

Prévalence de la carence martiale, de la contamination par le plomb et leur association chez les enfants de la région de Marrakech

Prevalence of iron-deficiency, contamination by lead and their association in children in the region of Marrakech

Sana El-Fadeli¹, Raschida Bouhouch², Laila Chabaa³, Abdelmounaim Aboussad³, Michael B. Zimmermann² and Azzedine Sedki¹

¹ Department of Biology, Faculty of Sciences – Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco.

² Human Nutrition Laboratory, Institute of Food, Nutrition and Health, ETH Zurich, Switzerland.

³ Medical Faculty; Mohammed VI University Hospital, University Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco.

Correspondance: Sana El-Fadeli. Department of Biology, Faculty of Sciences – Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco. Email: s.elfadeli@yahoo.fr

Mots clés: prévalence de l'anémie, contamination par le plomb, ville de Marrakech, étude transversale, anémie ferriprive.

Keywords: prevalence of anemia, lead contamination, cross-sectional study, iron-deficiency anemia.

Résumé

Intérêt du travail

Les éléments traces métalliques sont susceptibles de constituer un véritable danger. D'où l'intérêt de cet article qui met en évidence l'impact du plomb sur la santé d'une population infantile vivant dans la région de Marrakech.

Objectif

Le travail concerne une étude transversale qui vise à évaluer la prévalence du saturnisme chronique et de l'anémie ferriprive chez les enfants de quatre zones de la ville de Marrakech (zone minière, zone médina, zone azzouzia et zone témoin).

Résultats

Cette étude montre que l'anémie légère, microcytaire et hypochrome, due à une carence en fer est un problème important au niveau des deux zones d'étude (zone minière et zone azzouzia).

De plus les résultats montrent que sur 462 élèves (de 3 à 9 ans) nous n'avons pas enregistré de cas graves de contamination au plomb. Néanmoins, le risque saturnin existe toujours vu la charge en plomb des facteurs environnementaux. En outre, la prévalence de l'anémie globale au niveau de ces zones est inquiétante avec 42,64 % de cas d'anémie générale et 6,98 % de cas d'anémie ferriprive.

Conclusion

Compte tenu de ces résultats, il ne peut être affirmé que l'anémie ferriprive soit causée par les taux de la plombémie chez ces enfants, d'autant plus que les interactions entre plomb-fer dans le corps sont complexes.

Summary

Purpose

Metallic trace elements are likely to constitute a real threat. Hence, in this paper we highlight the impact of lead on the health of a child population living in the region of Marrakech. The work concerns a cross-sectional study which aims to assess the prevalence of chronic lead poisoning and iron-deficiency anemia (IDA) in children in four areas of the city of Marrakech (mining zone, medina zone, azzouzia zone and control area).

Objective

This study shows that microcytic and hypochromic slight anemia, due to iron deficiency, is a major problem at the level of two study areas (mining zone and azzouzia).

Results

The results show that in 462 students (from 3 to 9 years) we did not register any severe case of lead contamination. Nevertheless, lead risk still exists given the lead charge promoted by environmental factors. In addition, the prevalence of anemia in these areas is alarming with 42.64% of general anemia and 6.98% of IDA cases.

Conclusion

In light of these results, it can be said that IDA is caused by high levels of blood lead in children, as interactions between lead-iron in the body are complex.

Introduction

Le plomb (Pb) est l'un des ETM (éléments traces métalliques) susceptible de constituer un danger sanitaire. C'est un métal toxique et cumulatif qui peut entraîner des troubles irréversibles (atteinte du système nerveux), en particulier pour les enfants dont le corps, en pleine croissance, y est fortement sensible. L'exposition à des niveaux excessivement élevés de ce métal dans l'air, l'eau, le sol et les aliments est nuisible à la santé (PNUE et UNICEF, 1997).

Parmi les troubles réversibles de la contamination par le plomb, son effet sur les érythrocytes, causant généralement l'anémie ferriprive, ce qui constitue un problème de santé publique négligé et étendu avec des conséquences majeures aussi bien sur la santé que sur le développement économique et social.

En effet, l'organisation mondiale de la santé (OMS) a récemment rapporté que, pour l'ensemble du monde, l'anémie atteint le chiffre ahurissant 1,62 milliards d'individus affectés (Nasir Al Hassan, 2015). Dans les pays en voie de développement 39 % d'enfants de moins de 5 ans, 48 % d'enfants de 5 à 14 ans, 42 % de toutes les femmes et 52% des femmes enceintes sont anémiques, avec environ 50 % des cas souffrant d'anémie ferriprive (UNICEF/UNU/WHO, 2001). La carence en fer est le trouble nutritionnel le plus répandu dans le monde et la cause principale de l'anémie chez les enfants, avec une forte prévalence dans les pays en voie de développement (Mahanta *et al.*, 2002; Rondó *et al.*, 2011). C'est l'une des 10 principaux facteurs de risque pour les maladies mondiales, d'invalidité et de décès (WHO, 2002). De plus et d'après une enquête nationale sur la carence en fer, l'anémie ferriprive au Maroc touche plus d'un tiers de la population marocaine avec 31,6 % d'enfants de 6 mois à 5 ans (M.S, 2001).

En outre, la coexistence du saturnisme chronique et de l'anémie ferriprive est fréquente dans les pays en développement, en particulier chez les jeunes enfants défavorisés (CDCP, 2002; Jain *et al.*, 2005). En effet, l'absorption gastro-intestinale du plomb chez les enfants augmente avec la carence alimentaire en fer (Mahaffey, 1990). Ces deux maladies peuvent nuire à la croissance des enfants et réduire de façon permanente leur développement neurocognitif.

L'anémie ferriprive, hémorragique, aplasique, la maladie de Biermer et la thalassémie, ont déjà été amplement l'objet de plusieurs recherches. Nous allons étudier l'effet de l'intoxication par le plomb et son impact sur la prévalence de l'anémie.

Certes, le plomb a un effet direct sur le système hématologique; des études récentes ont démontré la tendance à la baisse de la teneur en hémoglobine avec l'augmentation de la plombémie chez les enfants (Bergdahl *et al*, 1999; Tripathi *et al.*, 2001). Il affecte aussi la morphologie des érythrocytes (Terayama, 1993). D'autres études ont révélé que le plomb altère la synthèse de l'hème à diverses étapes, notamment à travers la perturbation de l'activité de trois enzymes à savoir, l'acide δ -aminolévulinique synthétase (δ -ALAS), l'acide δ -aminolévulinique déshydratase (δ -ALAD) et ferrochélatase (Jacob *et al.*, 2000).

A notre connaissance, c'est la première fois au niveau des zones choisies (zone minière, zone azzouzia et zone médina) de la ville de Marrakech, qu'une étude de ce genre essaye de mettre en évidence la relation entre la plombémie $\geq 10 \mu\text{g/dl}$ et l'anémie chez les enfants. Il s'agit d'évaluer l'association entre la plombémie $\geq 10 \mu\text{g/dl}$ et l'anémie, et son effet sur le système hématologique et le statut en fer chez 462 enfants âgés de 3 à 9 ans qui vivent dans les trois régions suspectées de présenter un haut risque de contamination par le plomb selon la littérature (Lekouch, 2004; El Gharmali, 2005; Barkouch, 2007; El Adnani, 2008).

Cet article a pour but de mettre en évidence le lien entre la carence martiale et la contamination par le plomb chez les enfants de la région de Marrakech.

Patients et Méthodes

Zones d'étude

Une étude préliminaire qui concerne quatre zones de la ville de Marrakech (zone médina, zone minière, zone azzouzia et zone témoin). Les objectifs de cette étude est de déterminer la prévalence de l'anémie et des signes biologiques de l'intoxication au plomb (saturnisme) au niveau de ces zones.

Ces zones ont été sélectionnées en se basant sur des études antérieures qui ont confirmé l'existence d'une source de contamination en plomb au niveau des différents compartiments (Eaux, sols et plantes) (Lekouch, 2004; El Gharmali, 2005; Barkouch, 2007; El Adnani, 2008).

Zone Azzouzia

La zone d'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech dite «périmètre d'azzouzia» est située au Nord de la ville. Elle se trouve essentiellement délimitée par un triangle pointé vers le sud, d'une superficie globale de 1500 ha. Elle abrite 6000 habitants répartis sur onze douars dont la principale activité est l'agriculture.

Zone Minière

Le site minier Drâa Lasfar localisé au Nord-Ouest de la zone Mrabtine, située à 13 km environ à l'Ouest de la ville de Marrakech. Il correspond à une commune rurale de 5.790 ha dont plus de 65% du territoire est occupé par des terres agricoles (ORMVAH, 1980).

Zone Médina

L'agglomération urbaine de Marrakech (672.000 habitants) fait partie de la Wilaya de Marrakech, elle-même incluse dans la région économique du Tensift.

Zone Témoin (Chouiter)

Cette zone se localise sur la route d'Ouarzazate, à 9 km de Marrakech. C'est une zone d'habitats résidentiels, touristiques et économique, de lotissements de villas, d'écoles, de centre de santé, de mosquée, et de différents équipements de proximité. Cette zone est loin de toute influence de source de contamination.

Population d'étude et échantillonnage

Un groupe d'élèves (462 enfants des quatre zones d'étude) garçons et filles qui ont été diagnostiqués dans leurs écoles:

- Des élèves du premier cycle de l'enseignement fondamental (Classe de cm1, cm2 et cm3) dont l'âge était compris entre 6 et 9 ans.

- Des enfants des crèches dont l'âge était compris entre 3 et 5 ans.

Il s'agissait d'un échantillon d'élèves recrutés dans le cadre d'une étude plus large dont le protocole a été approuvé par le comité d'éthique «Ethics committee of ETH Zurich» et le Ministère de la Santé Publique Marocain.

L'étude a été déroulée au sein de 6 groupes scolaires:

- École El Kasba (zone médina)
- École Tazakourt (Zone minière-Douar Ouled El guern)
- École Bou Aïcha (Zone minière –Douar Ouled Bou Aïcha)
- École Mlilia (Zone azzouzia-Douar 1)
- École Tafilalt (Zone azzouzia-Douar 2)
- École Abou Moussa Al achaari (Zone témoin-Chouiter-)

Le jour du prélèvement, a été procédé à l'appel nominatif des élèves:

- Enregistrement et la prise des informations nécessaire (noms exact, âge...etc.)
- Attribution d'un numéro d'identification ainsi qu'un flacon pour la collecte des urines.
- Visite médicale et réalisation des prélèvements du sang.

Critères d'inclusion

Les enfants répondant aux critères d'inclusion suivants ont été colligés:

- Âge compris entre 3 ans et 9 ans.
- Absence de pathologie chronique.
- Résidence dans l'une des régions de l'étude.
- Signature des consentements par les parents/tuteurs.

Mesures hématologiques, biochimiques et écotoxicologiques

Tous les prélèvements ont été acheminés au laboratoire dans des glacières et analysés le jour même.

Numération formule sanguine

Pour les analyses hématologiques, les hémogrammes ont été déterminés sur un automate de type Sysmex XT 2000i (voir annexe). Cet appareil donne des informations sur les globules rouges (GR), les hémoglobines (Hb), les hématocrites (HT), le volume globulaire moyen (VGM), la teneur corpusculaire moyenne en hémoglobine (TCMH), la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (CCMH), les globules blancs (GB), les plaquettes (PLQ) et plusieurs autres paramètres importants dans les analyses hématologiques.

Paramètres biochimiques

Les dosages du fer sérique, la ferritine, la transferrine et CRP ont été effectués sur un automate de type Cobas-Integra 400+.

Paramètres écotoxicologiques

Plombémie

La spectrométrie d'absorption atomique avec four graphique (AAS-GF) est la méthode analytique la plus couramment utilisée pour la détermination des concentrations de plomb dans le sang.

Protoporphyrine de zinc

La protoporphyrine de zinc (PPZ ou ZnPP) a été dosée par l'appareil « Aviv Hematofluorometer modèle 206D » qui fournit une mesure rapide et précise du rapport de ZnPP à l'hème dans le sang total. Cette technique d'analyse est conçue pour le dépistage rapide pour les troubles du métabolisme du fer, la carence en fer et un empoisonnement au plomb.

L'acide delta aminolévulinique (l'ALA urinaire)

L'ALA urinaire a été déterminé par une technique spectrophotométrique par l'appareil UVIKON Spectrophotomètre (UVIKON 940, Kontron Instruments, Tegimenta) avec une longueur d'onde de 553 nm.

Analyse Statistique

Après collecte des données et leur saisie, l'analyse statistique est réalisée à l'aide du logiciel PASW Statistics 18.

Résultats

Les résultats des différents paramètres anthropométriques étudiés lors de nos enquêtes sur terrain sont représentés dans le tableau 1.

Il faut d'abord signaler que les enfants de la zone azzouzia et la zone minière ont les plus faibles poids et taille par rapport à la zone médina et la zone témoin. Pour toutes les zones de l'étude, les enfants présentent une différence significative pour l'âge, le poids et la taille (respectivement $p < 0,05$, $p < 0,01$ et $p < 0,001$). Cette différence est hautement significative au niveau de la taille des enfants.

		Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum	Valeur P
Âge (ans)	Zone minière	5,89	1,77	1,77	8	0,033*
	Zone médina	6,04	1,15	1,15	9	
	Zone azzouzia	5,53	1,40	1,40	8	
	Zone témoin	5,63	1,06	1,06	8	
	Total	5,81	1,47	1,47	9	
Poids (Kg)	Zone minière	19,03	3,93	3,93	30	0,006**
	Zone médina	20,29	4,52	4,52	50	
	Zone azzouzia	18,96	3,77	3,77	35	
	Zone témoin	20,48	3,17	3,17	29	
	Total	19,61	3,97	3,97	50	
Taille (m)	Zone minière	1,13	0,12	0,86	1,38	0,0001***
	Zone médina	1,15	0,08	1,01	1,40	
	Zone azzouzia	1,10	0,13	0,86	1,85	
	Zone témoin	1,19	0,07	1,04	1,45	
	Total	1,14	0,11	0,86	1,85	

Tableau 1. Résultats des valeurs moyennes des paramètres anthropométriques au niveau des quatre zones d'étude. * La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral). ** La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral). *** La corrélation est significative au niveau 0,001 (bilatéral).

Table 1. Results of the mean values of anthropometric parameters in the four study areas.
* $p < 0.05$. ** $p < 0.01$. *** $p < 0.001$

Le tableau 2 représente les résultats des différents paramètres hématologiques.

Les valeurs moyennes de l'hémoglobine pour les quatre zones ont été différentes et la différence a été hautement significative ($p > 0,001$). En effet, la zone minière présente la valeur la plus basse en Hb (11, 27 $\mu\text{g/l}$) par rapport aux autres zones. Pour les valeurs de HT, VGM, TCMH et CCMH, elles ont été statistiquement différentes et leurs différences ont été significatives (respectivement $p < 0,01$, $p < 0,05$, $p < 0,01$ et $p < 0,001$). Les valeurs moyennes les plus basses en HT, VGM, TCMH et CCMH ont été enregistrées au niveau de la zone minière suivie de la zone azzouzia.

Les résultats du tableau 3 nous donnent une idée sur la prévalence de l'anémie au niveau des quatre zones d'étude. Cette dernière a été très élevée chez les enfants de la zone minière par rapport à celles des autres zones, elle a été de l'ordre de 42,64 %, avec 23,26% d'anémie légère, 16,28% d'anémie modérée et 3,10% d'anémie sévère. Les cas d'anémie légère ont été plus répandus au niveau de cette zone et surtout chez les enfants d'âge scolaire (6 à 9 ans).

		Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum	Valeur P
Hb (g/dL)	Zone minière	11,27	1,54	3,70	13,50	0,0001***
	Zone médina	12,05	0,87	8,20	14,40	
	Zone azzouzia	11,44	1,37	5,20	14,10	
	Zone témoin	12,097	0,83	8,40	13,60	
	Total	11,67	1,28	3,70	14,40	
HT (%)	Zone minière	34,07	3,84	16,20	39,20	0,001**
	Zone médina	35,42	2,196	26,20	41,70	
	Zone azzouzia	35,29	2,24	27,30	40,30	
	Zone témoin	35,54	2,10	27,50	39,90	
	Total	35,12	2,69	16,20	41,70	
VGM (fL)	Zone minière	76,03	6,97	53,20	84,00	0,015*
	Zone médina	78,08	4,61	62,20	86,70	
	Zone azzouzia	77,75	4,04	68,10	86,30	
	Zone témoin	78,44	4,33	60,40	85,80	
	Total	77,64	5,12	53,20	86,70	
TCMH (pg)	Zone minière	25,36	3,43	12,90	29,10	0,001**
	Zone médina	26,53	1,84	17,50	29,40	
	Zone azzouzia	26,15	1,70	21,60	29,70	
	Zone témoin	26,68	1,65	18,50	29,20	
	Total	26,23	2,28	12,90	29,70	
CCMH (g/dL)	Zone minière	33,21	2,21	22,80	36,70	0,0001***
	Zone médina	33,97	1,03	28,20	35,90	
	Zone azzouzia	33,62	1,03	29,70	35,70	
	Zone témoin	33,997	0,94	30,50	36,90	
	Total	33,74	1,39	22,80	36,90	

Tableau 2. Résultats des valeurs moyennes des paramètres hématologiques au niveau des quatre zones d'étude. * La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral). ** La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral). *** La corrélation est significative au niveau 0,001 (bilatéral), Hb: hémoglobine, HT: hématocrite, VGM: volume globulaire moyen, TCMH: Teneur corpusculaire moyenne en hémoglobine, CCMH: Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine.

Table 2. Results of the average values of haematological parameters in the four study areas. * p<0.05. ** p<0.01. *** p<0.001. Hb: hemoglobin, HT: hematocrit, VGM: Mean corpuscular volume TCMH: Mean corpuscular hemoglobin content, CCMH: mean corpuscular hemoglobin concentration.

Au niveau de la zone azzouzia, la prévalence de l'anémie a été de l'ordre de 40,00 %, elle a été élevée par rapport à la zone médina et la zone témoin (respectivement 19,84% et 18,18%). Contrairement à la zone minière, les enfants qui souffraient d'anémie modérée (20,77%) au niveau de la zone azzouzia ont été plus fréquents que ceux souffrant des autres anémies. En général, pour les quatre zones d'étude, les enfants scolarisés (6 à 9 ans) souffraient plus d'anémie que les autres enfants préscolaires (3 à 5 ans).

Les zones d'étude		Nombre total d'enfants	Anémie légères		Anémie modérée		Anémie sévère		Prévalence d'anémie	
			N	%	N	%	N	%	N	%
Zone minière	PS	66	13	19,70%	6	9,09%	2	3,03%	55	42,64%
	S	63	17	26,98%	15	23,81%	2	3,17%		
	Total	129	30	23,26%	21	16,28%	4	3,10%		
Zone médina	PS	57	1	1,75%	---	---	---	---	25	19,84%
	S	69	16	23,19%	8	11,59%	---	---		
	Total	126	17	13,49%	8	6,35%	---	---		
Zone azzouzia	PS	65	6	9,23%	4	6,15%	2	3,08%	52	40%
	S	65	17	26,15%	23	35,38%	---	---		
	Total	130	23	17,69%	27	20,77%	2	1,54%		
Zone témoin	PS	18	1	5,56%	---	---	---	---	14	18,18%
	S	59	7	11,86%	6	10,17%	---	---		
	Total	77	8	10,39%	6	7,79%	---	---		

Tableau 3. Prévalence de l'anémie par rapport à l'hémoglobine au niveau des quatre zones d'étude. PS: Préscolaire, S: Scolaire, N: nombre, %: pourcentage.

Table 3. Prevalence of anemia in function of to hemoglobin in the four study areas. PS: Preschool, S: School N: number, %: percentage.

Le tableau 4 présente les valeurs moyennes des paramètres biochimiques des quatre zones d'étude. Ces paramètres nous permettaient l'évaluation du métabolisme du fer et leur interprétation nécessite la prise en compte de nombreux facteurs tels que la présence d'un état inflammatoire d'où l'analyse de la CRP.

D'après les résultats enregistrés, les valeurs moyennes des paramètres biochimiques n'ont pas de différence significative par rapport aux zones d'étude sauf au niveau du fer sérique ($p < 0,001$).

Les valeurs moyennes de la ferritine au niveau des quatre zones ont été inférieures aux valeurs de références (30-400 $\mu\text{g/l}$), tandis que celles des récepteurs solubles de la transferrine ont été dans les valeurs de références (1,9-5 mg/l), sauf au niveau de la zone azzouzia avec une moyenne de 5,19 mg/l .

Les autres paramètres CRP, TRSF et FER présentaient des valeurs moyennes qui rentrent dans l'intervalle de référence (respectivement 0-5 mg/l , 2-3,6 g/l et 0,5-1,58 mg/l). En revanche, la capacité totale de fixation de fer pour les quatre zones présentait des valeurs supérieures aux normes (30-60).

		Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum	Valeur P
FERR ($\mu\text{g/l}$)	Zone minière	27	17,72	3,20	95	0,991
	Zone médina	26,71	12,79	9	81,10	
	Zone azzouzia	27,54	19,099	4,60	117,60	
	Zone témoin	26,72	19,997	2,50	105,50	
	Total	27,13	18,07	2,50	117,60	
STFR (mg/l)	Zone minière	4,63	2,47	1,56	17,02	0,141
	Zone médina	4,80	1,94	2,64	13,60	
	Zone azzouzia	5,19	2,52	2,64	15,72	
	Zone témoin	4,33	1,76	2,21	12,63	
	Total	4,84	2,297	1,56	17,02	
CRP (mg/l)	Zone minière	2,79	7,15	0	45,10	0,725
	Zone médina	1,53	2,09	0,20	8,80	
	Zone azzouzia	3,33	15,52	0,10	154,20	
	Zone témoin	1,59	2,88	0,10	14,40	
	Total	2,58	10,82	0	154,20	
TRSF (g/l)	Zone minière	2,93	0,61	1,66	4,79	0,194
	Zone médina	3,07	0,41	2,15	3,89	
	Zone azzouzia	3,11	0,51	2,34	4,75	
	Zone témoin	3,05	0,41	2,33	4,10	
	Total	3,05	0,50	1,66	4,79	
CTF	Zone minière	72,86	15,15	41,60	119,90	0,155
	Zone médina	76,76	10,16	53,80	97,30	
	Zone azzouzia	77,75	12,80	58,40	118,80	
	Zone témoin	76,46	10,66	58,20	102,60	
	Total	76,33	12,66	41,60	119,90	
FER (mg/l)	Zone minière	0,55	0,297	0,07	1,25	0,001***
	Zone médina	0,75	0,33	0,17	1,62	
	Zone azzouzia	0,66	0,31	0,15	1,48	
	Zone témoin	0,79	0,29	0,13	1,31	
	Total	0,67	0,32	0,07	1,62	

Tableau 4. Résultats des valeurs moyennes des paramètres biochimiques au niveau des quatre zones d'étude. * La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral). ** La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

*** La corrélation est significative au niveau 0.001 (bilatéral). FERR: ferritine, STFR: récepteurs solubles de la transferrine, CRP: protéine c-réactive, TRSF: transferrine, CTF: capacité totale de fixation, FER: fer sérique.

Table 4. Results of the average values of biochemical parameters in the four study areas. * $p < 0.05$. ** $p < 0.01$. *** $p < 0.001$. FERR: ferritin, STFR: soluble transferrin receptors, CRP: c-reactive protein, TRSF: transferrin, CTF: Total binding capacity, FER: serum iron.

La ferritine reste le marqueur du statut en fer le plus utile, elle nous permet de classer les enfants de l'étude en deux catégories:

- Ceux qui ont $\text{FERR} < 15 \mu\text{g/l}$: souffrent d'une carence en fer (ID).
- Tandis que ceux qui ont $\text{FERR} > 15 \mu\text{g/l}$ avec anémie: souffraient d'une anémie ferriprive (IDA).

Le tableau 5 résume les résultats de l'étude.

	Nombre total d'enfants	Carence en Fer (FERR<15µg/l)		Anémie ferriprive (FERR<15µg/l)	
		N	%	N	%
Zone minière	129	13	10,08%	9	6,98%
Zone médina	126	18	14,29%	5	16,15%
Zone azzouzia	130	27	20,77%	21	3,97%
Zone témoin	77	15	19,48%	3	3,90%

Tableau 5. Prévalence de la carence en fer et d'anémie par carence en fer au niveau des quatre zones d'étude. FERR: ferritine, N: nombre.

Table 5. Prevalence of iron deficiency and iron deficiency anemia in the four study areas. FERR: ferritin, N: number.

D'après le tableau 5, 10,08% d'enfants de la zone minière souffraient d'une carence en fer contre 20,77% au niveau de la zone azzouzia, 14,29% au niveau de la zone médina et 19,48% au niveau de la zone témoin. Alors que les enfants de la zone azzouzia ont été plus touchés par la carence en fer par rapport aux autres zones (16,15%).

Le tableau 6 présente les valeurs moyennes des paramètres liés au dépistage de la contamination par le plomb au niveau des quatre zones d'étude.

Au début de l'étude nous avons effectué 462 prélèvements sanguins et urinaires. Toutefois, pour des raisons de prélèvement nous avons perdu plusieurs échantillons destinés à l'analyse des paramètres liés au dépistage de la contamination par le plomb (coagulation, hémolyse...etc.). En respectant l'éthique, nous n'avons pas pu repiquer les enfants pour compléter les 462 enfants de l'étude.

		N	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum	Valeur P
Plombémie µg/dl	Zone minière	58	3,13	2,18	0	12,23	0,017*
	Zone médina	83	3,65	2,31	0,75	13,58	
	Zone azzouzia	91	4,19	2,18	0,66	10,90	
	Zone témoin	16	2,93	1,70	0,38	6,42	
	Total	248	3,68	2,23	0	13,58	
ZnPP µmol/mol	Zone minière	93	108,399	100,99	43	862	0,035*
	Zone médina	114	90,55	54,14	45,50	469	
	Zone azzouzia	125	121,06	121,31	43,50	864,67	
	Zone témoin	60	90,199	25,06	50,33	196	
	Total	392	104,46	90,49	43,00	864,67	
ALA mg/l	Zone minière	126	1,52	1,27	0	5,19	0,223
	Zone médina	123	1,27	1,18	0	5,13	
	Zone azzouzia	96	1,12	1,13	0	4,85	
	Zone témoin	75	1,37	1,02	0	4,61	
	Total	420	1,35	1,18	0	5,19	

Tableau 6. Résultats des valeurs moyennes des paramètres liés au dépistage de la contamination par le plomb au niveau des quatre zones d'étude. *. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral). ZnPP: protoporphyrine zinc, ALA: acide delta aminolévulinique.

Table 6. Results of the average values of parameters related to testing for lead contamination in the four study areas. * p<0.05. ZnPP: zinc protoporphyrin, ALA: aminolevulinic delta acid.

D'après les résultats du tableau, les valeurs moyennes de la plombémie et de la ZnPP au niveau de la zone azzouzia et la zone minières ont été les plus élevées par rapport aux autres zones et ces valeurs ont été significativement différentes (p<0,05). Les valeurs de la plombémie pour toutes les zones ont été < 10 µg/dl, tandis que ceux de ZnPP sont > 40 µmol/mol.

Les moyennes de l'ALA ont été inférieures aux normes et ne présentaient pas de différence significative entre les zones d'étude.

En général, d'après les résultats des paramètres liés au dépistage de la contamination par le plomb, nous pouvons dire qu'au niveau des quatre zones d'étude, il n'y avait pas d'intoxication au plomb notable (plombémie < 10µg/dl). Ces paramètres enregistraient des valeurs très faibles par rapport aux normes que ce soit pour la plombémie ou pour l'ALA.

Discussion

Les valeurs moyennes faibles de l'hématocrite, du volume globulaire moyen (VGM), de la teneur corpusculaire moyenne en hémoglobine (TCMH) et de la concentration moyenne d'hémoglobine corpusculaire (CCMH) chez les enfants anémiques indiquaient l'existence d'une anémie hypochrome microcytaire. La diminution de la ferritine, et l'augmentation de la capacité totale de fixation du fer (CTF) et protoporphyrine érythrocytaire (ZnPP) montraient que la cause de la microcytose a été une carence en fer. En outre, les valeurs moyennes de la CRP ne montraient aucune différence significative entre les enfants anémiques et non anémiques en ce qui concerne les états d'inflammation. Par conséquent, ces valeurs moyennes de CRP n'ont pas été pathologiques.

En effet, la prévalence de l'anémie, de la carence en fer et de l'anémie ferriprive au niveau de la zone minière a été respectivement de l'ordre de 42,64 %, 10,08 % et 6,98 %, celle de la zone azzouzia a été respectivement de l'ordre 40 %, 20,77 % et 16,15 %, pour la zone médina, elle a été respectivement de l'ordre de 19,84 %, 14,29 % et 3,97 % et pour la zone témoin, la prévalence a été respectivement de l'ordre de 18,18 %, 19,48 % et 3,90 %.

La prévalence d'anémie la plus élevée a été celles de la zone minière.

Zimmermann *et al.*, 2005 ont enregistré lors d'une étude dans des villages ruraux au niveau des montagnes du Rif au nord du Maroc, une prévalence d'anémie de l'ordre de 48,4 %, une carence en fer de 30,9 % ainsi qu'une anémie ferriprive de l'ordre de 18,6 %. De plus, les mêmes chercheurs ont enregistré lors de la même étude dans des villages ruraux dans le nord, l'ouest, le centre et dans les régions du sud de la Côte d'Ivoire, une prévalence d'anémie de l'ordre de 39,4 %, une carence en fer de 19,7 % ainsi qu'une anémie ferriprive de l'ordre de 11 %.

En comparant nos résultats à ceux enregistrés par Zimmermann *et al.*, 2005 au Maroc, la prévalence d'anémie au niveau de la zone minière a été très proche de celle enregistrés par ces auteurs alors que la carence en fer et l'anémie ferriprive des enfants de la zone minière ont été très faibles par rapport à ces résultats.

Les valeurs élevées de la ZnPP peuvent être expliquées par l'incorporation du zinc à la place du fer dans la protoporphyrine IX lors de l'étape finale de la synthèse de l'hème, ce qui témoignait d'une carence en fer. Un manque de fer fonctionnel a été donc diagnostiqué par l'augmentation du ZnPP avec une grande sensibilité mais après un certain délai seulement, une fois que les nouveaux érythrocytes ont remplacé les anciens (Herklotz et Huber, 2010).

Au niveau de la zone minière, les résultats de la plombémie dosée chez 58 enfants révélaient que 98,28 % de ces enfants avaient une plombémie < 10 µg/dl et 1,72 % avec une plombémie ≥ 10 µg/dl (en effet un seul cas a été trouvé avec une plombémie de l'ordre de 12,23 µg/dl). Tandis qu'au niveau de la zone azzouzia, les résultats de la plombémie de 91 enfants, démontraient que 97,80 % d'enfants présentaient une plombémie < 10 µg/dl et 2,2 % avec une plombémie ≥ 10 µg/dl (2 cas avec une plombémie moyenne de 10,5 µg/l), pour la zone médina, les résultats de la plombémie de 83 enfants montraient que 97,59 % d'entre eux enregistraient une plombémie < 10 µg/dl et 2,41 % avec une plombémie ≥ 10 µg/dl (deux cas avec une plombémie moyenne de 13,44 µg/dl). Au niveau de la zone témoin 100 % des enfants présentaient une plombémie < 10 µg/dl. En général, 97,98 % des enfants de l'étude avaient une plombémie inférieure au seuil de préoccupation pour la santé (≥ 10 µg/dl).

Les 5 enfants de l'étude qui présentaient une plombémie > 10 µg/dl avaient un âge compris entre 4 et 6 ans et souffraient tous d'une anémie légère par carence en fer. Toutefois, aucun d'entre eux n'avait des niveaux de plombémie qui nécessitaient une thérapie par chélation selon des directives de gestion des cas (CDCP, 1991), ce qui nous permettait de dire, qu'au niveau de ces zones, ces enfants ne ont pas été gravement affectés par la contamination au plomb.

Compte tenu de ces résultats, il ne peut être affirmé que l'anémie ferriprive soit causée par les taux de la plombémie chez ces enfants, d'autant plus que les interactions entre plomb-fer dans le corps sont complexes.

En outre, le plomb a de nombreux effets négatifs sur la synthèse de l'hème, le principal souci de l'empoisonnement par ce métal chez les enfants a été davantage lié aux effets neurotoxiques du plomb qu'à l'effet du plomb sur la synthèse de l'hémoglobine car une insuffisance de la production d'hémoglobine (anémie) n'a pas été fréquente chez les enfants

souffrant du saturnisme (Piomelli, 1998). Les enfants ont été particulièrement vulnérables aux effets neurotoxiques du plomb, et même des niveaux relativement faibles d'exposition (6 µg/dl) pouvaient entraîner des dommages neurologiques graves, voire dans certains cas irréversibles (Needleman et Gatsonis, 1990; Bellinger *et al.*, 1992).

Les résultats de la présente étude rejettent l'hypothèse de la présence des concentrations élevées de plombémie au niveau des zones à haut risque de contamination par le plomb chez les enfants.

Conclusion

En conclusion, cette étude montre que l'anémie légère, microcytaire et hypochrome, due à une carence en fer a été un problème important au niveau des 2 zones d'étude (zone minière et zone azzouzia).

En général, pour les quatre zones d'étude, nous n'avons pas de cas graves témoignant d'une contamination au plomb et l'absence de valeurs élevées de la plombémie pourrait être reliée à l'âge des enfants, puisque les tranches d'âge les plus vulnérables (moins de 3 ans) n'ont pas été incluses dans cette étude. Ainsi, durant ces dernières années les responsables de la mine Drâa Lesfer ont déployé leurs efforts pour diminuer la pollution par la mine et pour améliorer la qualité de vie des habitants de deux douars.

Les enfants présentant une anémie sévère ont été confiés pour traitement et ont été pris en charge par le projet et l'équipe médicale.

Remerciements. Les auteurs tiennent à remercier le Fonds National Suisse (# 404740 à 117325), Berne et de l'ETH Zürich, Suisse, pour le soutien financier. Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet Maroc-Suisse "Interactions of lead intoxication and iron deficiency in Morocco: lead source apportionment using stable isotopes and the effects of iron fortification with and without NaEDTA on lead burden, iron status and cognition in children". Il a également bénéficié du soutien logistique du ministère de la santé, du ministère de l'éducation nationale et du ministère de l'intérieur.

Références

- Barkouch Y, 2007, Étude du transfert des éléments traces métalliques (Al, Cd, Cu, Pb, Se et Zn) dans une chaîne alimentaire d'une zone minière de la région de Marrakech – Maroc. Thèse de doctorat, Université de Nantes, Facultés des Sciences pharmaceutiques.
- Bellinger DC, Stiles KM, Needleman HL, 1992, Low-level lead exposure, intelligence and academic achievement: a longterm follow-up study. *Pediatrics*, 90:855 –861.
- Bergdahl IA, Vahter M, Counter SA, 1999, Lead in plasma and whole blood from lead exposed children. *Environmental Research*, 80:25–33.
- CDCP (Centers for Disease Control and protection), 1991, Preventing lead poisoning in young children: a statement by the Centers for Disease Control. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- CDCP (Centers for Disease Control and Prevention), 2002, Managing elevated blood lead levels among young children: recommendations from the Advisory Committee of Childhood Lead Poisoning Prevention. Atlanta (GA): Centers for Disease Control and Prevention.
- El Adnani M, 2008, Évaluation du comportement à long terme des résidus des mines de Hajjar et de Drâa Lesfer (Marrakech, Maroc et de leurs impacts sur les écosystèmes avoisinants. Thèse de doctorat. Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech, Maroc.
- El Gharmali A, 2005, Impact des résidus miniers et des eaux résiduaires sur la contamination métallique des écosystèmes aquatiques et terrestres de la région de Marrakech, Maroc. Thèse de doctorat. Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech, Maroc.
- Herklotz R, Huber A, 2010, Diagnostic de laboratoire des troubles du métabolisme du fer. *Swiss Medical Forum*, 10(30–31):500–507.

- Jacob B, Ritz B, Heinrich J, Hoelscher B, Wichmann HEA, 2000, The effect of low level of blood lead on hematological parameters in children. *Environmental Research*, 82:150–9.
- Jain NB, Laden F, Guller U, Shankar A, Kazani S, Garshick E, 2005, Relation between blood lead levels and childhood anemia in India. *American Journal of Epidemiology*, 161:968-73.
- Lekouch N, 2004, Évaluation de l'exposition de la population humaine aux éléments traces métalliques dans la région de Marrakech: Étude du risque saturnin. Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia Marrakech, Maroc.
- Mahaffey KR, 1990, Environmental lead toxicity: nutrition as a component of intervention. *Environmental Health Perspectives*, 89:75-8.
- Mahanta TG, Mahanta B N, Gogoi P, Dixit P, Joshi V, Ghosh S, 2014, Prevalence and determinants of anaemia and effect of different interventions amongst tea tribe adolescent girls living in Dibrugarh district of Assam. *Clinical Epidemiology and Global Health*. 3: 85–93
- M.S. (Ministère de la santé), 2001, Enquête nationale sur la carence en fer, l'utilisation du sel iodé et la supplémentation par la vitamine A. Maroc.
- Nasir Al Hassan N, 2015, The prevalence of iron deficiency anemia in a Saudi University Female students. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 3(1): 25–28.
- Needleman HL., Gatsonis CA., 1990. Low-level lead exposure and the IQ of children. A meta-analysis of modern studies. *Journal of the American Medical Association*, 263:673 –678.
- PNUE et UNICEF (Programme des Nations Unies pour l'environnement et Fonds des Nations Unies pour l'enfance), 1997, Rapport: L'intoxication des enfants par le plomb -Information visant à susciter le plaidoyer et l'action-
http://www.chem.unep.ch/irptc/publications/leadpoison/lead_fre.pdf
- Piomelli S., 1998, Lead poisoning. In: Nathan DG, Orkin SH, editors. *Nathan and Oski's Hematology of Infancy and Childhood*. Philadelphia: WB Saunders, 480 –496.
- Rondó P H C, Conde A, Coelho M, SakumaSouza A, 2011, Iron deficiency anaemia and blood lead concentrations in Brazilian Children. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 105: 525–530.
- Terayama K, 1993, Effects of lead on electrophoretic mobility, membrane sialic acid, deformability and survival of rat erythrocytes. *Industrial Health*, 31:113–26.
- Tripathi RM, Raghunath R, Mahapatra S, Sadasivan S, 2001, Blood lead and its effect on Cd, Cu, Zn, Fe, and hemoglobin levels in children. *Science of the Total Environment*, 277:161–8.
- UNICEF/UNU/WHO, 2001, Iron deficiency anaemia: assessment, prevention, and control. Genève, Organisation mondiale de la Santé, (WHO/ NHD/01.3.).
http://www.who.int/nut/documents/ida_assessment_prevention_control.pdf
- WHO, 2002, World Health Report. WHO Geneva.
- Zimmermann MB, Molinari L, Staubli-Asobayire F, Hess SY, Chaouki N, Adou P, and Hurrell RF, 2005, Serum transferrin receptor and zinc protoporphyrin as indicators of iron status in African children 1–3. *American Journal of Clinical Nutrition*, 81:615–23.