

Ralentissement électroencéphalographique chez les enfants en âge scolaire exposés aux éléments traces métalliques à Lubumbashi/République Démocratique du Congo

Béatrice Koba-Bora¹, Didier Malamba-Lez², Boivin Michael³, Alla Sikorskii⁴,
Dieudonné Mumba Ngoyi^{5,6}, Prosper Kalenga Muenze Kayamba⁷, Daniel
Okitundu-Luwa⁸, Désiré Tshala-Katumbay^{5,8,9}

¹Département de Neurologie, Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, République Démocratique du Congo.

²Département de Médecine Interne, Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, République Démocratique du Congo.

³Département de Psychiatrie et de Neurologie/Ophthalmologie, Michigan State University, East Lansing MI, USA.

⁴Département des Statistiques et Probabilités, Michigan State University, East Lansing, MI, USA.

⁵Institut National de Recherche Biomédicale (INRB), Kinshasa, République Démocratique du Congo.

⁶Département de Médecine Tropicale, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo

⁷Départements de Gynécologie Obstétrique et de Sciences Biomédicales, Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, République Démocratique du Congo

⁸Département de Neurologie, Faculté de Médecine, Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo

⁹Département de Neurologie et de Santé Publique, Oregon Health & Science University, Portland OR, USA.
Corresponding Author: Béatrice Koba Bora

Abstract : Les effets des éléments traces métalliques (ETM) sur l'électrophysiologie cérébrale ont suffisamment été rapportés ces dernières décennies. Cependant, à notre connaissance, il n'existe pas de données à ce sujet dans notre milieu. L'objectif de cette étude était de déterminer si l'exposition aux ETM est accompagnée de modifications électroencéphalographiques (EEG) chez les enfants en âge scolaire vivant à proximité d'une industrie minière à Lubumbashi/Haut Katanga/DRC. Les ETM urinaires ont été analysés par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS) et l'enregistrement EEG par l'appareil Cadwell Easy II suivant le système 10-20. Les concentrations des ETM analysés étaient toutes supérieures aux limites de référence acceptables, à l'exception du Hg, du Cd et du Se. Dans la majorité des cas (55,79% des cas), un ralentissement de l'EEG a été trouvé : dans 48 % de cas, ce ralentissement était diffus tandis que dans 51 % des cas, il était postérieur. La comparaison des médianes des ETM entre les groupes avec EEG ralenti et EEG normal a été réalisée par le test de Wilcoxon. Il n'a pas été noté de différence statistiquement significative. Nos résultats imposent une étude à large échelle qui permettra l'établissement d'un référentiel EEG dans notre milieu.

Mots clés: EEG, Eléments Traces Métalliques Urinaires, Enfants en âge scolaire, Lubumbashi/Haut Katanga/DRC

Date of Submission: 30-05-2018

Date of acceptance: 16-06-2018

I. Introduction

Dans le corps humain, les ETM à des concentrations limites, entraînent des perturbations EEG (Aguiar, Silva et al. 2015). Les indices EEG ont donc été recommandés comme moyens de détection précoce des altérations fonctionnelles du système nerveux, causées par des produits neurotoxiques (Evstaf'yeva, Zalata et al. 2012). Plusieurs ETM, surtout toxiques, sont associés à une forte activité neurologique pathologique liée à leur effet nocif sur les systèmes (Halatek, Sinczuk-Walczak et al. 2009). L'activité électrique du cerveau peut être modifiée au cours de certaines situations pathologiques telles que l'intoxication aux éléments traces métalliques tels que le cobalt (Veregge and Frost 1988), la malnutrition (De Frias, Varela et al. 2010), l'épilepsie (Koba Bora, Lez et al. 2015) et les infections du système nerveux central (Cuypers, Plusquin et al. 2010, Foger, Gora-Stahlberg et al. 2017). Certains changements dans le fonctionnement neurophysiologique de la cellule nerveuse expliquent les anomalies fonctionnelles observées en présence d'une intoxication par les ETM. Ces anomalies consistent essentiellement en une lenteur généralisée, une lenteur du rythme de base, une diminution de la

réponse à la stimulation photique, un profil EEG désorganisé, une diminution de l'incidence du rythme alpha, une augmentation de thêta et delta et parfois en des anomalies focales (Veregge and Frost 1988, Evstaf'yeva, Zalata et al. 2012). Certaines variabilités fonctionnelles entre individus ne doivent, toutefois pas, être prises pour des anomalies EEG (Koshino and Niedermeyer 1975, Gloor 1985, Yamatani, Konishi et al. 1994). Dans notre milieu, l'enfant est particulièrement sujet à multiples facteurs de risque neurotoxique à savoir la malnutrition, les infections et l'exposition aux ETM. Tous ces facteurs sont de nature à perturber l'EEG. L'EEG pourrait être utilisé comme méthode prédictive de la pathologie neurologique de l'enfant de notre milieu de recherche. Pourtant, à notre connaissance, dans notre milieu, il n'existe aucune étude sur le sujet. L'objectif de ce travail est donc de déterminer si l'exposition aux ETM est accompagnée de modifications électroencéphalographiques (EEG) chez les enfants en âge scolaire vivant à proximité d'une industrie minière à Lubumbashi/Haut Katanga/DRC

II. Sujets et méthodes

Site et population d'étude

Une étude descriptive transversale a été réalisée à Lubumbashi, dans la province minière du Haut-Katanga en République démocratique du Congo (RDC). L'étude a été menée du 19 Juin au 30 Août 2014 à Kabestha, un site minier bien connu dans et hors de Lubumbashi, Haut-Katanga, RDC. Cette étude est née d'une étude principale réalisée dans le même contexte et ayant évalué l'association entre les performances cognitives et l'exposition aux ETM. Nous avons recruté 95 enfants en âge scolaire (46 garçons et 49 filles d'un âge moyen de 8,3 ans) dont le consentement écrit des parents ou des tuteurs légaux a été obtenu. Les enfants ayant des antécédents médicaux d'épilepsie, de paludisme cérébral, de méningite ou de traumatisme crânien n'ont pas été inclus dans l'étude.

L'évaluation de l'activité cérébrale

Elle a été réalisée grâce à l'EEG. Pour chaque enfant, l'EEG a été enregistré durant 15 minutes au moins, grâce à des électrodes placées sur le scalp suivant le système 10-20. Le parent ainsi que l'enfant ont été rassurés de l'innocuité de l'examen. L'enregistrement a été réalisé dans un cabinet de consultation avec lumière tamisée et à l'abri du bruit. L'enfant devait être détendu avant l'examen. L'appareil Cadwell Easy III PSG EEG System a été utilisé pour cette fin. L'enregistrement s'est fait selon le protocole standard : Un casque élastique relié à une mentonnière a été placé sur le scalp. Les électrodes l'ont été après décapage et dégraissage du cuir chevelu à leur niveau. Elles ont ensuite été connectées à la boîte têtère de l'appareillage par des fils de connexion de longueur suffisante pour permettre d'éventuels déplacements de la tête. L'impédance des électrodes a été mesurée. Elle devait être inférieure à 5000 ohms. L'enregistrement s'est fait à 70Hz et en montage longitudinal mais la possibilité de passer d'un montage à un autre et d'un filtre à un autre offerte par la machine a été exploitée. L'enfant était confortablement placé en position semi assise dans un fauteuil à dossier avec accoudoirs ajustables, la tête et la nuque reposant sur un appui en mousse. L'enregistrement a comporté une séquence de repos d'une durée d'environ 5 minutes, une hyperpnée de 3 minutes suivie d'un repos de 2 minutes. Une stimulation lumineuse intermittente de 2 minutes suivie de 2 minutes de repos. A chaque étape, une ouverture et fermeture des yeux a été réalisée. Au total, il y a eu 3 séquences d'ouverture des yeux de 40 secondes chacune suivies de 3 séquences de fermeture des yeux de même durée. Le déroulement des séquences de montage a été modifié en fonction de la survenue d'un évènement pendant l'enregistrement. L'apparition de mouvements, la modification de l'état de vigilance et, de façon générale, tout évènement extérieur, a été noté.

Paramètres d'interprétation EEG

Le tracé EEG obtenu a été interprété par deux neurologues et un protocole consensuel final retenu. L'interprétation a tenu compte de la fréquence du rythme de base, de son amplitude, de sa localisation, de la réactivité à l'ouverture des yeux et des modifications à l'hyperpnée et à la stimulation lumineuse intermittente. Tous les rythmes associés ainsi que leurs caractéristiques ont été rapportés. En définitive, le rythme de base devait être autour de 11 cycles par seconde et son amplitude avoisinant 100 microvolts jusqu'à 9 ans. La décroissance de cette fréquence chez les enfants de 9 à 12 ans était considérée normale mais ne devait pas aller en deçà de 8 cycles par seconde. Le rythme thêta (4-7 c/s) présent dans les régions occipitales était considéré normal lorsque, comme le rythme alpha, il réagissait à l'ouverture des yeux. Le rythme bêta, supérieur à 13 c/s et de localisation antérieure était considéré normal. L'asymétrie d'amplitude ne dépassant pas 20% et en faveur de l'hémisphère non dominant, était considérée normale. L'hyperpnée entraînant une augmentation de l'amplitude du rythme alpha, une diminution de la fréquence du rythme alpha, une abondance des ondes thêta et delta, était aussi considérée normale. L'entraînement observé à la stimulation lumineuse intermittente était considéré normal et son absence n'était pas jugée pathologique (Beniczky, Aurlien et al. 2013). Les anomalies du rythme, de fréquence, d'amplitude et de localisation ainsi que la survenue d'éléments irritatifs ont été notées et un protocole détaillé reprenant ces différents éléments, complété. Pour chaque variable, un code spécifique a

été donné et cela a permis l'analyse des résultats obtenus. L'EEG a été considéré normal lorsque les différents rythmes ci-haut cités se sont retrouvés à leur localisation respective, que la fréquence et l'amplitude étaient dans les limites requises et lorsqu'il n'a pas existé de graphoéléments épileptiformes ou une abondance en éléments lents. Il a été considéré anormal en présence d'éléments lents anormalement élevés pour l'âge (en foyer ou diffus) et/ou de graphoéléments pathologiques pour l'âge (Plouin, Kaminska et al. 2013).

Induction couplée à la spectrométrie de masse (ICPMS)

Cinq millilitres d'urines ont été collectés dans un tube en plastique et portés grâce à une pipette pasteur dans deux cryotubes. Ils ont été conservés dans un congélateur à moins 20 degrés Celsius jusqu'à leur acheminement à Oregon Health & Science University pour les analyses de laboratoire. Pour notre étude, onze ETM ont été choisis. Il s'agit de : Se, Fe, Cu, Zn, Cr, Mn, Co, As, Cd, Hg et Pb. L'As, le Pb, le Hg et le Cd ont été choisis parce qu'ils sont respectivement classés premier, deuxième, troisième et septième sur la liste 2015 de l'ATRSD (Karri, Schuhmacher et al. 2016, Andrade, Aschner et al. 2017). Ils n'ont pas de rôle spécifique dans l'organisme humain et sont neurotoxiques, même à de faibles concentrations. Le Se, le Fe, le Cu, le Zn, le Mn et le Co ont été choisis car ils sont essentiels pour l'organisme mais qu'aux concentrations supérieures ou inférieures aux valeurs normales, ils peuvent conduire aux troubles des systèmes (Chitturi, Baddam et al. 2015, Andrade, Aschner et al. 2017). En outre, le Co a été choisi car sa forte exposition a été antérieurement rapportée au Katanga, dans notre milieu de recherche (Banza, Nawrot et al. 2009, Atibu, Lacroix et al. 2018) et aussi, suite à ses effets toxiques sur le système nerveux central suffisamment documentés (Veregge and Frost 1988). Sur les 95 enfants ayant constitué notre population d'étude, un enfant n'avait pas donné le spécimen urinaire. Les analyses urinaires ont donc été faites chez 94 enfants. L'analyse chimique des prélèvements urinaires a été faite par induction couplée à la spectrométrie de masse (ICP-MS) utilisant un équipement Agilent 7700x avec un auto échantillonneur ASX 250. Le système a opéré à une fréquence radioactive de 1550W, un débit de gaz plasmatique d'argon de 15 L/min, et le flux de gaz d'As de 1.08 L/min. Les Mn, Fe, Co, Cu et Zn ont été mesurés par discrimination d'énergie cinétique utilisant le gaz He de 4.2 ml/min. Le Se a été mesuré en collision de cellules utilisant de l'eau gazeuse à 3.5 ml/min. Le Cd, le Hg et le Pb ont été mesurés sans gaz. Pour les mesures, 21 dilutions d'échantillons ont été préparées dans 1% de HNO₃ (grade de trace métallique selon Fisher) dans des tubes* coniques d'acides traités de 15 ml. Les données ont été quantifiées utilisant 10 points de courbe calibrée (0, 0.25, 0.5, 1, 2, 5, 10, 50, 100, 1000 ppb (ng/g) avec standard externe pour les Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Se, Cd, Hg, et Pb (le mélange commun d'éléments : un multiélément aqueux standard, les standard aqueux du Se, du Hg et du Pb, tous dans 1% de HNO₃. Pour chaque échantillon, les données ont été acquises en 3 exemplaires et moyennées. Un standard interne nommé « Internal Standard Multi-Element Mix 3, VHG Labs » introduit avec les échantillons a été utilisé pour corriger les instabilités plasmatiques et les mesures fréquentes de 2.5 ppb de solution ainsi qu'un blanc (contenant 1% de HNO₃ seulement) ont été utilisés pour le contrôle de qualité et pour déterminer le coefficient de variance. Pour accéder aux taux de récupération des éléments et détecter la contamination par le fond des containers, le contrôle du matériel de référence standard certifié (NIST) a été traité, préparé et analysé selon la même méthode que les échantillons suivants : sérum bovin et porcine, 1598a, ETM dans l'eau, 1643e.

* à travers une incubation dans 1% de HNO₃ (grade d'ETM, (Scientific Fisher) pour 24 heures.

Autorisation éthique

Un consentement a été obtenu du tuteur de chaque enfant après avoir été éclairé sur le déroulement de l'étude. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique médical de l'Université de Lubumbashi (UNILU/CEM/036/2014).

III. Analyses statistiques

Les données ont été saisies grâce au logiciel Excel et leur analyse statistique réalisée grâce au logiciel SAS 9.4 (Institute Inc., Cary, NC, USA). Les caractéristiques du groupe d'enfants ont été résumées par les statistiques descriptives spécialement avec les mesures de tendance centrale et les proportions. Le test de Wilcoxon a été utilisé pour comparer les médianes des concentrations urinaires des ETM dans les groupes d'EEG normal et ralenti. Les analyses ont été considérées significatives au seuil de signification de $p < 0,05$.

IV. Résultats

Caractéristiques sociodémographiques des enfants

Nous avons recruté 95 enfants (46 garçons et 49 filles) âgés de 6 à 11 ans. La plupart d'entre eux (96%) avaient un bon état nutritionnel. Pour toutes les Caractéristiques sociodémographiques, il n'a pas été noté de différence statistiquement significative entre les sexes masculin et féminin.

Concentrations urinaires des éléments traces métalliques

Tous les ETM ont présenté des concentrations urinaires supérieures aux valeurs de référence considérées pour notre étude, à l'exception du Se, du Cd et du Hg. Du fait de la non existence dans notre milieu de références standardisées, nous avons comparé les concentrations médianes urinaires des ETM à celles de l'OMS (Who 1996) et d'une étude ayant compilé les moyennes et médianes de 100000 individus de 55 pays différents sur base des travaux de 60 investigateurs (Iyengar and Woittiez 1988) (Tableau 1). Il n'a pas été noté de différence significative entre les sexes masculin et féminin.

Profil électroencéphalographique des enfants

Chez 67% d'enfants, le rythme de base était compris entre 8 et 13 c/sec. Il était de localisation postérieure (Figure 1A) et dans 1% des cas, tendait à irradier vers les régions centropariétales. L'amplitude était chez la majeure partie d'enfants, comprise entre 50 et 70 mv (Figure 1B). La réactivité à l'ouverture des yeux était présente dans 100% des cas (Figure 1C). L'hyperpnée était associée, dans 75% de cas à un ralentissement physiologique du tracé (Figure 1D). La stimulation lumineuse intermittente était accompagnée d'un entraînement physiologique dans 93 % des cas (Figure 1E). Les ondes delta diffuses non réactives à l'ouverture des yeux et visibles plusieurs minutes après la sensibilisation, ont été retrouvées chez 92 % des enfants (Figure 1F). Il a été noté chez deux patients (2%), la présence de rares graphoéléments épileptiformes (Figure 1G). Par rapport au rythme de base, à la présence ou non d'éléments lents ainsi qu'à leur localisation, la conclusion EEG était normale chez 44,21 % d'enfants, et ralentie chez 55,79 % d'enfants. Ces différentes caractéristiques sont reprises dans le (Tableau 2).

Electroencéphalogramme et concentrations urinaires en ETM

Lorsque les concentrations médianes des ETM ont été comparées dans le groupe d'enfants avec EEG normal et dans celui avec EEG ralenti, aucune différence statistiquement significative n'a été notée (Tableau 3).

V. Discussion

Dans 55,79 % des cas, l'EEG était marqué par un ralentissement généralisé ou focalisé avec prédominance temporooccipitale. En dépit de la grande proportion d'EEG lents, notre étude n'a pas démontré de différence statistiquement significative entre les concentrations urinaires médianes en ETM selon que l'EEG était normal ou ralenti. Pourtant, le lien entre les ETM ainsi que les anomalies EEG qui leur sont associées a été largement étudié et les mécanismes exacts qui restent encore obscurs, seraient les mêmes que ceux impliqués dans la genèse de l'épilepsie (Thatcher and Lester 1985, He, Hsiang et al. 2009). Des précédentes études expérimentales ont trouvé l'association entre toxicité cérébrale par le Co et perturbations électriques observées à l'EEG notamment, des foyers lents généralisés ou diffus (Veregge and Frost 1988, Aguiar, Silva et al. 2015). Dans une étude, il a été noté chez des rats adultes exposés au chlorure de Co ou ayant reçu une infusion de Co dans l'hippocampe, une décharge épileptiforme à court et à long terme dans cette région. Il a aussi été rapporté en même temps des d'éléments lents pathologiques à l'EEG des travailleurs adultes exposés aux ETM essentiels et toxiques. Ces éléments étaient en relation avec des symptômes neurologiques dont des troubles de mémoire (Halatek, Sinczuk-Walczak et al. 2009). L'exposition à l'As a aussi été mise en cause d'anomalies EEG retrouvées chez des travailleurs exposés aux ETM (Halatek, Sinczuk-Walczak et al. 2009). Nous n'avons cependant pas, établi de lien entre les concentrations urinaires en ETM et les anomalies EEG observées dans notre série. Ce résultat pourrait s'expliquer par le type d'étude et de population, les différences des techniques d'enregistrement d'EEG et d'analyse des ETM, les techniques d'analyses statistiques des données et la variabilité des valeurs de référence considérées. En outre, l'existence des pathologies non rapportées ou identifiées, dans un milieu à morbidité complexe comme le nôtre, reste possible. Cette évidence d'EEG ralenti soulève une question majeure : la lenteur rapportée, est-elle véritablement une anomalie EEG ou plutôt une variante physiologique chez les enfants de notre milieu de recherche ? Des études à grande échelle sont nécessaires pour la détermination des références EEG dans notre milieu.

Les limites de cette étude relèvent de la taille de l'échantillon relativement faible, le manque de valeurs de référence disponibles en ce qui concerne l'EEG et les ETM et du type d'étude, transversale, ayant tout simplement évalué l'association entre ETM urinaires et EEG et non, la causalité. Des études ultérieures longitudinales bien planifiées et soutenues pourraient fournir des orientations plus spécifiques sur l'élaboration d'un référentiel standard d'EEG et d'ETM en RDC.

Confit d'intérêt

Aucun.

Remerciements

Ils s'adressent à tous les auteurs ayant contribué à l'étude et à au National Institutes of Health Grant qui a supporté en partie cette étude.

Contribution des auteurs

BKB et DTK ont conçu l'étude. DOL, DML, BKB and DTK ont analysé les données et tous les auteurs ont discuté des résultats. Ils ont tous porté leurs commentaires et ont approuvé la version finale de l'article.

Tableau 1: Concentrations urinaires des Eléments Traces Métalliqueschez les enfants examinés dans notre étude

Eléments	Moyenne ± DS (µg/L)	Premier quartile	Médiane	Troisième quartile	Rang (min-max)
Sélénium	21,66 ± 22,19	8,18	14,68	26,68	0,68-134,47
Fer	137,84 ± 557,58	15,83	30,08	62,41	4,21-5108,3**
Chrome	0,69 ± 2,25	0	0,44	0,71	0-21,4**
Cuivre	62,76 ± 201,86	10,70	16,78	23,02	2,9-1218,16**
Zinc	495,07 ± 352,09	247,82	421,29	675,10	18,3-2354,5**
Manganèse	156,03 ± 731,87	17,33	32,07	73,80	0-6937,71**
Arsenic	39,46 ± 42,47	17,60	31,37	46,90	1,9-349,62**
Plomb	9,16 ± 10,42	3,62	6,04	9,59	0,41-67,29**
Cadmium	0,58 ± 0,36	0,34	0,53	0,85	0-1,61
Cobalt	14,99 ± 19,92	5,08	9,71	19,21	1,21-163,58**
Mercure	0,62 ± 0,84	0	0,51	0,80	0-6,43

** : indique que certaines valeurs sont supérieures aux valeurs de référence ; DS : déviation standard ; VR: valeur de référence

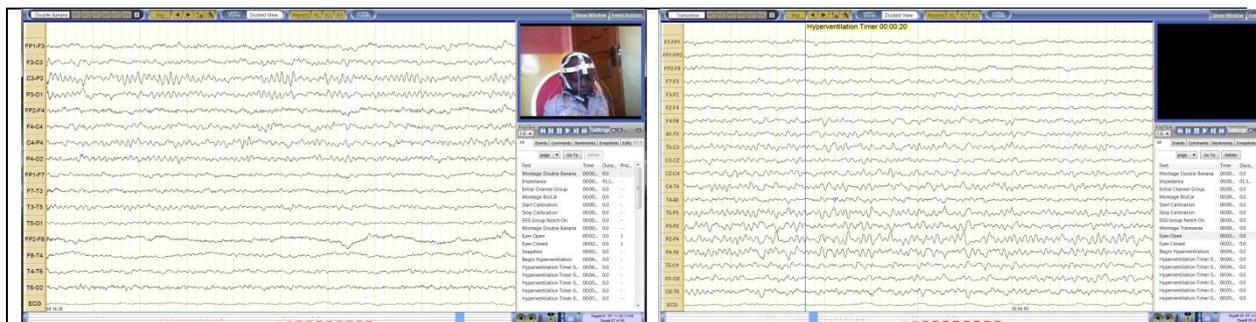
Tableau 2: Caractéristiques Electroencéphalographique des enfants

	Tous n (%)	Garçons n (%)	Filles n (%)	P
a. Rythme de base				
Localisation				
- Postérieure	94 (99)	45 (98)	48 (98)	0,96
- Centrale	1 (1)	1 (2)	1 (2)	
Fréquence (Hz)				
- <8	30 (32)	14 (30)	16 (33)	0,58
- 8 – 13	64 (67)	31 (67)	33 (67)	
- > 13	1 (2)	1 (2)	0 (0)	
Symétrie				
- Oui	93 (98)	45 (98)	48 (98)	0,35
- Non	2 (2)	1 (2)	1 (2)	
Amplitude (mv)				
- <50	45 (47)	24 (52)	21 (43)	0,35
- 50 – 70	49 (52)	21 (46)	28 (57)	
- > 70	1 (1)	1 (2)	0 (0)	
Réactivité				
- Oui	95(100)	46 (100)	49 (100)	
- Non	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
b. Rythmes associés au rythme de base				
Fréquence				
- <4	6 (6)	1 (2)	5 (10)	0,15
- 4-7	80 (84)	42 (91)	38 (76)	
- >13	9 (10)	3 (7)	6 (12)	
Amplitude				
- <50	49 (51)	23 (50)	26 (53)	0,57
- 50-70	45 (47)	23 (50)	22 (45)	
- > 70	1 (2)	0 (0)	1 (2)	
Localisation				
- Postérieure	48 (51)	25 (54)	23 (47)	0,52
- Centrale	1 (1)	0 (0)	1 (2)	
- Antérieure	0 (0)	0 (0)	1 (2)	
- Diffuse	46 (48)	21 (46)	25 (51)	
Réactivité				
- Oui	95 (100)	46 (100)	49 (100)	
- Non	0 (0)	0 (0)	0 (0)	

Ralentiement électroencéphalographique chez les enfants en âge scolaire exposés aux éléments ..

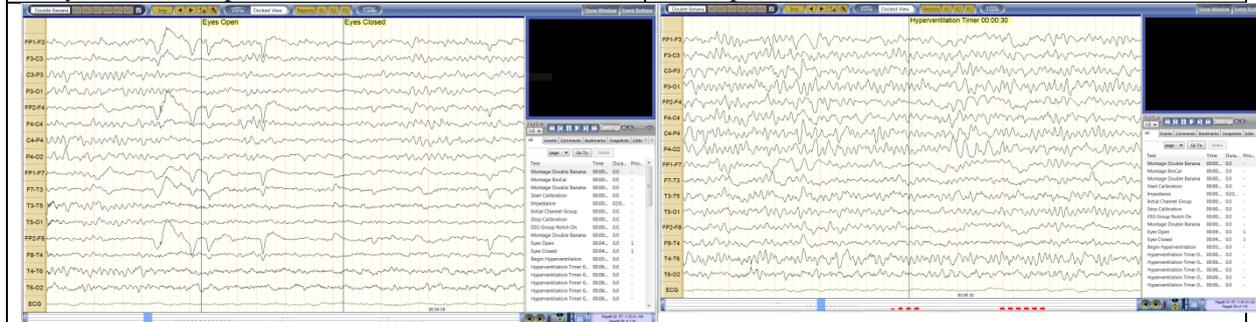
c. Activités pathologiques					
Fréquence					
- <4	4 (8)	3 (14)	1 (3)	0,16	
- 4-7	49 (92)	19 (86)	30 (97)		
Amplitude					
- <50	19 (37)	8 (38)	11 (35)	0,85	
- 50-70	33 (63)	13 (62)	20 (65)		
Localisation					
- Frontale	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0,47	
- Centrale	0 (0)	0 (0)	0 (0)		
- Temporale	1 (2)	1 (5)	2 (6)		
- Pariétale	3 (6)	1 (5)	2 (6)		
- Occipitale	0 (0)	0 (0)	0 (0)		
- Diffuse	49 (92)	20 (91)	29 (96)		
Réactivité					
- Oui	49 (94)	19 (90)	30 (97)	0,34	
- Non	3 (6)	2 (10)	1 (3)		
d. Réactions d'épreuve					
Hyperpnée					
- Sans effet	24 (25)	14 (30)	10 (20)	0,26	
- Ralentiement	71 (75)	32 (70)	39 (80)		
Stimulation lumineuse intermittente					
- Entraînement	88 (93)	41 (89)	47 (96)	0,2	
- Pas d'entraînement	7 (7)	5 (11)	2 (4)		

P : valeur de signification au test du khi carré



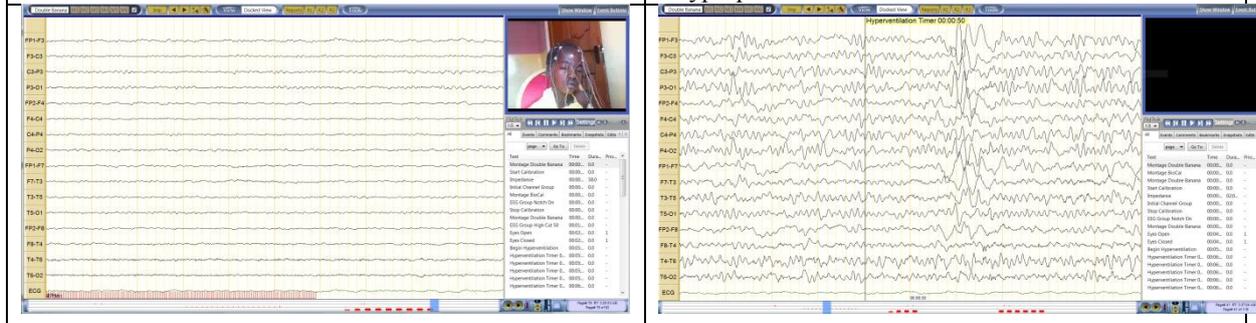
A Rythme de base postérieur entre 8 et 11 c/s

B. Amplitude entre 50 et 70 mv



C. Bonne réactivité à l'ouve

D. Ralentiement physiologique du tracé à l'hyperpnée



E. Entraînement à la stimulation lumineuse intermittente

F. Ondes delta diffuses non réactives à l'ouverture

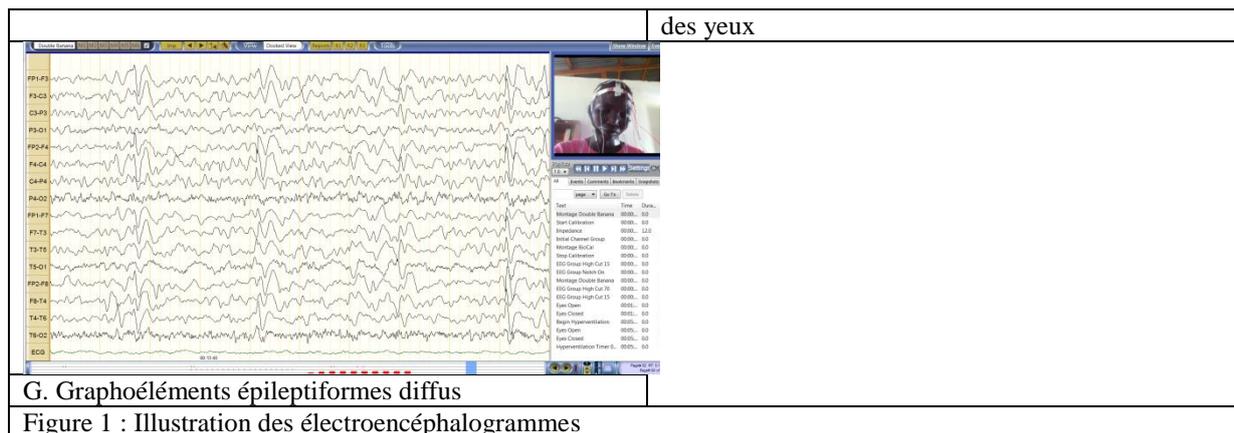


Tableau3: Concentrations médianes des éléments traces métalliques urinaires dans les groupes d'EEG normal et ralenti.

ETM urinaires	EEG		Statistiques
	Normal	Ralenti	
Sélénium Médiane (IIQ)	16,7 (17,1)	12,9 (21,4)	$z=0,5 ; p=0,6$
Zinc Médiane (IIQ)	447 (458,9)	393,2 (472,6)	$z=1,5 ; p=0,3$
Cuivre Médiane (IIQ)	17 (12,2)	16,5 (14,7)	$z=0,2 ; p=0,9$
Fer Médiane (IIQ)	38,3 (51,7)	24,6 (44,8)	$z=1,2 ; p=0,2$
Manganèse Médiane (IIQ)	37,6 (87,9)	28,2 (57,6)	$z=1,3 ; p=0,2$
Cobalt Médiane (IIQ)	11,2 (13,8)	7,5 (9,5)	$z=1 ; p=0,3$
Arsenic Médiane (IIQ)	32 (29,3)	30,7 (33,5)	$z=-0,2 ; p=0,9$
Plomb Médiane(IIQ)	6,1 (5,4)	6 (6,9)	$z=0,3 ; p=0,8$

IIQ : intervalle interquartile, z : test statistique de Wilcoxon, p: valeur de signification statistique

- [1]. Aguiar, L. A., I. M. Silva, T. S. Fernandes and R. A. Nogueira (2015). "Long-term correlation of the electrocorticogram as a bioindicator of brain exposure to ionizing radiation." *Braz J Med Biol Res*48(10): 915-922.
- [2]. Andrade, V. M., M. Aschner and A. P. Marreilha Dos Santos (2017). "Neurotoxicity of Metal Mixtures." *Adv Neurobiol*18: 227-265.
- [3]. Atibu, E. K., P. Lacroix, P. Sivalingam, N. Ray, G. Giuliani, C. K. Mulaji, J. P. Otamonga, P. T. Mpiana, V. I. Slaveykova and J. Pote (2018). "High contamination in the areas surrounding abandoned mines and mining activities: An impact assessment of the Dilala, Luilu and Mpingiri Rivers, Democratic Republic of the Congo." *Chemosphere*191: 1008-1020.
- [4]. Banza, C. L., T. S. Nawrot, V. Haufroid, S. Decree, T. De Putter, E. Smolders, B. I. Kabyla, O. N. Luboya, A. N. Ilunga, A. M. Mutombo and B. Nemery (2009). "High human exposure to cobalt and other metals in Katanga, a mining area of the Democratic Republic of Congo." *Environ Res*109(6): 745-752.
- [5]. Beniczky, S., H. Aurlien, J. C. Brøgger, A. Fuglsang-Frederiksen, A. Martins-da-Silva, E. Trinka, G. Visser, G. Rubboli, H. Hjalgrim, H. Stefan, I. Rosén, J. Zarubova, J. Dobesberger, J. Alving, K. V. Andersen, M. Fabricius, M. D. Atkins, M. Neufeld, P. Plouin, P. Marusic, R. Pressler, R. Mameniskiene, R. Hopfengärtner, W. Emde Boas and P. Wolf (2013). "Standardized Computer-based Organized Reporting of EEG: SCORE." *Epilepsia*54(6): 1112-1124.
- [6]. Chitturi, R., V. R. Baddam, L. Prasad, L. Prashanth and K. Kattapagari (2015). "A review on role of essential trace elements in health and disease." *Journal of Dr. NTR University of Health Sciences*4(2): 75-75.
- [7]. Cuypers, A., M. Plusquin, T. Remans, M. Jozefczak, E. Keunen, H. Gielen, K. Opendakker, A. R. Nair, E. Munters, T. J. Artois, T. Nawrot, J. Vangronsveld and K. Smeets (2010). "Cadmium stress: an oxidative challenge." *Biometals*23(5): 927-940.
- [8]. De Frias, V., O. Varela, J. J. Oropeza, B. Bisiacchi and A. Alvarez (2010). "Effects of prenatal protein malnutrition on the electrical cerebral activity during development." *Neurosci Lett*482(3): 203-207.
- [9]. Evstaf'yeva, E. V., O. A. Zalata, A. G. Tribat and Y. A. Baraban (2012). "Peculiarities of EEG Activity under Conditions of Rhythmic Phono- and Photostimulation and Contents of Lead, Strontium, and Calcium in Children Living in Environmentally Disadvantaged Areas of Ukraine." *Neurophysiology*44(1): 68-75.
- [10]. Foger, K., G. Gora-Stahlberg, J. Sejvar, E. Ovuga, L. Jilek-Aall, E. Schmutzhard, C. Kaiser and A. S. Winkler (2017). "Nakalanga Syndrome: Clinical Characteristics, Potential Causes, and Its Relationship with Recently Described Nodding Syndrome." *PLoS Negl Trop Dis*11(2): e0005201.
- [11]. Gloor, P. (1985). "Neuronal generators and the problem of localization in electroencephalography: application of volume conductor theory to electroencephalography." *J Clin Neurophysiol*2(4): 327-354.
- [12]. Halatek, T., H. Sinczuk-Walczak, S. Rabieh and W. Wasowicz (2009). "Association between occupational exposure to arsenic and neurological, respiratory and renal effects." *Toxicol Appl Pharmacol*239(2): 193-199.

- [13]. He, J., H. L. Hsiang, C. Wu, S. Mylvaganam, P. L. Carlen and L. Zhang (2009). "Cellular mechanisms of cobalt-induced hippocampal epileptiform discharges." *Epilepsia***50**(1): 99-115.
- [14]. Iyengar, V. and J. Woittiez (1988). "Trace elements in human clinical specimens: evaluation of literature data to identify reference values." *Clin Chem***34**(3): 474-481.
- [15]. Karri, V., M. Schuhmacher and V. Kumar (2016). "Heavy metals (Pb, Cd, As and MeHg) as risk factors for cognitive dysfunction: A general review of metal mixture mechanism in brain." *Environ Toxicol Pharmacol***48**: 203-213.
- [16]. Koba Bora, B., D. M. Lez, D. O. Luwa, M. B. Baguma, D. T. Katumbay, T. K. Kalula and P. L. Mesu'a Kabwa (2015). "Living with epilepsy in Lubumbashi (Democratic Republic of Congo): epidemiology, risk factors and treatment gap." *Pan Afr Med J***21**: 303.
- [17]. Koshino, Y. and E. Niedermeyer (1975). "Enhancement of Rolandic mu-rhythm by pattern vision." *Electroencephalogr Clin Neurophysiol***38**(5): 535-538.
- [18]. Plouin, P., A. Kaminska, M. L. Moutard and C. Soufflet (2013). "Developmental aspects of normal EEG." *Handb Clin Neurol***111**: 79-85.
- [19]. Thatcher, R. W. and M. L. Lester (1985). "Nutrition, environmental toxins and computerized EEG: a mini-max approach to learning disabilities." *J Learn Disabil***18**(5): 287-297.
- [20]. Veregge, S. and J. D. Frost, Jr. (1988). "Relationship between single-unit activity and the electroencephalogram in a neocortical, cobalt-induced epileptogenic focus." *Electroencephalogr Clin Neurophysiol***69**(1): 34-44.
- [21]. Who (1996). "Trace elements in human nutrition and health World Health Organization." World Health Organization: 1-360.
- [22]. Yamatani, M., T. Konishi, M. Murakami and T. Okuda (1994). "Hyperventilation activation on EEG recording in childhood." *Epilepsia***35**(6): 1199-1203.

Béatrice Koba Bora "Ralentiement électroencéphalographique chez les enfants en âge scolaire exposés aux éléments traces métalliques à Lubumbashi/République Démocratique du Congo." *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS)*, vol. 17, no. 6, 2018, pp 63-70.