

Etude de l'effet des éléments traces métalliques sur les fonctions neurocognitives des enfants scolarisés dans la région de Marrakech: Cas du plomb

Study of the effect of trace metals on neurocognitive function of schooled children in Marrakech region: Lead Case

Sana Maidoumi¹, Hind Ait Belcaid¹, Hajar Sebban¹, Ahmad Omar Tohami Ahami², Nadra Lekouch¹ and Azzedine Sedki¹

¹Laboratoire d'Hydrobiologie, Ecotoxicologie, Assainissement et Climat. Département de Biologie, Faculté des Sciences - Semlalia. Université Cadi Ayyad, Bd Moulay Abdellah BP, 2390-40001 Marrakech, Maroc.

²Laboratoire de Biologie et Santé. Unité de Neurosciences et Nutrition. Département de Biologie, Faculté des Sciences. Université Ibn Tofail, Bd: 133, Kenitra, Maroc.

Correspondance: S. Maidoumi. smaidoumi@gmail.com

Mots Clés: Eléments traces métalliques, Neurocognition, Enfants, Saada, Marrakech.

Keys words: Trace elements, Neurocognition, Children, Saada, Marrakech.

Résumé

Intérêt

Le plomb est une substance toxique envahissante qui nuit au développement neurocognitif et comportemental des enfants. Des associations négatives ont été rapportées entre l'exposition au plomb et le développement cognitif des enfants même avec des doses considérées normales.

Objectif

La présente étude a pour but d'évaluer l'imprégnation des enfants en plomb et de prospecter l'état d'association entre l'exposition à une faible contamination par le plomb et les fonctions cognitives des enfants scolarisés à la région de Marrakech (zone semi urbaine Saada).

Méthode

L'étude a été réalisée chez 78 enfants scolarisés en premier (CE1) et deuxième (CE2) niveau de l'enseignement fondamental. Leur âge est compris entre 6 et 10 ans. Une enquête épidémiologique a permis de collecter leurs données démographiques et socioéconomiques. La concentration en plomb dans les ongles a été mesurée par le spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme. Certaines composantes des fonctions neurocognitives ont été également évaluées. Il s'agit principalement, du test de barrage des cloches qui évalue la fonction d'attention visuelle et du test des matrices progressives de Raven.

Résultat

La teneur moyenne en plomb dans les ongles était importante au niveau de notre population ($40,5 \mu\text{g/g} \pm 36,7$). Les troubles d'attention visuelles étaient prédominants (88,5 %). Une association significative entre les teneurs en plomb dans les ongles et la fonction d'attention visuelle a été mise en évidence. Cependant, d'autres facteurs interfèrent et prouvent leur association avec l'attention visuelle et l'intelligence générale des enfants.

Conclusion

Après cette mise au point, qui a traité pour la première fois au Maroc la question de faibles teneurs en plomb dans les ongles des enfants et l'état de santé de leurs fonctions cognitives, il a été conclu que les teneurs en plomb dans les ongles de nos sujets affectent leur fonction cognitive visuo-attentionnelle.

Summary

Purpose

The lead is an intrusive toxic matter which harms in the neurocognitive and behavior development of the children. Negative associations were reported between the exposure to the lead and the cognitive development of the children even with doses considered normal.

Aims

The present study aimed at estimating the impregnation of the children by the lead and to canvass the relation state between the low lead exposure and the cognitive functions of the children schooled in Marrakech region (semi urbain area Saada).

Methods

The study was realized at 78 child's schooled in the first and the second level of the fundamental education. Their age is between 6 and 10 years. An epidemiological survey allowed to collect their demographic and socioeconomic data. The lead concentration in nails was measured by atomic absorption spectrophotometer with flame. Certain components of the cognitive functions were also estimated. It is mainly the bell test which estimates the function of visual attention and the test of the progressive matrices of Raven.

Results

The lead average content in nails was important at the level of our population ($40.5 \mu\text{g/g} \pm 36.7$). The disorder of visual attention was dominant (88.5 %). A significant association, in particular case this between the lead contents and the function of visual attention was highlighted. However, other factors interfere and prove their association with visual attention and general intelligence of children.

Conclusion

After this development, which treated for the first time in Morocco the question of low lead tinctures in the nails of the children and the state of their cognitive functions, it was concluded that the lead level in the nails of our subjects affect their visuo-attentional cognitive function.

Introduction

Le plomb (Pb) est l'un des éléments traces métalliques (ETM) non essentiels pouvant entraîner des nuisances, même quand ils sont rejetés en quantité très faibles. Sa toxicité se développe par bioaccumulation le long de la chaîne alimentaire (Chiffolleau, 2004). Il a été décrit comme étant dangereux pour le système nerveux central (SNC) en développement, en raison (a) du manque d'une barrière hémato-encéphalique fonctionnelle, (b) de la prolifération cellulaire intense, (c) de la différenciation et (d) de la synaptogenèse qui a lieu pendant la gestation et la période postnatale précoce chez les mammifères (Goyer, 1990; Moreira *et al.*, 2001). Les enfants sont particulièrement vulnérables aux effets neurotoxiques de Pb parce qu'une plus grande proportion de ce métal circule de façon systématique dans leurs cerveaux. En outre, ils sont plus chanceux d'être exposés aux sources environnementales à cause de leur comportement main-

bouche et de la plus haute absorption de Pb ingérée dans l'étendue gastro-intestinale (50 %) comparée avec celle des adultes (20-30 %) (Lidsky et Schneider, 2003).

À cause de la sensibilité spéciale des enfants, même des niveaux relativement bas d'exposition peuvent causer des dégâts neurologiques irréversibles, menant à la déficience intellectuelle permanente (Dart *et al.*, 2004). En Juin 2012, le programme national de toxicité (NTP) a conclu qu'il y avait assez de preuves pour soutenir que les concentrations sanguines en plomb (CSP) de < 5 µg/dL étaient associées à divers indices de réduction de la fonction cognitive, et augmentaient l'incidence des problèmes d'inattention et des comportements à problème chez les enfants (NTP, 2012).

Les conséquences indésirables d'une exposition jusqu'à 1 à 2 µg/dL, avaient notamment des effets neurocomportementaux, neurodégénératifs, cardiovasculaires et rénaux, ainsi que des effets sur la reproduction (Meyer *et al.*, 2008; Haefliger *et al.*, 2009).

Ainsi, malgré la diminution des CSP et des teneurs en plomb dans les cheveux des enfants dans notre région (de 9,85 µg/dl et 8,5 µg/g (Lekouch, 2004) à 3,13 µg/dl et 1,28 µg/g respectivement (El Fadeli, 2013; Bouhouch *et al.*, 2016), cela ne pourrait justifier l'innocuité des mesures récemment enregistrées. D'où l'intérêt de ce travail. Son objectif est de procéder à une réévaluation de l'état d'imprégnation de la même population en Pb et d'examiner certains aspects de leur santé neuropsychologique cognitive.

Sujets, matériel et méthode

Des enfants des deux sexes et dont l'âge est compris entre 6 et 10 ans ont été sélectionnés du premier cycle de l'enseignement fondamental (classe de CE1 et CE2). L'étude s'est effectuée au niveau de la zone semi urbaine "Saada", lieu de résidence des enfants, en raison de la présence d'un site minier "Drâa Lasfar" localisé au Nord-Ouest de la zone Mrabtine et située à 13 km environ à l'Ouest de la ville de Marrakech. Trois groupes scolaires ont été concernés suite à un échantillonnage aléatoire simple sur la base d'une liste de 10 écoles:

- École Tazakourt (zone minière, Douar Ouled El Guern; n = 41).
- École Bou Aïcha (zone minière, Douar Ouled Ben Aïcha; n = 15).
- École Al Mourabitin (Douar Mrabtin; n = 22).

Une fois le consentement éclairé est établi avec les parents, pour chaque enfant ont été réalisés:

Une enquête par questionnaire

Elle a servi d'outil pour mener une étude épidémiologique auprès des couples mères-enfants afin d'identifier les covariables pouvant influencer les fonctions cognitives des enfants, tels; (a) le statut socio-économique des parents (niveau d'éducation, l'âge de gestation, fratrie, ...etc.) et (b) les habitudes alimentaires des enfants y compris le mode d'allaitement. Les mesures anthropométriques des enfants ont été également notées en vue d'appréhender leur statut nutritionnel.

Une évaluation des fonctions cognitives

Quatre composantes des fonctions cognitives ont été évaluées en utilisant un kit de quatre tests neuropsychologiques valides et adaptés à l'âge des enfants. Il s'agit, en l'occurrence de (a) test des matrices progressives de Raven (version PM38) qui évalue l'intelligence, la capacité intellectuelle et l'habileté mentale générale, (b) le Bell test ou test de barrage des cloches (TBC) qui permet de mesurer les capacités visuo-attentionnelles (ODEDYS, 2005) des enfants dans le cadre d'une épreuve de recherche de cible parmi des distracteurs, (c) test de mémoire de travail ou "l'empan des chiffres" qui est un subtest de l'échelle verbale du WISC III (Wechsler Intelligence Scale for Children) et (d) le Labbel qui est un test de langage.

Des mesures écotoxicologiques

Des échantillons des ongles (de 5 à 10 ongles) ont été collectés à l'aide des coupants en acier inoxydable. Ils étaient prélevés de la main (n = 78). Chaque échantillon a été scellé séparément dans un sachet en papier étiqueté portant le code de l'élève et le nom de l'école de

provenance. Les sachets n'ont pas été ouverts avant qu'ils n'aient été nettoyés et traités dans le laboratoire. Avant de procéder à la minéralisation, une étape de lavage est faite par un détergent non ionique (Triton X-100) suivant la procédure standard de lavage (Gammelgaard *et al.*, 1991). Subséquemment, les ongles ont été trempés dans l'acétone pour enlever les contaminants externes, puis lavés 5 fois par l'eau déminéralisée, séchés et gardés dans un dessiccateur (Sukumar et Subramanian, 2007, cité par Liao, 2015). Ensuite, les échantillons des ongles ont été attaqués par la méthode bi-acide (5 ml d'acide nitrique et 5 ml d'acide perchlorique) proposée par Mehra et Juneja (2005). Les échantillons sont ensuite chauffés dans l'étuve à 160 °C jusqu'à l'obtention d'une solution liquide claire et diminuée de volume (0,5 à 1 ml). Après, les échantillons ont été analysés par le Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme.

L'analyse statistique a été effectuée par le logiciel SPSS version 20. Le seuil de significativité était retenu pour un $p < 0,05$.

Résultats et discussion

Les caractéristiques socioéconomiques et nutritionnelles des sujets sont résumées au Tableau 1. Le lieu de résidence de la majorité des enfants se situe en proximité de la zone minière (71,25 %) et 56,3 % d'entre eux sont au deuxième niveau de l'enseignement fondamental (CE2). L'âge moyen de la population infantile est de $7,54 \pm 1,01$ avec une prédominance des garçons (63,3 %). Le sexe ratio est de 1,58. Le niveau intellectuel des mères des enfants est très faible. En effet, 64 % d'entre elles sont analphabètes. En outre, 31,3 % des enfants ont leurs deux parents analphabètes. L'âge gestationnel moyen des mères est de $26,76 \pm 5,91$ ans. Le mode d'allaitement était maternel chez 62,5 % des enfants avec une durée qui dépassent les 12 mois chez 74,3 % et les 24 mois chez 25,7 % d'entre eux. Les résultats de l'enquête ont montré que 21,3 % des enfants sont exposés à une contamination par les vêtements des pères exerçant au niveau de la mine se situant dans la zone de l'étude. Ces vêtements y compris les bottes font l'objet d'un lavage et séchage à domicile, ce qui constitue d'après notre étude une source de pollution chimique pour ces enfants et leurs mamans. Le Syndrome Pica est manifeste chez 31,1 % des enfants avec une consommation de la terre chez 68 % parmi eux. La prise du repas matinal dont dépend l'intelligence matinal est irrégulière chez 43,7 % de ces enfants et même absente chez 10 % d'entre eux. La valeur moyenne de l'indice de masse corporelle au sein de nos sujets est de $14,37 \pm 1,76 \text{ kg/m}^2$. Le minimum et le maximum étant $11,86 \text{ kg/m}^2$ et $23,49 \text{ kg/m}^2$ respectivement. La majorité des enfants (82,5 %) se situe dans une corpulence normale, alors que 13,8 % souffrent d'une insuffisance pondérale.

Zone de résidence	71,25 % en proximité de la zone minière
Niveau intellectuel des mères des enfants	64 % sont analphabètes
Niveau intellectuel des deux parents	31,3 % d'analphabétisme
Age gestationnel	$26,76 \pm 5,91$ ans
Allaitement maternel	62,5 % des enfants ont en bénéficié, dont 74,3 % > 12 mois
Exposition des enfants à une contamination par vêtements des pères provenant de la mine	21,3 % des enfants
Syndrome de pica (terre, craie, ongles)	31,1 % le manifeste avec une consommation de la terre chez 68 % parmi eux
Prise de petit déjeuner	Consommation irrégulière chez 43,7 %
IMC	Insuffisance pondérale chez 13,8 %

Tableau 1. Caractéristiques socioéconomiques et statut nutritionnel de la population d'étude.

Table 1. Socio-economic characteristics and nutritional status of the study population.

La Figure 1 présente les résultats de dosage du plomb dans les ongles des mains des écoliers. Les ongles constituent en fait, une matrice intéressante pour le suivi des métaux et métalloïdes dans le corps humain. Leur méthode de collecte est non invasive d'autant plus pour la population des enfants. Étant moins soumis à la contamination extérieure, ils ont été utilisés dans le cadre d'expositions professionnelles (Labat, 2010). La valeur moyenne de plomb dans les

ongles de nos sujets est de $40,5 \mu\text{g/g} \pm 36,7$. La probabilité d'occurrence des concentrations de plomb dans les ongles est plus élevée [0,06- 0,12] pour des valeurs $\leq 40 \mu\text{g/g}$. Or, d'après Goullé *et al.*, (2007), la valeur de référence pour la dose de plomb maximale au niveau des ongles des enfants est de $3,7 \mu\text{g/g}$. Nos résultats suggèrent ainsi, que presque la totalité de notre population infantile (96,2 %) présente une surcharge en plomb dans leurs ongles.

D'après le Tableau 2, les troubles d'attention visuelles sont présents chez 97,1 % des enfants en CE1 et 81,4 % de ceux en CE2. Concernant les capacités de mémoire verbale à court terme, uniquement 2,9 % des enfants de CE1 et 9,3 % de CE2 ne performant pas le sous test empan chiffres à l'endroit. Néanmoins, 20 % des enfants de CE1 et 14 % de ceux de CE2 éprouvent des difficultés à réussir l'empan chiffre à l'envers. Les difficultés de lecture se présentaient chez 65,7 % des enfants de CE1 et 65,1 % des enfants de CE2. L'écriture correcte des mots entendus est déficitaire chez 80 % et 97,7 % des enfants de CE1 et CE2 respectivement. Une association significative entre les teneurs en plomb dans les ongles et la fonction d'attention visuelle a été mise en évidence ($p < 0,05$).

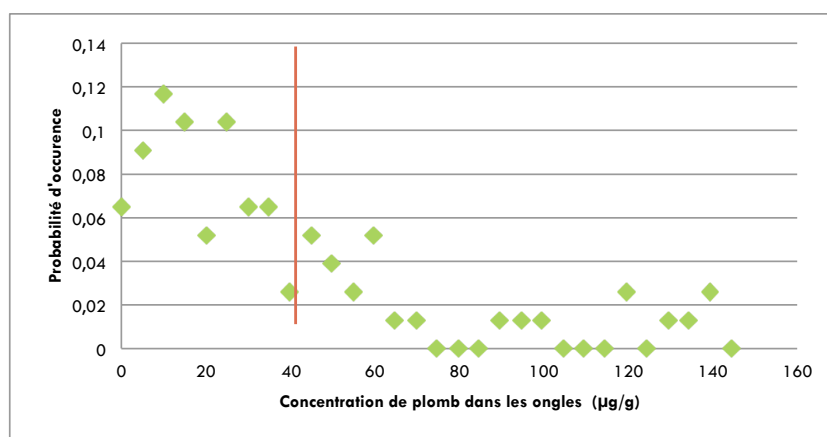


Figure 1. Probabilité d'occurrence des concentrations de plomb dans les ongles des enfants de la zone SAADA.
Figure 1. Probability of occurrence of lead levels in nails of children in SAADA area.

Le Tableau 3 présente les résultats du test de Raven et son association avec les doses de plomb. Sachant que le score total d'un sujet au test de Raven donne un indice de sa capacité intellectuelle, ce test a montré que les capacités intellectuelles de 20,5 % des enfants sont au-dessous de la moyenne. En outre, 5,1 % d'entre eux ont une déficience intellectuelle. L'analyse ANOVA à un facteur de l'effet de la dose de plomb sur l'intelligence générale a révélé des différences non significatives pour les cinq grades d'intelligence ($F(5,73) = 0,234$; $P = 0,466$).

Le Tableau 4 présente les résultats d'association entre l'état des fonctions cognitives de la population d'étude et ses caractéristiques socioéconomiques. Des associations significatives ont été élucidées. En effet, l'intelligence générale des enfants s'est montrée significativement liée au niveau intellectuel des mères ($p = 0,028$). Egalement, il est apparu que les capacités d'attention visuelle soient meilleures chez les enfants ayant les deux parents alphabétisés en comparaison avec ceux descendants des parents illettrés ($p = 0,049$). L'habitude de consommation du petit déjeuner chez les enfants s'est montrée aussi, significativement liée à l'intelligence des enfants et à leur attention visuelle avec une valeur $p = 0,017$ et $p = 0,028$ respectivement.

L'étude de régression entre les caractéristiques socio-économiques, a montré qu'aucune d'elles n'a le dessus sur les autres pour affecter l'attention visuelle des enfants ($p \in [0,998; 1]$).

L'objectif du présent travail s'est focalisé sur l'étude de l'état d'imprégnation des ongles des enfants en plomb et de son retentissement sur leurs fonctions neurocognitives. Alors, nous avons prétendu une présence effective d'une surcharge en plomb et une différence de distribution des doses de plomb dans les phanères des enfants ayant des déficits cognitifs en comparaison avec ceux ayant des fonctions cognitives non déficitaires.

Fonction cognitive	Résultats des tests neuropsychologiques															Valeur P			
	CE1					Surcharge en plomb (effectif)			CE2			Moyenne de référence (ODEDYS-2, 2005)			Surcharge en plomb (effectif)			CE1	CE2
	Moyenne	SD	Min	Max	Moyenne de référence (ODEDYS-2, 2005)	Non <3,7	Oui >3,7	Total des scores en % (CE1)	Moyenne	SD	Min	Max	Moyenne de référence (ODEDYS-2, 2005)	Non <3,7	Oui >3,7	Total des scores en % (CE2)			
Attention visuelle																			
Normale	19,75	7,72	8	35	26,8	1	0	2,9	19,75	7,72	8	35	29	2	6	18,6	0,029		
Déficiente						0	34	97,1						0	35	81,4	*	0,031*	
Mémoire de travail																			
Empan chiffres à l'endroit																			
Normale	5,82	0,7	4	8	4,6	1	33	97,1	6,13	1,12	4	8	4,5	1	38	90,7	0,071	0,197	
Déficiente						0	1	2,9						1	3	9,3			
Empan chiffres à l'envers																			
Normale	4,54	1,54	0	8	3,2	1	27	80	4,71	1,35	1	8	3,5	1	36	86	0,612	0,262	
Déficiente						0	7	20						1	5	14			
Langage																			
Lecture de mots																			
Normale	14,45	5,51	0	20	18,1	0	12	34,4	13,88	5,62	2	20	17,6	1	14	34,9	0,652	0,686	
Déficiente						1	22	57,6						1	27	65,1			
Ecriture de mots																			
Normale	6,28	2,5	1	10	8,3	0	12	20	3,96	2,37	0	10	8,5	0	1	2,3	0,350	0,368	
Déficiente						1	22	80						2	40	97,7			

Tableau 2. Résultats des scores des tests cognitifs par niveau d'enseignement et selon la présence d'une surcharge en plomb dans les ongles des enfants. * la corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

Table 2. Results of the scores of the cognitive tests by level of education and according to the presence of a lead overload in the nails of the children.

Test neuropsychologique	N	Doses de plomb			Valeur P
		%	Moyenne	SD	
Test de Raven (PM38)	78	100	17,8	7,45	0,466
Grade 1: CI supérieures	3	3,8	10,24	11,185	
Grade 2: CI au-dessus de la moyenne	40	51,3	44,74	39,50	
Grade 3: CI moyennes	15	19,2	40,56	41,87	
Grade 4: CI au-dessous de la moyenne	16	20,5	40,29	30,12	
Grade 5: CI déficitaires	4	5,1	21,05	19,08	

Tableau 3. Résultats d'association entre les scores du test de Raven et les doses de plomb dans les ongles des enfants.
CI: capacités intellectuelle, SD: déviation standard.

Table 3. Results of association between Raven test scores and lead concentration on children fingernails.

	Test de Raven (PM38)				Bell Test (TBC)				
	N	Moyenne	SD	Valeur P	N	Moyenne	SD	Valeur P	
Niveau intellectuel									
Des mères									
Analphabète	49	17,02	7,13	0,028*					
Primaire	24	17,62	6,41						
Secondaire	4	25,5	11,47						
Universitaire	1	33							
Des deux parents									
les deux parents analphabètes					25	17,84	8,01		
l'un des deux analphabètes					36	18,8	6,86	0,049*	
les deux alphabétisés					17	23,52	8,5		
Allaitement maternel									
Maternel	50	17,96	8,12	> 0,05	50	19,32	8,16	> 0,05	
Artificiel	6	17,5	6,94			6	24,5		8,09
Mixte	22	17,68	6,19			22	18,63		6,67
Prise du petit déjeuner									
Régulièrement	42	16	5,85	0,017*					
Irrégulièrement	36	20	8,56						
Jamais					7	23,28	7,31		
Rarement					16	14,75	6,99		
Souvent					19	21,47	8,2	0,028*	
Toujours					36	19,88	7,35		

Tableau 4. Résultats d'association entre les caractéristiques socio-économiques et les scores des tests d'intelligence générale et d'attention visuelle des enfants. * la corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

Table 4. Results of association between the socioeconomic characteristics and the scores of the tests of general intelligence and visual attention of the children. * $p < 0,05$.

En comparant nos résultats ($40,5 \pm 36,7 \mu\text{g/g}$) quant à la teneur en plomb dans les ongles avec d'autres études (Tableau 5), on constate qu'ils sont sensiblement élevés à l'exception des résultats de Goullé *et al.* (2007) $185 \mu\text{g/g}$ (février 2007) et $89,1 \mu\text{g/g}$ (février 2007). Il est à noter que 71,25 % des enfants résident en proximité de la mine Drâa Lefser, à laquelle on pourrait attribuer la source de cette contamination.

Auteur(s)	Dose moyenne de plomb dans les ongles		
	Mains	Pieds	Tranche d'âge
Cette étude	$40,5 \pm 36,7 \mu\text{g/g}$	-	6-10 ans
Mortada <i>et al.</i> , 2002	$4,82 \pm 2,61 \mu\text{g/g}$	-	28-40 ans
Bu-Olayan <i>et al.</i> , 1996	$5,50 \pm 7,76 \mu\text{g/g}$ (femmes)	-	-
	$5,08 \pm 4,65 \mu\text{g/g}$ (hommes)	-	-
Were <i>et al.</i> , 2009	$24,7 \pm 6,6 \mu\text{g/g}$ (urbain)	-	< 6ans
	$19,1 \pm 3,2 \mu\text{g/g}$ (rural)	-	-
Wilhelm <i>et Hafner</i> , 1991	-	$8,5 \mu\text{g/g}$	3-7ans
Goullé <i>et al.</i> , 2007	$185 \mu\text{g/g}$ (février 2007)		7 ans
	$20,4 \mu\text{g/g}$ (mai 2007)		-
Goullé <i>et al.</i> , 2007	$89,1 \mu\text{g/g}$ (février 2007)		11 ans
	$19,1 \mu\text{g/g}$ (mai 2007)		-

Tableau 5. Comparaison des doses moyennes de plomb dans les ongles avec les résultats des études récentes.

Table 5. Comparison of the average lead doses in nails with the results of the recent studies.

Afin de situer les résultats des scores de Pm38 (test d'intelligence) des enfants de 6 à 10 ans au niveau international et en l'absence d'une standardisation marocaine pour les tranches d'âges incluses dans notre étude, nous avons procédé au calcul des percentiles 95, 90, 75, 50, 25, 10 et 5 par groupes d'âge pour les élèves du premier et deuxième niveau de l'enseignement fondamental de la zone SAADA (SA). Ainsi, une éventuelle comparaison avec les données britanniques (UK) s'impose (Raven, 1981). Les scores obtenus par tous les enfants de notre étude sont considérablement inférieurs à ceux enregistrés dans l'étude britannique (Tableau 6).

En outre, nous avons effectué une comparaison du percentile 50 (P50) de notre population (SA) avec celui des standardisations; (a) Britanniques effectuées en 1979, (b) chinoises continentales urbaines (Zhang et Wang, 1989), (c) Irlandaises (Byrt et Gill, 1973) et (d) des pays bas effectuées à la Nouvelle Zélande en 1992 (Raven *et al.*, 1998). D'après la Figure 2, on remarque: (a) une faiblesse des scores des sujets de notre échantillon par rapport aux sujets Chinois, Britanniques et Néo-zélandais, (b) les performances de notre échantillon sont légèrement similaires aux scores des sujets Irlandais sauf pour la tranche d'âge de 8 ans et demi et plus, et (c) le P50 que nous avons noté à l'âge de 6 ans et demi est similaire à celui de la population infantile chinoise.

Nos résultats concordent avec ceux de El Azmy *et al.*, (2013) qui ont rapporté que les performances neurocognitives des élèves de 12 à 18 ans sont inférieures à celles des sujets du même âge des pays développés. Dans le même sens, les élèves de 6 à 11 ans du milieu urbain de nord-ouest Marocain ont obtenu des résultats assez médiocres au test des matrices de Raven et l'étalonnage français les situe dans des percentiles très bas. Ce faible niveau avait été expliqué par le niveau élevé de l'analphabétisme parmi les pères et les mères et aussi la malnutrition comme autre facteur socioéconomique (Aboussaleh *et al.*, 2006). Cette différence peut encore être une conséquence de l'inégalité des chances des parents pour développer les habiletés de leurs enfants comme elle peut être due au taux élevé de pauvreté et de vulnérabilité (Sbaibi *et al.*, 2014).

L'utilisation et l'interprétation du bell test ou test de barrage des cloches (TBC), conçu par Gauthier *et al.*, (1989), pour l'évaluation de l'attention visuelle, nous a permis de déduire que l'attention est grandement affectée chez les enfants des deux niveaux (chez 97,1 % des enfants de CE1 et 81,4 % des enfants de CE2). En effet, l'oubli de six cloches ou plus à droite ou à gauche de la page du TBC a été mis en évidence chez 88,5 % des enfants avec un profil de négligence unilatérale du côté droit chez 2,5 % des enfants. En plus, 32,5 % d'entre eux optent pour une méthode de balayage désorganisée. Ce résultat peut être expliqué par la proximité des deux écoles (Tazkourt et Bou Aicha) de la mine Drâa Lesfer et de l'emplacement de la troisième école (Mrabtin) dans l'axe de l'auto-route. Cette dernière pourrait constituer aussi une autre source de contamination par le plomb. Nos résultats rejoignent ceux récemment présentés par EL Azmy *et al.*, (2014) chez des enfants de 11 à 19 ans de la zone Mrirt (moyen Atlas Maroc) et selon lesquelles, 21,32 % des sujets présentent des problèmes d'attention et 4,41 % ont un profil de négligence spatiale unilatérale droite. De ce fait, on peut s'attendre à des problèmes d'apprentissage qui pourraient entraver la réussite scolaire de ces enfants. Ce constat avait été confirmé par plusieurs études qui ont rapporté l'existence d'un lien entre le traitement visuel et la réussite scolaire (Goldstand *et al.*, 2005; Dhingra *et al.*, 2010).

L'analyse statistique que nous avons effectué par test exact de Fisher incrimine la surcharge en plomb constatée chez nos sujets dans la genèse de ce déficit d'attention ($p < 0,029$ pour CE1 et $p < 0,031$ pour CE2). Ces problèmes d'inattention ont été le sujet d'une association avec l'exposition au plomb d'après plusieurs études épidémiologiques (Bellinger *et al.*, 1994; Canfield *et al.*, 2003; Chiodo *et al.*, 2004, 2007; Braun *et al.*, 2006; Froehlich *et al.*, 2009; Nicolescu *et al.*, 2010). Deux autres études ont produit des résultats semblables en comparant les troubles d'hyperactivité avec déficit de l'attention (THADA) chez les enfants de 4 à 15 ans (Braun *et al.*, 2006) et de 8-15 ans (Froehlich *et al.*, 2009), avec une moyenne de CSP autour de 2 $\mu\text{g}/\text{dL}$.

Ans	Age																			
	6		6 ½		7		7 ½		8		8 ½		9		9 ½		10		10 ½	
	5(9) à 6(2)		6(3) à 6(8)		6(9) à 7(2)		7(3) à 7(8)		7(9) à 8(2)		8(3) à 8(8)		8(9) à 9(2)		9(3) à 9(8)		9(9) à 10(2)		10(3) à 10(8)	
Mois	SA	UK	SA	UK	SA	UK	SA	UK	SA	UK	SA	UK	SA	UK	SA	UK	SA	UK	SA	UK
Percentile																				
95	-		33		32,7	34		37		40		42	17	44		46	17	48		49
90	-		23		26,8	32	38,6	35	37,4	38		40	17	42		44	17	46		47
75	-		20		20,75	26	24	30	23	33	27,25	36	17	38		41	17	42		43
50*	14,5	-	18	16	14	19	16	22	16	25	23,5	31	17	33	13	36	17	38	22	39
25	11	-	13,5	13	12	14	12,5	15	11	17	11,75	22	17	25	11	28	17	32	13	33
10	11	-	9	10	10,1	12	10	12	6,6	14	11	16	17	17	11	19	17	23	13	27
5	11	-	5	9	8,1	10	10	11	6	12	11	13	17	14	11	15	17	17	13	22

Tableau 6. Répartition des scores de Pm38 par percentile selon la tranche d'âge pour la population infantile de la zone Saada (SA) en comparaison avec les normes britanniques (UK). *La médiane, - la norme pour cette tranche d'âge n'existe pas dans les normes britanniques.

Table 6. Distribution of the scores of Pm38 by percentile according to the age range for the infantile population of the Saada area (SA) in comparison with the British standards (UK).

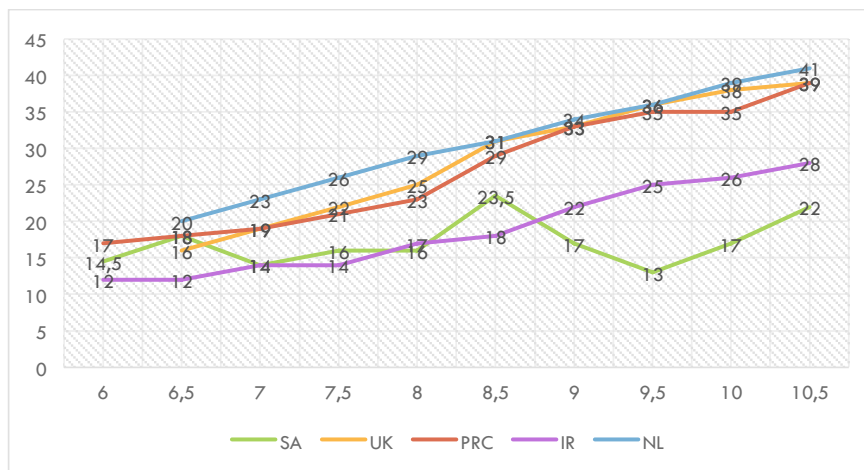


Figure 2. Situation des percentiles 50 des élèves par âge et par rapport aux normes internationales. PRC: chinoise, UK: Britannique, NL: Pays bas, IR: Irlandaise, SA: Marocaine (Saada) SA.

Figure 2. Situation of percentiles 50 of the students by age and with regard to the international standards.

Même si nos résultats ont montré que le niveau intellectuel des deux parents n'est pas associé à l'intelligence générale des enfants. Cette dernière semble être influencée particulièrement par le niveau intellectuel des mamans ($p = 0,028$). Nous avons également constaté que les capacités d'attention visuelle sont performants chez les enfants ayant les deux parents alphabétisés en comparaison avec ceux descendants des parents illettrés ($p < 0,049$). Ce phénomène s'explique selon Bacharach et Baumeister (1998), par l'influence des composantes génétiques aussi bien que des facteurs moins tangibles touchant à l'interaction parent-enfant et à la stimulation cognitive des enfants.

Les résultats de l'analyse ANOVA ont montré que l'association entre l'allaitement maternel et les fonctions cognitives des enfants n'est pas statistiquement concluante qu'il s'agit, de leurs capacités intellectuelles, attention visuelle, dictée, lecture ou de leur mémoire de travail. Ces résultats concordent avec ceux de quelques études après le réglage des facteurs confondants (Silva *et al.*, 1978, Malloy et Berendes, 1998). Par contre, une méta-analyse incluant 20 études de 1966 à 1996 a montré que l'allaitement au sein a été associé au grand nombre et très significativement aux tests de développement cognitif (Anderson *et al.*, 1999). Angelsen *et al.*, (2001) ont encore rapporté l'existence d'une association positive entre la durée d'allaitement au sein et le développement mental. Rappelons que dans notre étude 62,5 % des enfants ont eu un allaitement maternel avec une durée comprise entre 12 et 24 mois chez 48,6 % d'entre eux et dépassant les 24 mois chez 25,7 % des cas. Il fallait alors s'attendre à remarquer son effet positif sur les capacités intellectuelles et d'attention visuelle des enfants. Or, le tableau de contingence lié à l'attention renseigne plutôt sur un effet négatif de l'allaitement maternel. En effet, les performances des enfants au TBC (moyenne des scores) s'améliorent notablement chez les enfants ayant eu un allaitement artificiel (de 19,32 à 24,5). Tenant en compte l'association prouvée entre la contamination par le plomb et l'attention visuelle, ceci nous laisse suggérer que, dans notre population, cette contamination pourrait être favorisée par l'allaitement maternel de longue durée et que les femmes allaitantes étaient contaminées.

Il paraît que la consommation du petit déjeuner de façon régulière améliore les capacités intellectuelles des enfants et leur attention visuelle. Notre résultat corrobore celui de Benton et Parker (1998) proclamant que la consommation d'un petit-déjeuner améliore la cognition à travers plusieurs mécanismes, parmi lesquels l'augmentation du glucose sanguin. En plus, un petit-déjeuner de mauvaise qualité nutritionnelle a une conséquence fâcheuse sur les performances scolaires. Au point de vue cellulaire, McNay *et al.*, (2000) ont remarqué que l'activité cognitive chez le rat fait diminuer la quantité de glucose présent dans le milieu extracellulaire de l'hippocampe. En fait, l'administration de glucose reverse cette diminution et améliore les performances. Indépendamment du simple approvisionnement énergétique, le glucose serait actif

au niveau de la mémorisation en agissant au niveau du système cholinergique (Messier *et al.*, 1998).

Conclusion

La présente étude qui a visé l'évaluation de l'état d'imprégnation des enfants par le plomb et son effet sur les fonctions cognitives, a pu mettre en évidence une surcharge en plomb chez la majorité de nos sujets, ce qui rejoint notre hypothèse de départ. Les performances neurocognitives, principalement l'attention visuelle s'est montrée liée significativement à la surcharge en plomb. Ainsi, il serait souhaitable de réaliser une étude écotoxicologique afin de quantifier les sources de contamination pour évaluer leur risque et essayer de trouver des solutions de dépollution.

Références bibliographiques

- Aboussaleh, Y., Ahami, A.O.T., Bonthoux, F., Marendaz, C., Valdois, S., Rusinek, S. 2006. Performances cognitives des enfants anémiques âgés de 6 à 11 ans en milieu urbain du nord-ouest Marocain. *Journal de Thérapie Comportementale et Cognitive*, 16, 49-54.
- Anderson J.W., Johnstone B.M., Remley D.T. 1999. Breast-feeding and cognitive development: a meta-analysis. *Am J Clin Nutr*; 70, 525-35.
- Angelsen N.K., Vik T., Jacobsen G., Bakketeig L. S. 2001. Breast feeding and cognitive development at age 1 and 5 years. *Arch Dis Child*; 85, 183-188.
- Bacharach V.R., Baumeister A.A. 1998. Effects of maternal intelligence, marital status, income, and home environment on cognitive development of low birthweight infants. *J Pediatr Psychol*; 23: 197-205.
- Bellinger, D., Leviton, A., Allred, E., et Rabinowitz, M. 1994. Pre- and postnatal lead exposure and behavior problems in school-aged children. *Environ. Res.*, 66: 12-30.
- Benton D., Parker P. Y. 1998. Breakfast, blood glucose, and cognition. *Am J Clin Nutr*, 67: 772S-778S.
- Bouhouch, R. R., El-Fadeli S., Andersson M., Aboussad A., Chabaa L., Zeder C., Kippler M, Baumgartner K., Sedki A., and Zimmermann M.B. 2016. Effects of wheat-flour biscuits fortified with iron and EDTA, alone and in combination, on blood lead concentration, iron status, and cognition in children: a double-blind randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr*; *ajcn129346*.
- Braun, J.M., Kahn, R.S., Froehlich, T., Auinger, P., et Lanphear, B.P. 2006. Exposures to environmental toxicants and attention deficit hyperactivity disorder in U.S. children. *Environ. Health Perspect.*, 114: 1904-1909.
- Bu-Olayan, A. H., Al_Yakoob, S. N., and Alhazeem, S. 1996. Lead in drinking water from water coolers and in fingernails from subjects in Kuwait City, Kuwait. *Sci. Total. Environ.* 181, 209-214.
- Byrt, E., and Gill, P. E. 1973. Standardisation of Raven's Standard Progressive Matrices and Mill Hill Vocabulary for the Irish population: Ages 6-12. Unpublished master's thesis, National University of Ireland, University College Cork.
- Canfield R.L., Henderson C.R. Jr., Cory-Slechta D.A., Cox C., Jusko T., Lanphear B.P. 2003. Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10 µg/dL. *New Engl J Med* 348:1517-1526.
- Chiffolleau J.F. 2004. La contamination métallique. Ifremer. 39p.
- Chiodo L.M., Jacobson S.W., Jacobson J.L. 2004. Neurodevelopmental effects of postnatal lead exposure at very low levels. *Neurotoxicol Teratol* 26:359-371.
- Dart R.C., Hurlbut K.M., Boyer-Hassen L.V. 2004. Lead. In: *Medical Toxicology* (Dart TC, ed). 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1423-1431.
- Dhingra R., Manhas S., Kohli N. 2010. Relationship of Perceptual Abilities with Academic Performance of Children. *J Soc Sci*, 23(2), 143-147.

- El Azmy, J., Ahami, A.O.T., Badda, B., Azzaoui, F-Z., Aboussaleh, Y., Latifi, M., El Hessni, A. 2013. Evaluation des performances neurocognitives des collégiens à M'ritt (Moyen Atlas, Maroc). *Antropo*, 30, 33-43.
- El Azmy, J., Ahami, A.O.T., Badda, B., Aboussaleh, Y., Latifi, M., El Hessni, A., Rusinek. S. 2014. Etude des troubles d'attention (négligence spatiale unilatérale) au sein d'un échantillon de collégiens à M'ritt (Moyen Atlas, Maroc). *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 9, 937-946.
- El Fadeli, S. 2013. Étude de l'impact des éléments traces métalliques (Plomb et Fer) sur l'environnement et la santé d'une population infantile vivant dans la région de Marrakech. Thèse de doctorat d'état, Université Cadi Ayyad, Facultés des Sciences Semlalia, Marrakech.
- Froehlich, T. E., Lanphear, B. P., Auinger, P., Hornung, R., Epstein, J. N., Braun, J., et Kahn, R. S. 2009. Association of tobacco and lead exposures with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Pediatrics* 124: e1054-e1063.
- Gammelgaard B., Peters K. and Menno T. 1991. Reference values for the nickel concentration in human fingernails; *J. Trace Elem. Electrol. Health Dis.* 5 121-123
- Gauthier, L., Dehaut, F. & Joannette, Y. 1989. The Bells test: A quantitative and qualitative test for visual neglect. *International Journal of Clinical Neuropsychology*, 11, 49-54.
- Goldstand S., Koslowe K.C., Parush S. 2005. Vision, visual-information processing, and academic performance among seventh grade school children: a more significant relationship than we thought? *Am J Occup Ther.* 59, 377-89.
- Goullé, J. P., Mahieu, L., Sausseureau, É., Bouige, D., Groenwont, S., Lacroix, C. 2007. Validation d'une technique de dosage multiélémentaire des métaux et métalloïdes dans les ongles par ICP-MS. Valeurs usuelles chez 130 sujets volontaires. *Annales de Toxicologie Analytique*, 19, 125-134.
- Goyer, R.A. 1990. Lead toxicity: from overt to subclinical health effects. *Environ. Health Perspect.* 86, 177-181.
- Haefliger P., Mathieu-Nolf M., Locicero S., Ndiaye C., Coly M., Diouf A., Lam Faye A., Sow A., Tempowski J., Pronczuk J., Filipe A.P., Bertollini R., Neira M. 2009. Mass Lead Intoxication from Informal Used Lead-Acid Battery Recycling in Dakar, Senegal. *Environ Health Perspect*, 117:1535-1540.
- Labat. L. 2010. La préparation des matrices biologiques pour l'analyse des métaux. Hôtel Dieu, Service Pharmacie-Pharmacologie-Toxicologie, 1 place du Parvis Notre Dame, 75181 Paris Cedex 04, France. *Ann Toxicol Anal.* 22(2): 81-88.
- Lekouch, N. 2004. Evaluation de l'exposition de la population humaine aux éléments traces métalliques dans la région de Marrakech: Etude du risque saturnin. Thèse de doctorat, University Cadi Ayyad, Faculté des sciences Semlalia Marrakech, Maroc.
- Liao, H.Y. 2015. Determination of fingernail chromium cadmium and lead on tannery workers. Department of Health sciences, School of public Health, Kaohsiung Medical University. *International Journal of Health*, 3 (1) 3-6.
- Lidsky T.I., Schneider J.S. 2003. Lead neurotoxicity in children: basic mechanisms and clinical correlates. *Brain* 126:5-19.
- Malloy M., Berendes H. 1998. Does breast-feeding influence intelligence quotients at 9 and 10 years of age ? *Early Hum Dev.*; 50: 209-17.
- McNay E.C., Fries T.M., Gold P.E. 2000. Decreases in rat extracellular hippocampal glucose concentration associated with cognitive demand during a spatial task. *Proc Natl Acad Sci USA*, 97: 2881-2885.
- Mehra, R. et Juneja, M. 2005. Fingernails as biological indices of metal exposure. *J Biosci.* 30, 253 - 257.
- Messier C., Pierre J., Desrochers A., Gravel M. 1998. Dose dependent action of glucose on memory processes in women: effect on serial position and recall priority. *Brain Res Cogn Brain Res*, 7: 221-233.
- Meyer P.A., Brown M.J., Falk H. 2008. Global approach to reducing lead exposure and poisoning. *Mutat Res*, 659:166-175.

- Moreira, E.G., Rosa, G.J.M., Barros, S.B.M., Vassilieff, V.S., Vassilieff, I. 2001. Antioxidant defense in rat brain regions after developmental lead exposure. *Toxicology* 169, 145-151.
- Mortada W.I., Sobh M.A., el-Defrawy M.M., Farahat S.E. 2002. Reference intervals of cadmium, lead, and mercury in blood, urine, hair, and nails among residents in Mansoura city, Nile delta, Egypt. *Environ Res* 90:104–110.
- Niculescu, R., Petcu, C., Cordeanu, A., Fabritius, K., Schlumpf, M., Krebs, R., Kramer, U., et Winneke, G. 2010. Environmental exposure to lead, but not other neurotoxic metals, relates to core elements of ADHD in Romanian children: performance and questionnaire data. *Environ Res* 110, 476-483.
- NTP. 2012. Monograph on Health Effects of Low-Level Lead. National Toxicology Program U.S. Department of Health and Human Services.
- ODEDYS. 2005. Outil de dépistage des Dyslexies, version 2. Laboratoire de Psychologie et Neurocognition. Université Pierre Mendès, France.
- Raven, J., 1981, Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales. Research Supplement No.1: The 1979 British Standardisation of the Standard Progressive Matrices and Mill Hill Vocabulary Scales, Together With Comparative Data From Earlier Studies in the UK, US, Canada, Germany and Ireland. Oxford, England: Oxford Psychologists Press/San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Raven, J. C., Court, J. H., Raven, Z. 1998. Progressive matrices standard (PM38). Manuel des RAVEN: section 3. Published by oxford psychologists press.
- Sbaibi, R., Aboussaleh, Y., & Ahami, A. O. T. 2014. The Standard Progressive Matrices Norms in an international context among the middle school children of the rural commune Sidi el Kamel (North-Western Morocco). *WebPsychEmpiricist*.
<http://wpe.info/vault/sbaibi14/sbaibi14.pdf>
- Silva P.A., Buckfield P., Spears G.F. 1978. Some maternal and child developmental characteristics associated with breast feeding: a report from the Dunedin Multidisciplinary Child Development Study. *Aust Paediatr J*; 14: 265–8.
- Were, F. H., Njue, W. M., Murungi, J., & Wanjau, R. (2009). Comparison of some essential and heavy metals in the toenails and fingernails of school-age children in Kenya. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 23(1), 117-122.
- Wilhelm, M., Hafner, D., 1991. Monitoring of cadmium, cooper, lead and zinc status in young children using toenails: comparison with scalp hair. *Sci. Total Environ.* 103, 199–207.
- Zhang, H. E. and Wang, X. P. 1989. Chinese standardisation of Raven's standard Progressive Matrice. *Psychological Test Bulletin*, 2, 36-39.