

## Exposition de la femme aux éléments traces métalliques et baisse de la fertilité : étude menée en zones minières du Haut-Katanga

Richard M. Mukendi <sup>1</sup>, Célestin L. Banza <sup>2</sup>, Benoît Nemery <sup>3</sup>, Clarence K. Mukeng <sup>4</sup>, Jules T. Ngwe <sup>1</sup>, Albert T. Mwembo <sup>1</sup>, Prosper M. Kalenga <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Département de Gynécologie-Obstétrique, Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, République Démocratique du Congo

<sup>2</sup> Unité de toxicologie et environnement, Ecole de Santé Publique, Université de Lubumbashi, République Démocratique du Congo

<sup>3</sup> Unité de toxicologie et environnement, Faculté de Médecine, Katholieke Universiteit Leuven, Belgique.

<sup>4</sup> Unité de Biostatistique, Ecole de Santé Publique, Université de Lubumbashi, République Démocratique du Congo.

### Résumé

**Objectif.** Déterminer les concentrations urinaires en arsenic et en cadmium chez la femme et d'analyser le délai nécessaire à la conception et le taux de l'hormone anti-mullerienne (AMH), marqueur de la fertilité.

**Matériel et méthodes.** Il s'agit d'une étude analytique où les femmes exposées ont été recrutées dans une zone minière du Haut-Katanga et les femmes non-exposées dans une zone loin de toute activité minière. Le test de  $X^2$  ainsi que le calcul du rapport de côtes et de l'IC à 95% ont été utilisés avec le seuil de signification fixé à  $p < 0,05$ .

**Résultats.** Comparativement aux non-exposés, les femmes exposées avaient un risque élevé d'accumulation excessive en arsenic (OR=3,17 [1,40–7,18]) et en cadmium (OR=3,27 [1,37–7,8]). Chez les femmes exposées, le délai moyen nécessaire à la conception est de  $4,70 \pm 2,27$  mois tandis qu'il est de  $1,72 \pm 1,31$  mois chez les femmes non-exposées ( $p < 0,0001$ ). Le taux sanguin d'AMH  $< 2,5$  ng/ml était observé chez 18% des femmes en zone non exposée contre 50% en minière, traduisant chez les femmes exposées un risque d'épuisement du capital folliculaire de près de 4 fois supérieur chez les femmes exposées (OR=4,56 [1,84–11,33]).

**Conclusion.** La présente étude montre d'une part de fortes concentrations urinaires en arsenic et en cadmium et d'autre part la baisse des taux d'AMH et l'allongement du délai nécessaire à la conception chez les femmes vivant en zone minière, suggérant une baisse de la fertilité qui mérite d'être davantage documentée dans les travaux futurs.

**Mots-clés :** *Éléments traces métalliques – Baisse de la fertilité – Zones minières – Haut-Katanga*

### Introduction

Il est admis actuellement que des facteurs toxicologiques de l'environnement sont à la base de la dégradation de la fertilité tant masculine que féminine [1-5]. L'hypothèse avancée par certains auteurs [3-5] est que l'infécondité constatée de nos jours serait la résultante d'une imprégnation prénatale du fœtus à certains polluants chimiques pendant la vie intra-

utérine. Parenteau [6] soutient que les substances reprotoxiques contaminent la chaîne alimentaire, par le mécanisme de bioaccumulation, et augmentent en concentration d'un maillon trophique à l'autre par le phénomène de bioamplification. L'homme, en tant que super prédateur situé au sommet de la pyramide écologique, présente souvent les concentrations les plus élevées avec des effets délétères notamment sur la fonction de reproduction.

### Correspondance:

Richard M. Mukendi, Département de Gynécologie-Obstétrique, Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, Rép. Dém. du Congo.

Téléphone: +243997035693 - Email: richardmutshimbe@yahoo.fr

Article reçu: 22-01-2018      Accepté: 28-04-2018

Publié: 13-05-2018



Copyright © 2018. Richard M. Mukendi *et al.* This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

*Pour citer cet article:* Mukendi RM, Banza CL, Nemery B, Mukeng CK, Ngwe JT, Mwembo AT, Kalenga PM. Exposition de la femme aux éléments traces métalliques et baisse de la fertilité : étude menée en zones minières du Haut-Katanga. Revue de l'Infirmier Congolais. 2018 ; 2(2): 83-89.

Pour Mirakian [7], les principaux polluants chimiques toxiques pour la fertilité agissent par effet perturbateur endocrinien et mutagène et les solvants organiques par effet génotoxique. Les effets peuvent être transgénérationnels. Du fait de la grande lipophilie de ces substances toxiques et de leurs fortes concentrations dans le sang du cordon ombilical, la gestante devient un réservoir de substances toxiques qu'elle peut potentiellement transmettre à l'embryon ou au fœtus pendant la vie intra-utérine et par l'allaitement en période néonatale.

Les effets délétères des polluants se feraient ressentir à différents niveaux de la reproduction : la spermatogénèse, le développement ovocytaire, le contrôle hormonal de la fonction de reproduction, la fécondation, l'implantation embryonnaire et le fœtus. Parmi les polluants reprotoxiques, les éléments traces métalliques (ETM) jouent un rôle majeur. Si les études ne sont pas concluantes sur les effets délétères des ETM en général sur les organes génitaux et la capacité de reproduction, il s'avère que pour quatre d'entre-eux la preuve est évidente. Il s'agit de l'arsenic, du mercure, du cadmium et du plomb [8-12].

Dans le sud-est du Grand Katanga, en République Démocratique du Congo (RDC), la qualité des eaux est particulièrement menacée par l'intensification des activités minières et métallurgiques qui s'effectuent sans respect des normes de sécurité pour la protection de l'environnement et de la qualité de vie des populations. Les eaux de lavage des minerais et les effluents chargés des ETM et des résidus des diverses substances chimiques résultant des activités métallurgiques sont massivement déversés dans les cours d'eau sans traitement préalable [13].

En effet, les traitements d'extraction et de séparation métallurgiques exposent les minerais à des conditions physico-chimiques tout à fait différentes de celles de la roche. De plus, la construction de galeries dans la masse rocheuse crée une exposition à l'air du gisement différente de l'exposition naturelle. Enfin, les dépôts des déchets miniers également en contact libre avec l'environnement, génère un grand changement des conditions de stabilité de ces substances chimiques. Ce changement produit en général une oxydation des sulfures (notamment la pyrite retrouvée dans l'arc minier du Haut-Katanga) ; cela induit des eaux à pH très bas et riches en fer et sulfates nommées drainages acides miniers. Ces drainages une fois en place, sont très difficiles à stopper et présentent des conséquences sévères pour l'environnement. Les drainages acides miniers permettent la mise en solution des métaux des mines et les rendent disponibles pour l'environnement [14-16].

De nombreuses études menées au Katanga ont démontré des concentrations anormalement élevées des ETM (Cu, Co, Pb, As, Hg, Cd, Zn...) dans l'eau, le sol, l'air, les cheveux et liquides biologiques humains (sang, urine...) mais aussi dans diverses espèces aquatiques comme les poissons, denrées fort appréciées des populations vivant au Katanga [13, 17-19].

Dans l'étude menée par Katemo et al. en 2010 [13], huit ETM (Cu, Co, Zn, Cd, Pb, U, V et As) ont été retrouvés dans des échantillons d'eau, de plancton, de feuilles de *Phragmites australis* ainsi que de muscles et de branchies de trois espèces des poissons (*Oreochromis macrochir*, *Tilapia rendalli* et *Clarias gariepinus*) du bassin de la Lufira supérieure (aux environs de la ville de Likasi). Les résultats indiquent de fortes concentrations en cuivre (70,9 ppm) et cobalt (32,3 ppm) dans les effluents du complexe hydrométallurgique de Shituru. Si la contamination des cours d'eau diminue avec l'éloignement de la source de pollution, les valeurs sont très élevées dans le lac Tshangalele pour le plancton et les feuilles de *P. australis*. Pour les poissons, les résultats indiquent que le Pb, U, V, Cu, Co et Cd s'accumulent préférentiellement dans les branchies alors que le Zn s'accumule plus dans les muscles. L'As s'accumule dans le même ordre de grandeur dans les deux organes. Ces résultats confirment la pollution du bassin de la Lufira par les effluents du complexe hydrométallurgique de Shituru.

Ainsi qu'en témoignent de nombreuses études [8-12], les ETM (As, Pb, Cd et Hg) retrouvés en fortes concentrations dans l'eau, les aliments (poissons, végétaux) et la matière biologique humaine au sud-est du Katanga ont des effets néfastes sur la fertilité féminine. Cependant, ces effets ne sont pas documentés chez les femmes vivant dans les zones à forte pollution minière et métallurgiques du Grand Katanga. Les différentes études menées jusqu'à ce jour dans les zones minières du Haut-Katanga se sont contentées d'établir un tableau descriptif de la situation rencontrée dans certaines contrées concernées par l'exploitation minière sans pour autant pousser les investigations jusqu'à effectuer une analyse comparative entre les zones exposées aux déchets miniers reprotoxiques et les zones exemptées du Grand Katanga.

A ce sujet, il serait intéressant d'apprécier le délai nécessaire à la conception et le capital des follicules ovariens notamment par la mesure des concentrations de l'hormone anti-mullerienne (AMH) dans le sang des femmes en âge de procréation. La présente étude a pour objectif de déterminer les concentrations urinaires d'arsenic et de cadmium chez les femmes en âge de procréer et d'analyser leur profil en rapport avec le délai

nécessaire à la conception et le taux d'AMH (marqueur fiable de la fertilité féminine) dans les zones minières de la province du Haut-Katanga, en RDC.

### Matériel et méthodes

Il s'agit d'une étude transversale analytique (exposés et non-exposés) menée au cours de la période allant du 1<sup>er</sup> janvier au 31 août 2015.

Les femmes exposées ont été recrutées dans des villages riverains du bassin de la Lufira supérieure où les eaux de lavage des minerais et les effluents des usines de la ville de Likasi contenant des ETM sont rejetés sans traitement préalable tandis que les femmes non-exposées ont été recrutées dans une zone agricole éloignée de toute activité minière à savoir les environs de la ville de Kalemie à raison d'une non-exposée pour une exposée. Les sujets de l'étude sont recrutés dans la tranche d'âge allant de 18 à 40 ans.

L'échantillonnage a été aléatoire de convenance tant pour les exposées que pour les non-exposées.

Ont été incluses dans l'étude, les femmes habitant le site concerné depuis au moins 10 ans et ayant marqué leur accord pour participer à l'étude.

Ont été exclues de l'étude, les femmes présentant une étiologie évidente de stérilité ou actuellement sous traitement contre la stérilité ou l'infertilité comprenant des inducteurs d'ovulation ou de toute autre forme de procréation médicalement assistée et les femmes enceintes ou en post-partum.

Pour les études multivariées, on recommande au moins 5 sujets par variable explicative considérée, soit pour notre étude un minimum de 50 femmes dans le groupe des exposées et 50 autres dans le groupe des non-exposées soit en tout 100 femmes.

Les paramètres d'étude sont l'âge, la durée de résidence sur le site, la consommation hebdomadaire de poissons, le délai nécessaire à concevoir, les concentrations urinaires d'arsenic et de cadmium ainsi que la concentration sanguine d'AMH.

La conservation et le conditionnement des échantillons se sont effectués au laboratoire des cliniques universitaires de Lubumbashi. Le dosage de l'AMH a été déterminé dans le sérum par la technique Elisa de type sandwich en 2 étapes immunologiques et les concentrations urinaires des éléments traces métalliques ont été obtenues par la technique ICP-MS à la Katholieke Universiteit Leuven en Belgique.

L'exploitation des résultats de nos investigations a donné lieu à cette étude transversale analytique dans laquelle nous présentons, en plus des statistiques

usuelles, les odds Ratio et les tests d'association calculés grâce au logiciel SPSS version 17.

L'étude a été conduite après l'obtention de l'approbation du comité d'éthique médicale de l'Université de Lubumbashi (UNILU/CEM/043/2014).

### Résultats

Dans la tranche d'âge de 21 à 35 ans, les femmes exposées et les femmes non-exposées représentent respectivement 74 et 90%. La moyenne d'âge des non-exposées est de 25,58±4,518 ans avec des extrêmes de 18 et 35 ans tandis que celle des exposées est de 28,98±5,861 ans avec des extrêmes de 20 et 40 ans ce qui confirme l'appartenance de tous les sujets à la période de pleine activité génitale (*tableau 1*).

**Tableau 1 : Répartition des femmes selon l'âge, la durée de résidence sur le site, la fréquence de la consommation hebdomadaire de poissons et le délai nécessaire à la conception**

Variable	Non-exposées (n=50)	Exposées (n=50)
<b>Age</b>		
≤ 20 ans	5 (10%)	4 (8%)
21-35 ans	45 (90%)	37 (74%)
>35 ans	0 (0%)	9 (18%)
<b>Durée de résidence sur le site</b>		
10 à 20 ans	23 (46%)	8 (16%)
21 à 30 ans	27 (54%)	30 (60%)
31 à 40 ans	0 (0%)	12 (24%)
<b>Fréquence poissons/semaine</b>		
≤ 2 fois	5 (10%)	14 (28%)
3 à 5 fois	23 (46%)	33 (66%)
≥ 6 fois	22 (44%)	3 (6%)
<b>Délai nécessaire à la conception</b>		
≤ 2 mois	35 (70%)	4 (8%)
3 à 5 mois	15 (30%)	29 (58%)
6 à 8 mois	0 (0%)	16 (32%)
≥ 9 mois	0 (0%)	1 (2%)

Concernant la durée de résidence sur le site étudié, le *tableau 1* indique respectivement 60 et 54% dans la tranche de 10 à 20 ans.

La moyenne de la durée de résidence dans le site des non-exposées est de 21,14±4,853 ans (extrêmes : 12 et 30 ans) tandis que celle des exposées est de 26,40±4,751 ans (extrêmes : 17 et 38 ans) ce qui atteste la présence des sujets dans le même biotope depuis plus d'une dizaine d'années.

La consommation hebdomadaire de poisson de 3 à 5 fois est observée dans 66% des cas chez les femmes

exposées et 46% chez les femmes non exposées. La moyenne de la fréquence de la consommation de poissons chez les non-exposées est de  $5,04 \pm 1,245$  fois tandis que celle des exposées est de  $2,92 \pm 0,804$  fois. Le test t de Student montre une différence statistiquement significative entre les deux moyennes ( $p < 0,0001$ ).

Le délai de conception  $\leq 2$  mois est retrouvé dans 8 % des cas chez les femmes exposées et 70% chez les femmes non-exposées (*tableau 1*). La moyenne du délai

nécessaire à la conception chez les non-exposées est de  $1,72 \pm 1,310$  mois tandis que celle des exposées est de  $4,70 \pm 2,270$ . Le test t de Student montre une différence statistiquement significative entre les deux moyennes ( $p < 0,0001$ ). Cela démontre que le fait de vivre dans un site subissant la pollution minière allonge de plusieurs mois le délai nécessaire à la conception en comparaison au fait de vivre dans un site exempté de toute pollution minière.

**Tableau 2. Taux sanguin d'hormone antimüllérien (AMH) et concentrations urinaires en arsenic et en cadmium chez les femmes exposées et non-exposées**

Variable	Exposées (n=50)	Non-exposées (n=50)	OR [ICà95%]
<b>Taux sanguin d'AMH</b>			
<2,5 ng/ml	25 (50%)	9 (18%)	4,56 [1,84-11,33]
$\geq 2,5$ ng/ml	25 (50%)	41 (82%)	
<b>Concentration urinaire en arsenic</b>			
$\leq 20$ $\mu\text{g/l}$	17 (34%)	31 (62%)	3,17 [1,40-7,18]
$> 20$ $\mu\text{g/l}$	33 (66%)	19 (38%)	
<b>Concentration urinaire en cadmium</b>			
$\leq 5$ $\mu\text{g/l}$	26 (52%)	39 (78%)	3,27 [1,37-7,80]
$> 5$ $\mu\text{g/l}$	24 (48%)	11 (22%)	

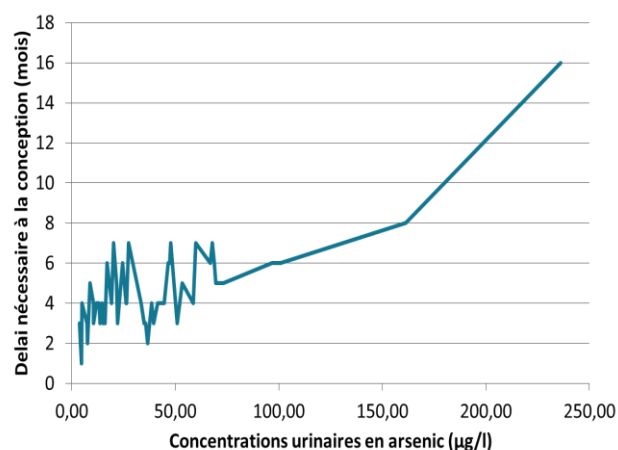
Un taux sanguin d'AMH  $< 2,5$  ng/ml était observé dans 50% chez les femmes exposées et 18% chez celles non-exposées (*tableau 2*). La comparaison statistique entre ces deux proportions montre que le fait de vivre dans un site pollué par l'exploitation minière est associé à un risque de diminution précoce de la concentration de l'AMH et donc du capital folliculaire de plus de 4 fois supérieur en comparaison au fait de vivre dans un site éloigné de toute activité minière (OR=4,56 [1,84-11,33]).

Le *tableau 2* montre que 66 et 48% des femmes exposées avaient des concentrations urinaires respectives en arsenic  $> 20$   $\mu\text{g/l}$  et en cadmium  $> 5$   $\mu\text{g/l}$  contre respectivement 38 et 22% chez les non-exposées.

Les différences entre ces différentes proportions sont statistiquement significatives traduisant que le fait de vivre dans un site pollué par l'exploitation minière est associé à des risques de dépassement des concentrations urinaires en arsenic et en cadmium au-delà des valeurs normales de plus de 3 fois supérieures comparativement au fait de vivre dans un site éloigné de toute exposition aux éléments traces métalliques à travers les activités minières.

L'analyse de la *figure 1* montre clairement qu'à mesure que les concentrations urinaires en arsenic s'élèvent, le

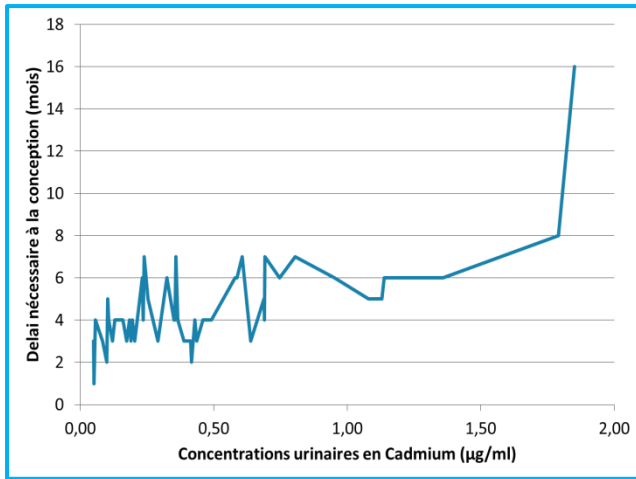
délai nécessaire à la conception s'allonge de plus en plus dans les zones minières du Haut-Katanga.



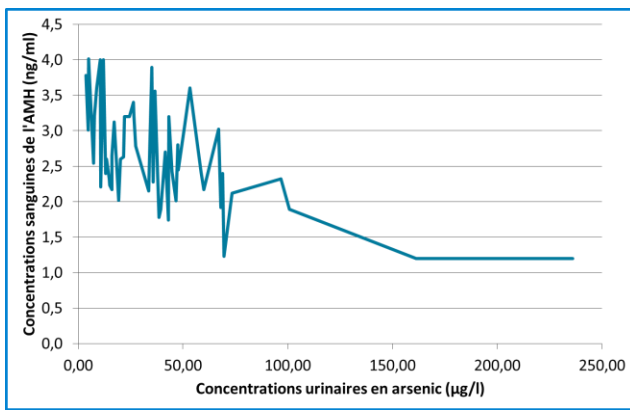
**Figure 1 : Délai nécessaire à la conception en fonction des concentrations urinaires en arsenic**

La *figure 2* révèle que le délai nécessaire à la conception se prolonge au fur et à mesure que les concentrations urinaires en cadmium augmentent dans les zones minières du Haut-Katanga.

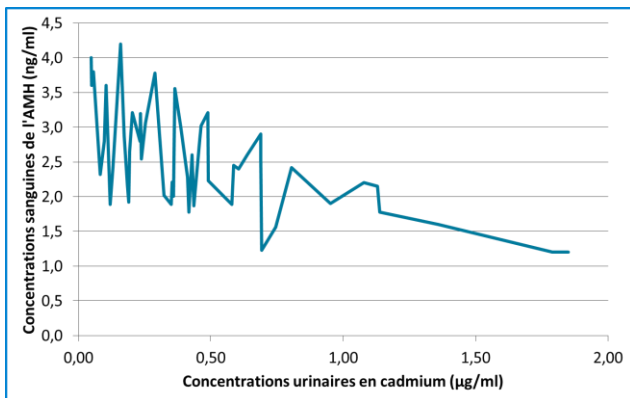
L'analyse de la *figure 3* révèle que les concentrations sanguines de l'AMH diminuent proportionnellement à l'élévation des concentrations urinaires en arsenic chez les femmes exposées.



**Figure 2 : Délai nécessaire à la conception en fonction des concentrations urinaires en cadmium**



**Figure 3 : Concentrations sanguines d'AMH en fonction des concentrations urinaires en arsenic**



**Figure 4 : Concentrations sanguines d'AMH en fonction des concentrations urinaires en cadmium**

La *figure 4* montre qu'avec l'élévation des concentrations urinaires en cadmium les concentrations sanguines de l'AMH diminuent de plus en plus chez les femmes exposées.

### Discussion

L'analyse des résultats de la présente étude met en évidence la dégradation certaine des paramètres de la

fertilité féminine au sein des populations vivant dans le bassin de la Lufira supérieure, aux environs de la ville de Likasi dans la province du Haut-Katanga où les entreprises exploitant les minerais cobaltifères et cupriques rejettent sans traitement préalable les déchets dans l'environnement. Plusieurs études ont révélé la présence des ETM en fortes concentrations au niveau tant de la faune que de la flore de cette partie du Haut-Katanga [13,17-19]. Ces différentes études ont démontré que parmi ces ETM on retrouve de façon constante l'arsenic et le cadmium, éléments répertoriés comme ayant un fort pouvoir reprotoxique ainsi que nous l'avons évoqué en introduisant notre étude.

Dans notre étude la moyenne des concentrations urinaires en arsenic chez les non-exposées est de  $35,14 \pm 8,24 \mu\text{g/l}$  tandis que celle des exposées est de  $43,40 \pm 13,84 \mu\text{g/l}$ . Le test T de Student montre une différence statistiquement significative entre les deux moyennes à l'avantage des exposées. L'odds ratio calculé au seuil de 95% est de 3,17 (1,4 – 7,18). Cela montre que vivre dans un site pollué par l'exploitation minière est associé à un risque de dépassement des concentrations urinaires en arsenic au-delà des valeurs normales de plus de 3 fois supérieur comparativement à ceux qui vivent dans un site éloigné de toute exposition aux ETM à travers les activités minières.

La moyenne des concentrations urinaires en cadmium chez les non-exposées est de  $0,38 \pm 0,84 \mu\text{g/l}$  tandis que celle des exposées est de  $12,40 \pm 8,84 \mu\text{g/l}$ . Le test t de Student montre une différence statistiquement significative entre les deux moyennes à l'avantage des exposées. L'odds ratio calculé au seuil de 95% est de 3,27 (1,37 – 7,8). La conclusion qui en découle est que le fait de vivre dans un site subissant la pollution due à l'exploitation minière est associé à un risque de dépassement des concentrations urinaires en cadmium au-delà des valeurs normales de plus de 3 fois supérieur en comparaison aux habitants des sites éloignés de toute activité minière.

La moyenne du délai nécessaire à la conception chez les non-exposées est de  $1,72 \pm 1,31$  mois tandis que celle des exposées est de  $4,70 \pm 2,27$ . Le test t de Student montre une différence statistiquement significative entre les deux moyennes. Cela démontre que le fait de vivre dans un site subissant la pollution minière allonge de plusieurs mois le délai nécessaire à la conception en comparaison au fait de vivre dans un site exempté de toute pollution minière. Analysant l'association entre le délai nécessaire à la conception et les concentrations urinaires en arsenic, il est apparu clairement que le délai nécessaire à la conception s'allonge proportionnellement à l'augmentation des concentrations urinaires en

arsenic. Le même constat est fait quand on étudie l'évolution du délai nécessaire à la conception en fonction des concentrations urinaires en cadmium. Ce constat rejoint beaucoup d'autres études qui incriminent les ETM reprotoxiques dont l'arsenic et le cadmium dans l'allongement du délai normal de conception [10-12].

Concernant la concentration sanguine d'AMH, l'odds ratio calculé au seuil de 95% est de 4,56 (1,84 – 11,33). Il apparaît donc que le fait de vivre dans un site pollué par l'exploitation minière est associé à un risque de diminution précoce de la concentration de l'AMH et donc du capital folliculaire de plus de 4 fois supérieur en comparaison au fait de vivre dans un site éloigné de toute activité minière. Notre étude a révélé une nette augmentation des concentrations urinaires d'arsenic et de cadmium chez les femmes exposées ayant des concentrations sanguines en AMH inférieures aux normes des femmes en âge d'activité génitale soit 2,4 ng/ml. Le test de Levene montre une différence statistiquement significative quant aux variances des deux groupes.

Cela dit, il apparaît donc que la diminution précoce des concentrations sanguines de l'AMH chez les femmes exposées ainsi que la corrélation entre cette diminution anormale selon l'âge des femmes et les fortes concentrations aussi bien en arsenic qu'en cadmium est

l'expression biologique d'un épuisement précoce du capital folliculaire chez les femmes vivant dans les zones minières du Haut-Katanga.

### Conclusion

Le présent travail montre d'une part de fortes concentrations urinaires d'arsenic et de cadmium et d'autre part la baisse des taux d'AMH et l'allongement du délai nécessaire à la conception chez les femmes vivant en zone minière, suggérant une baisse de la fertilité qui mérite d'être davantage documentée dans les travaux futurs. A l'heure de la mise en application des objectifs du développement durable du millénaire, ces résultats appellent les décideurs politiques qui octroient les permis d'exploitation aux entreprises minières à réguler le secteur minier pour protéger les générations futures en rendant obligatoire l'érection, simultanément aux usines d'exploitation minière, des unités de traitement des déchets miniers en vue de leur conférer une innocuité acceptable avant leur rejet dans la nature. ■

---

*Conflicts d'intérêt* : Aucun

### Références

1. Perrin J, Sari-Minodier I. Fertilité masculine et environnement professionnel. Colloque de la société de santé au travail, de toxicologie, d'ergonomie PACA et de la société française de médecine du travail, Marseille, France ; 2013.
2. Maherou J, Norest S, Ferrer L. Les perturbateurs endocriniens, des substances toxiques, Paris, France, 2013.
3. Rolland M, Le Moal J, Wagner V, Royère D, De Mouzon J. Decline in semen concentration and morphology in a sample of 26 609 men close to general population between 1989 and 2005 in France. *Hum Reprod* 2013; 28 (2): 462-470.
4. Lambrot R, Muczynski V, Lécureuil C, Angenard G, Coffigny H, Pairault C, et al. Phthalates Impair Germ Cell Development in the Human Fetal Testis in Vitro without Change in Testosterone Production. *Environmental Health Perspectives* 2009; 117 (1) : 32-37.
5. Alvarez S. Rôles des facteurs toxiques et de l'environnement sur la fertilité des couples. Les entretiens de Bichat, Paris, France, 2013.
6. Parenteau S, Seréna H. Diminution de la fertilité humaine – facteurs biologiques. La fécondité au Québec: éléments de comparaison, pistes et perspectives. Janvier 2007.
7. Mirakian P. Environnement et fertilité. Mai 2011.
8. Sallmén M, Lindbohm ML., Nurminen M., Paternal exposure to lead and infertility. *Epidemiology* 2000;11(2):148-52.
9. Shiao CY, Wang JD, Chen PC. Decreased fecundity among male lead workers. *Occup Environ Med.* 2004; 61(11):915-23.
10. Buck L.G.M., Sundaram R., Schisterman E.F., Sweeney A.M., Lynch C.D., Gore-Langton R.E., Chen Z., Kim S., Caldwell K.L. and Barr D.B. Heavy metals and couple fecundity, the LIFE Study. *Chemosphere*, 2012.
11. Uckun FM, Liu XP, D'Cruz OJ., Human sperm immobilizing activity of aminophenyl arsenic acid and its N-substituted quinazoline, pyrimidine, and purine derivatives: protective effect of glutathione. *Reprod Toxicol* 2002; 16(1):57-64.
12. Choy CM, Lam CW, Cheung LT, Briton-Jones CM, Cheung LP, Haines CJ. Infertility, blood mercury concentrations and dietary seafood consumption: a

- case-control study. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology* 2002; 109(10): 1121-1125.
13. Katemo MB, Colinet G, Andre L, Chocha Manda A, Marquet JP, Micha JC. Evaluation de la contamination de la chaîne trophique par les éléments traces (Cu, Co, Zn, Pb, Cd, U, V et As) dans le bassin de la Lufira supérieure (Katanga/RD Congo). *Tropicultura* 2010 ; 28 (4): 246-252\$.
  14. Alloway B.J, Ayres DC. *Chemical Principles of Environmental Pollution*. 2nd edition. Blackie Academic and Profesional: London; 1997.
  15. Custer K. *Cleaning Up Western Watersheds. A report for Mineral Policy Center: Boulder, 2003.*
  16. Price WA. Challenges posed by metal leaching and acid drainage, and approaches used to address them. In: Jambor JL, Blowes DW, Ritchie AIM. (Eds.), *Environmental Aspects of Mine Wastes. Short Course Series. Mineralogical Association of Canada : Vancouver ; 2003, pp. 1-10.*
  17. Elenge MM, Aubry JC, Jacob L, De Brouwer C. Quantification of metal in the hair of copper miners in Katanga province, Democratic Republic of Congo. *J Environment Analytic Toxicol* 2011; 1(4): 114.
  18. DESC/RDC. *La pollution de la rivière Kafubu. Rapport d'enquête. Lubumbashi; 2011.*
  19. Banza CLN, Nawrot TS, Haufroid V, Decrée S, De Putter T, Smolders E, et al. High human exposure to cobalt and other metals in Katanga, a mining area of the Democratic Republic of Congo. *Environmental Research* 2009; 109 (6): 745-752.