Vitamine B1 B6 Rhodiolarosea	1.23±0.23	< LQ
C37	Extrait de poudre naturelle de fenouil pure	< LQ	0.31±0.1
C38	Cannelle, gingembre, girofle,	< LQ	< LQ

	serpolet				
C39	Bruyère, bourrache, frêne, genévrier, romarin			0.90 ±0.23	1.60 ±0.1
C39.1	Bruyère, bourrache, frêne, genévrier, romarin			< LQ	0.64±0.1
C39.2	Bruyère, bourrache, frêne, genévrier, romarin			< LQ	0.47±0.1
C40	Aubépine, noyer, olivier, lavande, chiendent			< LQ	< LQ
C41	Cyprès, romarin, menthe vert, serpolet, ortie, sauge			2.26±0.23	< LQ
C42	Lavande, oranger, marjolaine, mélisse, aubépine			1.19±0.23	< LQ
C43	Fenouil semence, anis vert semence, romarin, bourdaine, réglisse			0.60 ±0.23	3.80 ±0.1
C43.1	Fenouil semence, anis vert semence, romarin, bourdaine, réglisse			0.74±0.23	0.84±0.1
C43.2	Fenouil semence, anis vert semence, romarin, bourdaine, réglisse			0.67±0.23	0.48±0.1
C43.3	Fenouil semence, anis vert semence, romarin, bourdaine, réglisse			< LQ	< LQ
C43.4	Fenouil semence, anis vert semence, romarin, bourdaine, réglisse			< LQ	< LQ

4. Discussion

En vue de déterminer les teneurs des contaminants en plomb et en cadmium dans différentes catégories des compléments alimentaires commercialisés en Algérie, et vérifier leurs conformités avec la réglementation européenne. Un échantillonnage a été réalisé sur une étendue large répartie sur les catégories ; Vitamines et minéraux, substances à but nutritionnel ou physiologique, plantes ou préparation de plantes, dans le but d'inventorier la quasi-totalité des produits disponibles en Algérie.

Un nombre de soixante (60) produits a été contrôlés et analysés par une méthode de spectrométrie d'absorption atomique en comparant le résultat obtenu avec le règlement européen (3) qui fixe la norme de 3 mg/Kg dans les compléments alimentaires pour le Plomb et 1 mg/Kg pour le cadmium .

La méthode d'analyse et de prétraitement a été validée et les critères de validation de cette méthode ont été évalués (6.7.8), les paramètres suivants ont été déterminés : Linéarité (0.5 à 8 mg/Kg pour le plomb et de 0.1 à 1.8 mg/Kg pour le cadmium), répétabilité (coefficient de variation à la limite de quantification =8.02 % pour le plomb et 11.2% pour le cadmium), sensibilité (σ =0.02 pour le plomb, σ =0.03 pour le cadmium) , justesse (biais relatif = 6.1 % à la limite de quantification pour le plomb et 11.3% pour le cadmium), limite de quantification (0,37 mg/Kg pour le plomb et 0,19 mg/Kg pour le cadmium).

En comparant les critères de validation de la méthode d'analyse choisie avec des études décrites dans la littérature (9,10) elle permet de donner des résultats plus fiables en terme de justesse, en évitant les interférences matricielles et atomiques (11).

L'ensemble des résultats obtenus a montré qu'il existe que 06 échantillons non conformes, trois échantillons contenaient du plomb à une teneur supérieure à la LMR et qui appartiennent à la catégorie des vitamines et des minéraux dont l'origine est synthétiques, trois échantillons contenaient du cadmium à une teneur supérieure à la LMR et appartiennent à la catégorie des plantes ou préparation de plantes dont l'origine est naturelle.

L'étude a montré aussi que 51% des compléments alimentaires commercialisés pouvaient contenir des teneurs en plomb ou en cadmium sous forme de traces. Ces taux pourraient être le résultat d'une contamination issue des procédures de fabrication pour les compléments alimentaires à base vitamine et minéraux, ou naturelle pour les compléments alimentaires à base de plantes, cela est décrit dans la littérature (12).

L'absence d'autres études en Algérie concernant le contrôle des teneurs en plomb et en cadmium dans les compléments alimentaires a empêché de comparer les résultats avec notre étude.

Cependant en comparant avec une étude faite au Liban (13), qui a montré que 30% des compléments alimentaires pouvaient contenir du cadmium qui est nettement supérieur des teneurs trouvées dans notre étude, par contre tous les échantillons avaient une concentration en plomb inférieure aux limites admissibles ce qui conforte le résultat trouvé dans notre étude.

Dans le même sens que cette étude, des auteurs rapportent des valeurs très élevées en contaminant plomb et cadmium dans les compléments alimentaires à base de plantes (14), un risque potentiel sur la santé humaine, des cas rapportés par la littérature d'intoxication chronique par le plomb suite à une consommation régulière de plantes amincissantes et tonifiantes (15,16).

Après avoir analysé les données issues de cette étude, des recommandations sont émises pour le renforcement de la législation pour empêcher la production clandestine et la commercialisation en dehors du circuit légal.

Cependant, Ce travail n'a pas été à l'abri de limites méthodologiques. D'une part, l'absence de méthode d'analyse de dosage du mercure, une exigence fixée par le règlement européen, d'autre part l'absence d'une liste exhaustive des compléments alimentaires commercialisés en Algérie a empêché d'avoir un nombre d'échantillons plus important qui permet mieux de renseigner sur la contamination en plomb et en cadmium des produits commercialisés.

5. Références

- (1) directive européenne 2002/46/CE en droit français par le décret 2006-352 publié au J.O. de la République Française, le 20 mars 2006
- (2) Elliot Charen and Nikolas Harbord, Toxicity of Herbs, Vitamins, and Supplements, *Adv Chronic Kidney Dis.* (2020); 27(1):67-71
- (3) Rick Liva, Facing the Problem of Dietary-Supplement Heavy-Metal Contamination: How to Take Responsible Action, *Integrative Medicine.* (2007) Vol. 6, No. 3
- (4) Rodjana Chunhabundit, Cadmium Exposure and Potential Health Risk from Foods in Contaminated Area, Thailand, *Toxicol Res.* (2016); 32(1): 65-72.
- (5) Règlement (CE) n° 1831/2003 de la Commission du 22 septembre 2003 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires
- (6) NF T 90210, Protocole d'évaluation initiale des performances d'une méthode dans un laboratoire. Novembre 2018

- (7) NF V03-110, Analyse des produits agricoles et alimentaires .Protocole de caractérisation en vue de la validation d'une méthode d'analyse quantitative par construction du profil d'exactitude. (Mai 2010).
- (8) 2002/657/CE: Décision de la commission portant modalités d'application de la directive 96/23/CE du conseil en ce qui concerne les performances des méthodes d'analyse et l'interprétation des résultats (août 2002).
- (9) Food safety and standards authority of india, ministry of health and family welfare government of india, *Manual Of Methods Of Analysis Of Foods, Lab Manuel* .(2015)
- (10) The American Herbal Products Association. Heavy Metals: Analysis and Limits in Herbal Dietary Supplements ,*AHPA's guidance policy on heavy metals*. (2009)
- (11) Khalid Boutakhrit, Fabien Bolle, Massimo Crisci, Joris van Loco. Comparison of 4 analytical techniques based on atomic spectrometry for the determination of total tin in canned foodstuffs .*Food Additives and Contaminants*.(2010)
- (12) Naseem Mohammed Abdulla, Balazs Adam, Iain Blair and Abderrahim Oulhaj, Heavy metal content of herbal health supplement products in Dubai – UAE, *across-sectional study BMC Complementary and Alternative Medicine* . (2019)19:276
- (13) Samira Ibrahim Korfali, Tamer Hawi and Mohamad Mroueh. Evaluation of heavy metals content in dietary supplements in Lebanon, *Chemistry Central Journal* .(2013) 7:10
- (14) Jakub Fibigr, Dalibor Šatínský, Petr Solich, Current trends in the analysis and quality control of food supplements based on plant extracts, *Analytica Chimica Acta* ,(2019).
- (15) Piotr Rzymiski ,Przemysław Niedzielski b, Nina Kaczmareka, Tomasz Jurczak c, Piotr Klimaszyk d. The multidisciplinary approach to safety and toxicity assessment of microalgae-based food supplements following clinical cases of poisoning. *Harmful Algae*.(2015) 46 , 34–42
- (16) Agnès Saulnier, Josefa Bleu, Anne Boos, Islah El Masoudi, Pascale Ronot, Sandrine Zahn, Mirella Del Nero, Sylvie Massemin. Consequences of trace metal cocktail exposure in zebra finch (*Taeniopygia guttata*) and effect of calcium supplementation, *Ecotoxicology and Environmental Safety* , (2020) 193 110357