

Évaluation hématologique des travailleurs exposés à la fumée de la fonderie des métaux lourds: Cas d'une entreprise de la ville de Lubumbashi dans la province du Haut-Katanga en République Démocratique du Congo en 2024

[Hematological evaluation of workers exposed to heavy metal foundry smoke: A case study of a company in the city of Lubumbashi, Haut-Katanga Province, Democratic Republic of the Congo in 2024]

Kalumba Ilunga Cléophas¹, Kumwimba Mulambwe Stephane², Lomami Osakanu Georges³, and Yehwenou Pazou Elisabeth⁴

¹Médecine du Travail, Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, RD Congo

²Médecine du travail, Indépendant, RD Congo

³Ecole de santé Publique, Université de Lubumbashi, RD Congo

⁴Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Benin

Copyright © 2025 ISSR Journals. 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.

ABSTRACT: The hematologic disorders induced by inhalation of the fume or the vapor and pollutant gases emanating from the foundry in the industrial and mining sectors are not ignored in the literature and were the subject of this research. Results of the 69 old hard-working subjects from 18 to 65 years which took part. An emanating group of the 23 operators founders exposed to the smoke of the metallurgical furnace and another 46 workers drawn from the personnel looking after nonexposed with metallurgical smoke. The samples of blood were taken and subjected to a complete hematologic analysis. After two group (1) case for two (2) witnesses; the results showed that the rates of haemoglobin (Hb) were significantly reduced at the subjects exposed to the smoke of the metallurgical foundry with an average rate of haemoglobin decreased and lower than the normal (12,5mg% ± 2,0). The founders thus developed 13 times more anaemia than the group controls (C) with a GOLD = 13,45; one p-been worth < to 0,00 is ($p = 0,00$) and one IC = [3,81; 47,60]. The study revealed that the numeration of red globule or érythrocytaire differs between the two groups, with an erythrocytic average = [4,45 ± 0,95]. This research also highlights that according to level of exposure, that there is a relation amount-effect meaning that the more significant the exposure is, the more anaemia is present with $a p = 0,00$, a GOLD = 13,46; IC = [4,20; 42,22]. The study observes that a proportion of 43% of the founders carry EAR not-adapted. These results indicate that the emanations of the metallurgical smoke of the foundry are toxic for the man and involve a reduction of the hematologic indices which, with a prolonged exposure could be harmful and fatal for the exposed workers.

KEYWORDS: evaluation, hematologic, heavy workers, talks, smoke, foundry, metals, company, RDC.

RESUME: Les troubles hématologiques induit par inhalation des fumées ou des vapeurs et gaz toxiques émanant de la fonderie dans les secteurs industriels et miniers ne sont pas ignorés dans la littérature et ont fait l'objet de cette recherche. Les résultats des 69 sujets travailleurs âgés de 18 à 65 ans qui ont participé. Un groupe des 23 opérateurs fondeurs exposés à la fumée émanant du four métallurgique et un autre 46 travailleurs tiré des personnels soignants non exposés à la fumée métallurgique. Les échantillons de sang ont été prélevés et soumis à une analyse hématologique complète. Après deux groupe (1) cas pour deux (2) témoins; les résultats ont montré que les taux d'hémoglobine (Hb) étaient significativement réduits chez les sujets

exposés à la fumée de la fonderie métallurgique avec un taux moyen d'hémoglobine diminué et inférieur à la normale ($12,5\text{mg}\% \pm 2,0$). Les fondeurs ont donc développé 13 fois plus d'anémie que le groupe contrôle (C) avec un OR= 13,45; un p-value < à 0,00 soit ($p = 0,00$) et un IC = [3,81; 47,60]. L'étude a révélé que la numération de globule rouge ou érythrocytaire diffère entre les deux groupes, avec une moyenne érythrocytaire = [4,45 ± 0,95]. Cette recherche met également en évidence qu'en fonction du niveau d'exposition, qu'il y a une relation dose-effet signifiant que plus l'exposition est importante, plus l'anémie est présente avec un $p = 0,00$, un OR = 13,46; IC = [4,20; 42,22]. L'étude observe qu'une proportion de 43% des fondeurs portent des EPI non-adaptés. Ces résultats indiquent que les émanations de la fumée métallurgique de la fonderie sont toxiques pour l'homme et entraînent une réduction des indices hématologiques qui, avec une exposition prolongée pourrait être néfaste et fatal pour les travailleurs exposés.

MOTS-CLEFS: évaluation, hématologique, travailleurs, exposés, fumée, fonderie, métaux lourds, entreprise, RDC.

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE, JUSTIFICATION ET INTERET DU SUJET

Les métaux lourds, sont des éléments métalliques naturels dont la masse volumique est supérieure à 5 g/cm^3 . Leur réactivité et leur toxicité ne dépendent pas seulement de leur concentration. Leur capacité à s'accumuler ou à se transformer dans les organismes vivants et leurs propriétés écotoxicologiques ou toxicologiques dépendent aussi de leur spéciation, c'est à dire la forme chimique sous laquelle ils sont présents dans notre environnement (Khayra, 2017; Lemita, 2022).

Présents naturellement dans notre environnement et utilisés industriellement, les métaux lourds sont émis dans l'air sous forme de très fines particules et finissent par retomber sur le sol, contaminant ainsi les animaux, les végétaux et les rivières. La plupart se retrouvent donc dans notre alimentation. Certains sont essentiels au bon fonctionnement de notre organisme tandis que d'autres n'ont aucune fonction biologique. Mais en excès, tous peuvent présenter des risques pour la santé (Aya and Mansouri Narimane, 2021; GUEBLI, 2023).

La poussière de rue, un type particulier de milieu environnemental complexe dans les régions urbaines, pourrait avoir des effets néfastes sur les populations exposées. Le caractère de la contamination par les métaux et l'identification de la source sont la principale préoccupation de la plupart des ouvrages précédents sur la poussière de rue (Romdhane, 2017).

Une indication de la gravité de ces risques par rapport à d'autres risques potentiels, est le classement effectué par "l'Agency for Toxic Substance and Disease Registry américaine" qui classe tous les risques rencontrés dans les décharges des produits toxiques en fonction de leur fréquence et de leur toxicité. Sur cette liste, le 1^{er}, le 2^e, le 3^e et le 6^e dangers sont dus aux métaux lourds respectivement le plomb (Pb), le mercure (Hg), l'arsenic (As) et le cadmium (Cd) (De Giudici et al., 2013, 2011).

L'empoisonnement par un métal lourd, en particulier le plomb, peut être la conséquence à l'exposition à des fumées de combustion des fonderie métallurgique, des fumées d'essence contenant du plomb, à une exposition liée à la fabrication des batteries d'automobiles, aux cristaux, au plomb, au céramique, au plomb de pêche, etc.; la démolition ou le sablage des maisons et des ponts dont les peintures contiennent de sels de plomb, la fabrication des vitraux, le travail de plomberie ou de soudure dans un environnement exposé à des poussières ou des débris de peintures (maisons construites avant 1975) ou dans un stand de tir (poussières de bales), nourritures ou eau ayant été en contact avec l'email défectueux ou des tuyaux en plomb, l'utilisation des remèdes ou des sucreries préparées à partir des plantes contaminées (Sabouraud et al., 2009).

Le plomb est absorbé par ingestion ou inhalation sous forme organique (par exemple le plomb tétraéthyl), l'absorption a surtout lieu par la peau. Dans le sang, 95-99p. 100 du plomb est séquestré dans le globule rouge; il est largement distribué dans le tissu mou avec une demi-vie d'environ 30 jours; 15p.100 de la dose s'accumule dans les eaux avec une demi-vie supérieure à 20 ans. Il est excrété surtout dans l'urine, mais peut aussi se retrouver dans d'autres fluides corporels y compris le lait. Le plomb interfère avec la phosphorylation oxydative mitochondriale, il augmente l'oxydation et favorise l'apoptose (Sabouraud et al., 2009).

On appelle fonderie métallurgique une industrie où les opérateurs élaborent à partir des métaux, des pièces volumineuses ou non, en alliage ferreux ou d'étain, de bronze, en laiton ou autres métaux non ferreux notamment le plomb, le cuivre, l'aluminium, etc. L'usine de fonderie métallurgique reste un secteur particulièrement accidentogène et à risque, il avait fait objet d'une réunion d'experts sur la santé et sécurité dans l'industrie du fer et de l'acier convoqué à Genève en février 2005

par le conseil d'administration du Bureau International du Travail (BIT); en vue d'élaborer et d'adopter un recueil des directives pratiques révisé sur la sécurité et santé dans l'industrie du fer et de l'acier (Fluck, 2016).

La fumée des alliages métalliques liquides est une émanation gazeuse plus ou moins colorée qui se dégage du four de cette industrie lors des procédés de la fusion et de la coulée de mélange en sable et noyau qui utilisent également des résines qui génèrent des substances toxiques; Ces émanations s'accompagnent de nombreux agents chimiques dangereux (silice cristalline, formaldéhyde, Hydrocarbures Aromatiques polycycliques, Fibres Céramiques Réfractaires). La nature de ces procédés expose les opérateurs à des risques des maladies respiratoires, hématologiques et cancérogènes (LES OPÉRATIONS and L'AFFINAGE, 2005).

Le rejet des particules des métaux lourds dans l'air est l'impact principal des activités minières sur la qualité de l'air. Les sautages, le concassage, le chargement et le transport par véhicules motorisés et par convoyeurs sont parmi les activités qui rejettent des particules dans l'air. Les mines à ciel ouvert, les amas de stériles, les parcs à résidus miniers et l'entreposage en tas peuvent devenir des sources de poussières amenées par le vent (ABID et al., 2006; Kalala et al., 2015).

Les transports et les générateurs d'électricité produisent aussi plusieurs contaminants de l'air, comme le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre et des gaz à effet de serre (Le Cong, 2007).

L'impact d'une mine sur la santé dépend de plusieurs facteurs: que la mine soit une mine souterraine ou à ciel ouvert; les méthodes d'extraction et de récupération; les systèmes de prévention et de contrôle de la pollution. En général, l'exposition aux substances toxiques est plus élevée dans les mines artisanales, suivi des mines souterraines. Dans les mines de métaux, les travailleurs sont exposés non seulement au métal exploité, mais aussi à d'autres substances comme les émissions de diesel, les brouillards d'huile, les explosifs, la silice, le radon et l'arsenic. Les expositions peuvent varier beaucoup entre l'environnement souterrain et en surface, et entre différents lieux souterrains (LES OPÉRATIONS and L'AFFINAGE, 2005).

Dans certaines mines où on utilise le mercure, les concentrations de mercure dans les cheveux, l'urine, le sang et autres tissus des miniers dépassent les critères pour la protection de la santé humaine. Les travailleurs des usines de traitement des minerais de cuivre, d'or, de plomb et d'antimoine peuvent être exposés à l'arsenic par inhalation (Miquel, 2001).

Parmi les missions de la Médecine du Travail, celles qui sont en relation avec les risques toxicologiques concernent: la surveillance de la santé des travailleurs et, tout particulièrement le dépistage des effets nocifs liés au travail (prévention des accidents du travail, des maladies à caractère professionnel) et l'étude des conditions de travail, des risques et des nuisances. Parmi les nombreuses substances auxquelles sont exposés les travailleurs, les métaux et leurs dérivés occupent une place importante, surtout dans notre province, le Haut-Katanga, une province à vocation principalement minière (Dupouy, 2018).

L'hémogramme est un examen essentiel à la surveillance biologique des travailleurs exposés aux hydrocarbures (Kouassi et al., 2016). Par ailleurs, les risques de troubles hématologiques et leurs aspects épidémiologiques chez les fondeurs d'une mine métallurgique n'étant pas encore très bien établis dans notre milieu, une étude bien élaborée sur ce sujet qui s'avère donc indispensable. Les travailleurs de la fonderie sont soumis à des nuisances physiques néfastes qui sont susceptibles d'engendrer des modifications physiologiques et fonctionnelles de l'organisme humain avec des répercussions sur le lendemain professionnel. D'où nous sommes intéressés à analyser les différentes modifications hématologiques en vue de proposer les mesures de préventions adéquates pour en réduire la morbi-mortalité. C'est ce qui sera notre contribution dans ce domaine car pareille étude n'a pas encore été réalisée dans notre milieu.

Ainsi, notre philosophie se propose un ensemble des questions relativement aux problèmes logiques et rationnels de ce domaine médical de santé au travail que nous aborderons. Dans le souci d'évaluer le risque du trouble d'hémogramme à la base de la répétition des mêmes complications (Anémie); la question principale de la présente étude est celle de savoir s'il existe une relation entre la survenue des troubles hématologiques, en particulier l'anémie et l'exposition à la fumée de la fonderie métallurgique.

1.2 PROBLÉMATIQUE

Les intoxications aux métaux lourds sont courantes dans le monde en général et dans la province du Haut Katanga et à Lubumbashi en particulier une province et ville de la RDC spécialisées en industries minières et métallurgiques (Musimwa, 2017).

Les accidents constituent une menace permanente dans les mines et carrières. Suivant les statistiques, ce secteur employant 1% de la main d'œuvre mondiale est responsable de 8% des accidents de travail, soit 15000AT/an (Musao, 2009; van der Merwe and Brugger, 2022).

Des études menées sur la bio surveillance de l'exposition aux métaux dans la ceinture de cuivre africaine, particulièrement au Katanga, une zone minière de la RD. Congo, révèle une exposition importante à plusieurs métaux. En outre, elles ont montré des concentrations urinaires des éléments traces métalliques anormalement élevées chez des personnes vivant dans les quartiers situés à moins de 3 km de voisinage des industries minières et métallurgiques du sud-est du Katanga. Les concentrations urinaires de cobalt trouvées dans la population du sud-est du Katanga ont été les plus élevées jamais rencontrées dans la population générale (Banza et al., 2018).

Cependant, il n'existe pas dans notre milieu une étude sur la relation entre l'exposition à la fumée d'une fonderie métallurgique et les anomalies hématologiques chez les fondeurs, ce qui nous a motivés à mener cette étude. L'évaluation des risques pour la santé humaine s'est révélée être un outil utile pour cerner la gravité de divers métaux toxiques.

1.3 OBJECTIFS

L'objectif général de cette étude est de comprendre la survenue des modifications hématologiques des travailleurs des fonderies minières et métallurgiques

Les objectifs spécifiques sont de:

- Déterminer la fréquence des troubles hématologiques chez les travailleurs de la fonderie métallurgique de la société de Transformation de fer de Lubumbashi.
- Identifier les modifications hématologiques les plus courantes comparativement à un groupe témoin,
- Apprécier la relation entre l'exposition à la fumée de la fonderie métallurgique et la survenue des modifications hématologiques
- Formuler les recommandations pour une réduction de la morbi-mortalité due aux anomalies et pour une protection des travailleurs.

1.4 HYPOTHESES DE LA RECHERCHE

Les nuisances environnementales du travail dans une fonderie métallurgique entre autres les risques chimiques induits par les gaz et vapeurs émanant de la fumée métallurgique seraient à la base de la survenue de l'anémie chez les fondeurs exposés.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 CADRE DE L'ÉTUDE

La recherche s'est déroulée dans la province du Haut-Katanga une province à caractère minières et industrielles et une densité de 30 hab./km². Son climat est du type tempéré au Sud, et chaud au Nord. La température moyenne varie entre 10°C et 40°C. Il est marqué par deux saisons: une saison sèche (d'avril à septembre) et une saison pluvieuse (d'octobre à avril).

2.2 TYPE ET PÉRIODE D'ÉTUDE

Il s'est agi d'une étude Cas-Témoins nichée dans une étude descriptive transversale qui s'est déroulée au mois de juillet 2024.

2.3 LIEU D'ÉTUDE

Cette étude a été effectuée dans la Société de transformation de fer de Lubumbashi créée en Juillet 2005 (Installation des premières machines). La Société est située dans la commune de Kampemba au quartier Industriel entre l'avenue de métallurgie et l'avenue savonnaire. La production du fer à béton, toute dimension est intervenue en septembre 2008; avec un investissement de 15 millions de dollars américains. Cette société emploie un personnel de plus de 300 travailleurs.

2.4 POPULATION D'ÉTUDE

Cette étude a été faite sur les agents de ladite société travaillant à la fonderie (au four) métallurgique depuis au moins 5 ans.

2.5 ECHANTILLON

L'échantillon a été exhaustif.

CRITÈRES D'INCLUSION

Tous travailleurs de sexe masculin adulte travaillant à la fonderie métallurgique de la Société de Transformation de Fer de Lubumbashi depuis au moins 5 ans, sans antécédent pathologique hématologique (Drépanocytose, Leucémie, Maladie cancéreuse) ni histoire de paludisme ou de fièvre typhoïde récente et ayant accepté de participer à l'étude après consentement libre et éclairé ont été pris en compte.

COLLECTE DES DONNEES

Nous avons collecté des données cliniques et biologiques qui sont rapportées à un questionnaire (fiche d'enquête).

MÉTHODES D'ANALYSE DE LABORATOIRE

La formule sanguine complète (hématologie complète) est réalisée avec un analyseur automate d'hématologie: HumaCount 30TS et de biochimie: Humastar 200 (Company: HUMAN diagnostics Worldwide Corporation, USA). L'urée et la créatinine sont mesurés avec un analyseur automatique Humastar 200, en utilisant respectivement les méthodes de colorimétrie enzymatique et cinétique à ultraviolets. Les résultats produits automatiquement en fonction de l'âge et bien d'autres paramètres sociodémographiques intégrés. Un contrôle de qualité est réalisé tout de suite après analyse électro photométrique automatique.

Les standards des valeurs d'héмограмme de ce laboratoire: International Modern Laboratory en sigle « IML » de Lubumbashi, sont universel et internationalement reconnus. (Voir Tableau Standards International-IML et Tableau Harrison).

Anomalies	Définition	Valeurs normales
Anémie	Taux d'hémoglobine <14g/dl	14-18
Lymphopénie	Taux des lymphocytes < 1300/mm ³	1.30-4.0 .10 ³
Microcytose	VGM<80fl	80.0-96.0
Macrocytose	VGM> 100 fl.	80.0-96.0
Normochromie	32 % <CCMH< 36 %	30.0-36.0
Hypochromie	CCMH <32 %	30.0-36.0
Leucopénie	Taux des leucocytes< 4.000/mm ³	3.8-10.8.10 ³
Thrombopénie	Taux des plaquettes< 150.000/mm ³	150.0-400.0.10 ³
Thrombocytose	Taux des plaquettes> 500.000/mm ³	150.0-400.0. 10 ³
Neutropénie	Taux des neutrophiles< 2.00/mm ³	2.50-7.50
Leucocytose	Taux des leucocytes> 10.000/mm ³	3.8-10.8.10 ³
Lymphocytose	Taux des lymphocytes> 4.000/mm ³	1.30-4.00.10 ³

LES STANDARDS D'HEMOGRAMME INTERNATIONAL DE « IML »: INTERNATIONAL MODERN LABORATORY / LUBUMBASHI

Héмограмme normal des sujets selon l'âge et sexe

Variations du taux d'hémoglobine et de l'hématocrite selon l'âge et au cours de la grossesse [Harrison 18 ^e Edition]		
Age/sexe	Hémoglobine (g /dl)	Hématocrite (p. 100)
A la naissance	17	52
Enfance	12	36
Adolescence	13	40
Adulte (homme)	16±2	47±6
Adulte (femme avant la ménopause)	13±2	40±6
Adulte (femme après la ménopause)	14±2	42±6
Grossesse	12±2	37±6

ANALYSE STATISTIQUE

L'analyse descriptive en faisant usage des mesures des tendances centrale telles que la moyenne et des mesures de tendances de dispersion tel que l'écart type. La saisie et l'analyse des données est faite à l'aide du logiciel SPSS 23 et Epi info version 7 du CDC/OMS et le traitement de texte par le logiciel Word 2016 et Microsoft Excel 2016. Logiciel Zotero nous aidé en générée les références.

CONSIDÉRATION ÉTHIQUE

Nous avons obtenu l'accord des dirigeants cadres et administratifs de la société métallurgique de Lubumbashi tout en gardant l'anonymat du nom de l'entreprise et des travailleurs. Ensuite nous avons demandé aux participants de fournir un échantillon de sang et dont la prise ou le prélèvement a été réalisé dans les conditions d'asepsie rigoureuse d'une ponction sanguine; pour éviter toutes contaminations biologiques humaines et/ou de l'échantillon. Des analyses ont été effectuées dans des laboratoires spécialisées, les résultats ont été communiqués à temps utiles et ne seront jamais rendu public.

Le questionnaire d'enquête était anonyme. Nous avons sollicité et obtenu le consentement éclairé, la participation volontaire; la sympathie; la confidentialité de chaque enquêté. En outre, nous avons garanti d'observer la confidentialité des données recueillies. Le traitement des données a respecté le principe le respect de la dignité de la personne humaine d'anonymat.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE L'ÉCHANTILLON

Au cours de cette recherche, 28 travailleurs (opérateurs) ou fondeurs dénommés exposés ont été répertoriés pour participer à l'étude. 23 d'entre eux ont répondu aux critères d'inclusion. Les 23 cas exposés ont été appariés à un groupe contrôle de 46 témoins non-exposés (1 cas pour deux témoins) travailleurs personnels soignants de l'Hôpital Sendwe, qui ont répondu aux critères des non exposés.

Tableau 1. Statistique de l'échantillon

	Effectif	Age min	Age max	Moyenne (\pm Ecart-type)
Exposés (E⁺)	23	24 ans	61 ans	39,39 ans \pm 9,06
Non Exposés (E⁻)	46	17 ans	54 ans	31,78 ans \pm 8,26
Echantillon total	69	17 ans	61 ans	34,32 \pm 9,21

Le tableau ci-haut résume la statistique de l'échantillon, l'âge minimum est de 24 ans, l'âge maximum de 61 ans avec une moyenne d'âge de 39,39 \pm 9,06 ans; pour les exposés. Le total de l'effectif retenu pour l'étude est 69 travailleurs, selon les critères prédéfinis pour ladite recherche.

Cette figure révèle une meilleure représentativité de la tranche d'âge allant de 32 à 40 ans qui a pris à elle seule 10 opérateurs fondeurs soit 43%, la tranche d'âge 40 – 48 ans, vient en deuxième position avec 6 cas, soit 26,09%.

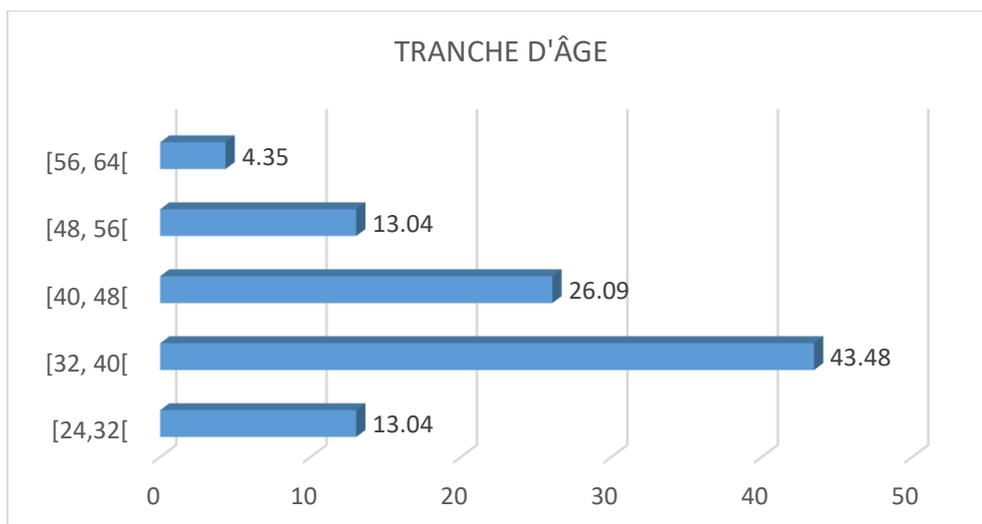


Fig. 1. Répartition des travailleurs fondeurs selon la tranche d'âge

Tableau 2. Distribution de l'échantillon des travailleurs fondeurs selon la durée d'exposition

Durée	Fréquence	Pourcentage (%)
< 5 ans [	11	47,83
[5-10 ans [	11	47,83
[10-15 ans [	1	4,35
Total	23	100

L'analyse du tableau ci-dessus montre qu'il existe une surreprésentation dans les classes des fondeurs dont la durée d'exposition est de 5 ans et celle de plus 5 à 10 ans de durée d'exposition des fondeurs soit 47 % de chaque.

L'analyse de ce diagramme montre une répartition en faveur de port requis des EPI (Obligatoire, qu'importe la qualité ou la nature) avec la proportion de 78%, contre 22 % de ceux qui ne portaient pas (car c'est inutile, pas efficace).

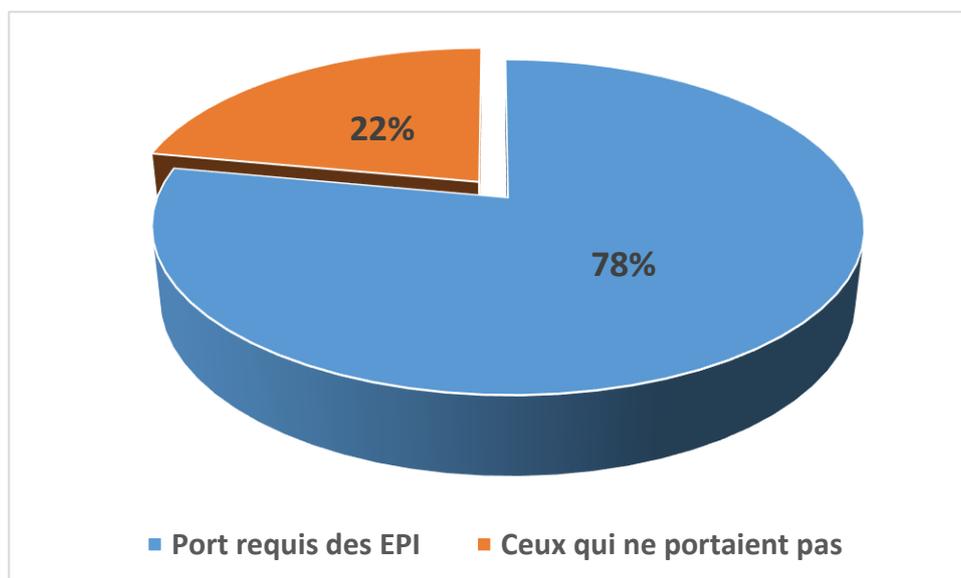


Fig. 2. Répartition des fondeurs selon le port requis (obligatoire) d'équipements de protection individuelle

L'analyse de ce diagramme montre une prédominance des opérateurs fondeurs portant des EPI adaptés à une proportion de 78% contre 22% avec EPI non-adaptés.

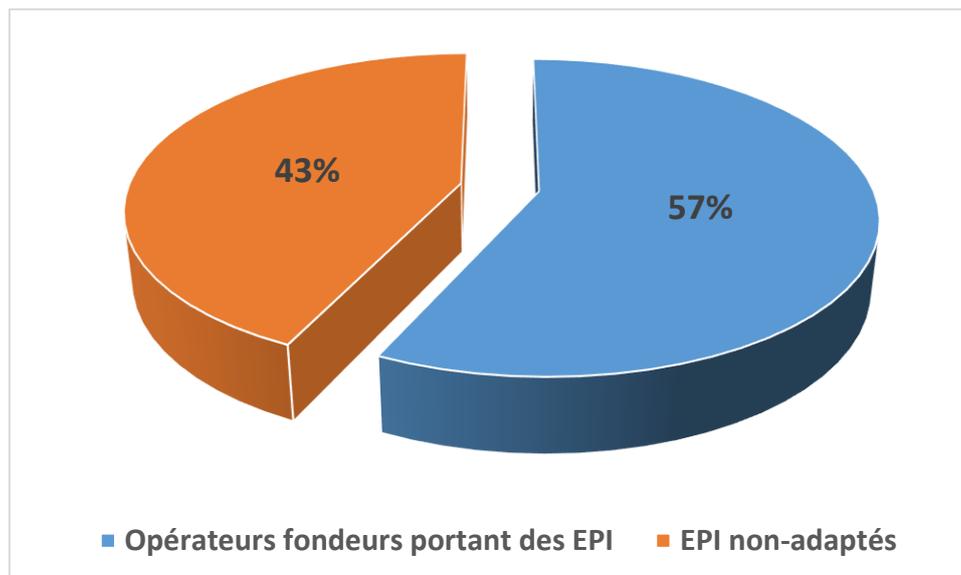


Fig. 3. Répartition des fondeurs selon le port d'équipements de protection individuelle adaptés ou non-adaptés

REPARTITION TRAVAILLEURS SELON LEURS PROFILS HEMATPLOGIQUES ET TROUBLES HEMATOLOGIQUES OBSERVES.

Tableau 3. Distribution des fondeurs selon les troubles hématologiques observés

Anomalies	Effectif (n=23)	Pourcentage (%)
Anémie	19	82,61
Leucopénie	10	43,48
Granulopénie	11	47,83
Lymphopénie	6	26,09
Thrombopénie	4	17,39
Thrombocytose	3	13,04
Microcytose	15	65,22
Hypochrome	1	4,35

Ce tableau montre les perturbations hématologiques chez les travailleurs fondeurs. 82,61% d'entre eux présentent une anémie associée à 65,22% d'une microcytose et 43,48% une leucopénie et 17,39% une thrombopénie.

Tableau 4. Distribution des fondeurs selon la gravité de l'anémie

Gravité de l'anémie (OMS)	Fréquence	Pourcentage (%)
Légère	16	84,21
Modérée	2	10,53
Sévère	1	5,26
Total	19	100

L'exploitation du tableau montre la prédominance de l'anémie légère (ou infra clinique) des opérateurs fondeurs avec une proportion de 84,21% contre une plus petite proportion d'anémie sévère, soit 1 seul cas d'anémie sévère 5,26%.

Tableau 5. Distribution des fondeurs selon le typage de l'anémie

Typage complet	Fréquence	Pourcentage (%)
Anémie légère microcytaire normochrome	12	63,16
Anémie légère normocytaire normochrome	4	21,05
Anémie modérée microcytaire normochrome	2	10,53
Anémie sévère microcytaire normochrome	1	5,26
Total	19	100

63,16% des fondeurs ont fait une anémie légère microcytaire normochrome, ensuite viens les anémies normocytaires normochromes.

Tableau 6. Distribution de l'anémie en fonction du procédé de travail et chauffage

	Présence de l'anémie			OR	IC	p
	Anémie	Pas d'anémie	Khi ²			
Chauffage (Coulée et Fusion)						
Non	16 (88,89)	2 (11,11)	19,02	19,20	[3,92 - 94,02]	0,00
Oui	15 (29,41)	36 (70,59)				

OR = 19,20; IC = [3,9208; 94,0223]; p = 0,0000129249

Travailler au poste de chauffage (coulée et fusion) d'une fonderie métallurgique est un facteur de risque de l'anémie. Les fondeurs travaillant au chauffage ont donc développé 19 fois plus d'anémie que le groupe contrôle avec un p=0,0000 présenté étude révèle une liaison (association) très significative.

Tableau 7. Distribution de l'anémie en fonction du procédé de travail et mélange

	Présence de l'anémie			OR	IC	p
	Anémie	Pas d'anémie	Khi ²			
Mélange						
Non	8 (66,67)	4 (33,33)	2,77	2,95	[0,79 - 10,97]	0,08
Oui	23 (40,35)	34 (59,65)				

OR = 2,9565; IC = [0,7964; 10,9763]; p = 0,089

L'exposition au poste de mélange est positivement associée à une anémie, mais cette association n'est pas statistiquement significative (p = 0,09).

Tableau 8. Distribution de l'anémie en fonction du procédé de travail et soudage

	Présence de l'anémie			OR	IC	p
	Anémie	Pas d'anémie	Khi ²			
Soudage						
Non	10 (83,33)	2 (16,67)	8,65	8,57	[1,71 - 42,91]	0,00
Oui	21 (36,84)	36 (63,16)				

OR = 8,5714; IC = [1,7120; 42,9146]; p = 0,00391808

Travailler au poste de Soudage d'une fonderie métallurgique est un facteur de risque de l'anémie. Les fondeurs travaillant au soudage ont donc développé 8 fois plus d'anémie que le groupe contrôle avec un p=0,003, présenté étude renseigne une liaison (association) très significative.

Tableau 9. Distribution des sujets en fonction du débit de filtration glomérulaire estimé

Fonction rénale	Fréquence	Pourcentage
DFG légèrement diminué	33	48,53
DFG normal	34	50,00
Insuffisance rénale chronique modérée	1	1,47
Total	68	100

50% des sujets avaient une fonction rénale altérée et 50% avaient un DFGe conservé.

Tableau 10. Distribution des travailleurs en rapport avec le débit de filtration glomérulaire estimé

M ⁺ /M ⁻ E ⁺ /E ⁻	Fonction rénale					
	DFGe Itéré	DFGe normal	Khi ²	OR	IC	p
Débit de filtration glomérulaire estimé						
Exposés (Fondeurs)	14 (60,87)	9 (39,13)	1,64	1,94	[0,69 – 5,40]	0,15
Non exposés (groupe contrôle)	20 (44,44)	25 (55,56)				

OR = 1,9444; IC = [0,6989; 5,4097]; p = 0,152.

L'exposition est positivement associée à une baisse du DFG, mais cette association n'est pas statistiquement significative (p = 0,15).

3.1.1 RESULTATS D'ANALYSES EXPOSÉS (FONDEURS) / NON-EXPOSÉS (GROUPE CONTROL)

Tableau 11. Distribution des sujets en fonction de l'anémie

M ⁺ /M ⁻ E ⁺ /E ⁻	Fonction rénale					
	Anémie	Pas d'anémie	Khi ²	OR	IC	p
Débit de filtration glomérulaire estimé						
Exposés (Fondeurs)	19 (82,61)	4 (17,39)	19,79	13,45	[3,80 - 47,59]	0,00
Non exposés (groupe contrôle)	12 (26,09)	34 (73,91)				

ODDS RATIO (OR) = 13,4583, IC = [3,8053; 47,5991], p = 0,000008

L'exposition à la fumée d'une fonderie métallurgique est un facteur de risque de la survenue de l'anémie. Les fondeurs ont donc développé 13 fois plus d'anémie que le groupe contrôle avec un p=0,000008, présentée étude révèle une liaison (association) très significative.

Tableau 12. Distribution des sujets en rapport avec la durée d'exposition

Durée	Présence de l'anémie		
	Anémie	Pas d'anémie	Total
< 5 ans	9	2	11
[5, 10[	10	1	11
[10, 15[	0	1	1
TOTAL	19	4	23

$\chi^2 = 5,2823$; ddl = 2; p-value = 0,0713

La durée d'exposition est corrélée à l'apparition de l'anémie. Mais dans le cas de cette étude l'association n'est pas statistiquement significative. (Cause: faible représentativité des travailleurs à fortes expositions, faible échantillonnage).

Tableau 13. Calcul de la relation dose-effet en rapport avec la faible, moyenne et forte exposition

	M ⁺	M ⁻		M ⁺	M ⁻		M ⁺	M ⁻
E ₁	9	2	E ₂	10	1	E ₃	0	1
E ₀	12	34	E ₀	12	34	E ₀	12	34

OR = 13,4583; IC = [4,204; 42,2170]; p = 0,0000070

NB: E₀: non-exposés; E₁: Faible exposition (< 5ans); E₂: Exposition moyenne (5 à 10 ans); E₃ = Forte exposition (≥ 10 ans); M⁺: anémique; M⁻: non anémique.

En calculant l'OR en fonction du niveau d'exposition nous avons mis en évidence une relation dose-effet. Plus l'exposition est importante, plus l'anémie est présente. Avec un p = 0,0000070 présentée étude renseigne une liaison (association) très significative.

Tableau 14. Comparaison du taux moyen d'hémoglobine dans les deux groupes

	Obs	Moy	Variance	Ecartype
Exposés (Fondeurs)	23	12,5261	12,5261	2,0215
Non exposés (Groupe Contrôle)	46	14,1065	14,1065	2,1685

ANOVA TEST: P-value = 0,00480

Mann-Whitney/Wilcoxon Test:

χ² = 13,2248; ddl = 1; p-value = 0,0003

Le taux moyen d'hémoglobine diffère entre les deux groupes, et que, les sujets exposés à la fumée de la fonderie métallurgique ont un taux moyen diminué et inférieur à la normale (12,5mg% ± 2,0). La comparaison des variances (ANOVA TEST) et la comparaison des moyennes (Mann-Whitney/Wilcoxon Test) montrent qu'il y a une différence statistiquement significative.

Tableau 15. Comparaison du taux moyen d'hématocrite dans les deux groupes

	Obs	Moy	Variance	Ecartype
Exposés (Cas)	23,0000	37,5039	41,3620	6,4313
Non exposés (Témoins)	46,0000	42,0839	42,2687	6,5014

ANOVA TEST: P-value = 0,00728

Mann-Whitney/Wilcoxon Test:

χ₂ = 11,1237; ddl = 1; P value = 0,0009

Le taux d'hématocrite est différent entre les deux groupes, et les sujets exposés à la fumée de fonderie métallurgique ont un taux moyen inférieur à la normale (37,50 ± 6,43). La comparaison des variances (ANOVA TEST) et la comparaison des moyennes (Mann-Whitney/Wilcoxon Test) montrent qu'il y a une différence statistiquement significative.

Tableau 16. Distribution des sujets en fonction de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine

M ⁺ /M ⁻ E ⁺ /E ⁻	ANÉMIE (CCMH)		Total
	HYPOCHROME	NORMOCHROME	
Exposés (Fondeurs)	1	18	19
Non exposés (Groupe Contrôle)	1	13	14
TOTAL	1	31	33

OR = 0,7368; IC = [0,0503; 10,7955]; p = 0,82

L'exposition est négativement associée à hypochromie, mais cette association n'est pas statistiquement significative (p = 0,82).

Tableau 17. Distribution des sujets en fonction du volume globulaire moyen

M ⁺ /M ⁻ E ⁺ /E ⁻	ANÉMIE (CCMH)		Total
	MICROCYTAIRE	NORMOCYTAIRE	
Exposés (Fondeurs)	15	4	19
Non exposés (Groupe Contrôle)	8	6	14
TOTAL	15	4	19

OR = 2,8125; IC = [0,6098; 12,9720]; p = 0,17

L'exposition est positivement associée à la microcytose (anémie microcytaire), mais cette association n'est pas statistiquement significative (p = 0,17).

Tableau 18. Comparaison du taux moyen de leucocytes dans les deux groupes

	Obs	Moy	Variance	Ecartype
Exposés (CAS)	23,0000	4295,2174	1856935,1779	1362,6941
Non exposés (Témoins)	46,0000	5264,3261	9754926,6691	3123,2878

ANOVA TEST: P-value = 0,16081

Mann-Whitney/Wilcoxon Test:

$X_2 = 1,6369$; ddl = 1; P value = 0,2008

Concernant la ligné blanche, il n'y a pas des différences notables entre les 2 groupes. (Valeurs moyennes). Le facteur d'exposition ne semble pas avoir une grande influence sur la perturbation du taux leucocytaire.

Tableau 19. Comparaison du taux moyen d'érythrocytes dans les deux groupes

	Obs	Moy	Variance	Ecartype
Exposés (Cas)	23,0000	4457826,0870	904408695652,1740	951004,0461
Non exposés (Témoins)	46,0000	4967719,1304	1603555362168,1200	1266315,6645

ANOVA TEST: P-value = 0,09314

Mann-Whitney/Wilcoxon Test: $X_2 = 6,7108$; ddl = 1; P value = 0,0096.

La valeur moyenne érythrocytaire est différente entre les deux groupes, (Moyenne = [4,45 ± 0,95]) et la comparaison des moyennes (Mann-Whitney/Wilcoxon Test) montre qu'il y a une différence statistiquement significative.

4 DISCUSSION

La présente étude n'a certes pas recruté la totalité des cas des travailleurs de la fonderie métallurgique. Néanmoins sur 28 fondeurs, 23 ont répondu aux critères d'inclusions.

La fumée métallurgique est une émanation gazeuse contenant des substances toxiques cumulatives qui affectent plusieurs systèmes de l'organisme, notamment les systèmes hématologique, gastro-intestinal, neurologique, cardiovasculaire et rénal. Cette fumée métallurgique est l'un de facteurs qui introduisent dans l'environnement les métaux lourds toxiques.

La toxicité de certains de ces métaux non essentiels, dont le cadmium (Cd), le plomb (Pb), et le mercure (Hg), est reconnue, même à de très faibles concentrations. Cette toxicité est renforcée par un phénomène de concentration dans l'organisme qu'on appelle bioaccumulation. Dans plusieurs études menées sur des travailleurs, l'exposition aux métaux lourds dans l'air a été associée à une augmentation de la mortalité causée par le cancer du poumon.

Le Cd, le Pb et le Hg seraient considéré comme des métaux les plus préoccupants pour la santé humaine et constitue un problème majeur de santé publique dans le monde professionnel et environnemental.

Les résultats des aspects hématologiques et durée d'exposition de cette étude ont montré des troubles hématologiques chez les travailleurs fondeurs évalués à 82,61% de fondeurs qui ont présenté une *anémie* associée à 65,22% d'une *microcytose* avec 43,48% ayant présenté une leucopénie et 17,39% ont présenté une thrombopénie; cette investigation rejoint l'étude de

(Haefliger et al., 2009) dans sa recherche sur l'intoxication massive liée à l'usage et au recyclage informels de l'acide des batteries à Dakar au Sénégal; qui trouve aussi que la plupart (80%) des 50 enfants étudiés étaient anémiques et la moitié d'entre eux présentaient une *anémie microcytaire* caractérisée par des altérations de l'hémoglobine, de l'hématocrite et du volume globulaire. Il renchérit en disant que parmi les adultes, 13% avaient développé une anémie et 10% une *anémie microcytaire*. Cette coïncidence serait probablement justifiée par le type d'anémie causée par l'intoxication à l'exposition aux émanations contenant des métaux lourds.

Les taux moyens d'hémoglobine, d'hématocrite et des globules rouges (érythrocytes) diffèrent entre le groupe test et le groupe des témoins, et que, les sujets exposés à la fumée de la fonderie métallurgique ont des taux moyens diminués et inférieurs à la normale ($12,5\text{mg}\% \pm 2,0$); ($37,50 \pm 6,43$) et ($4,45 \pm 0,95$): respectivement pour l'hémoglobine, l'hématocrite et les globules rouges (érythrocytes). La comparaison des variances (ANOVA TEST) et la comparaison des moyennes (Mann-Whitney/Wilcoxon Test) montre *qu'il y a une différence statistiquement significative*; le résultat évoque par ailleurs que plus l'exposition est importante, plus l'anémie est présente avec un **OR** = 13,4583; **IC** = [4,204; 42,2170]; **p** = 0,0000070; bien plus que la durée d'exposition est corrélée à l'apparition de l'anémie. Mais dans le cas de cette étude l'association n'est pas statistiquement significative. Nous osons dire que le manque d'association serait lié à la faible représentativité des travailleurs à fortes expositions (C à d: expositions de plus de 15 ans) du fait de la faible taille de l'échantillon d'étude.

Ces événements corroborent avec les travaux de (Falodun et al., 2019). À *Cross River State, Nigeria*, dont les résultats obtenus ont montré que chez les hommes et les femmes, le nombre de globules rouges ($106 / \text{mm}^3$) était significativement réduit ($p < 0,001$) chez T1 ($4,4 \pm 0,13$) et T2 ($3,85 \pm 0,07$) par rapport au groupe témoin ($4,76 \pm 0,01$). Il y avait une diminution significative ($p < 0,01$) de la numération des globules blancs, de l'hématocrite, de la concentration en hémoglobine, de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (MCHC) dans les groupes de test par rapport au groupe témoin. Il y avait aussi une diminution significative ($p < 0,001$) de l'hémoglobine corpusculaire moyenne (MCH) et du volume corpusculaire moyen (MCV). Il affirme davantage que la plupart des sujets exposés pendant plus de deux ans de durée, présentaient des valeurs de nombre de globules rouges, de concentration en hémoglobine et d'hématocrite significativement plus faibles ($p < 0,001$) que ceux exposés depuis moins de deux ans, lors d'une exposition aux gaz et vapeurs de pétrole. Ces résultats indiquent que les émanations gazeuses de pétrole entraînent une réduction des indices hématologiques qui empire avec une exposition prolongée.

Quant aux aspects concernant le procédé de travail: Chauffage, Coulée, Fusion, Mélange, chez l'humain, on a signalé de nombreux cas d'intoxication aiguë à la suite d'inhalation de concentrations élevées de cadmium (Cd) ou de fumées d'oxyde de cadmium (CdO) ou de sulfate de Cd (CdS) pendant les opérations de la fusion ou la coulée du Cd.

Nos résultats ont montré que travailler au poste de chauffage (coulée et fusion) d'une fonderie métallurgique est un facteur de risque de l'anémie. Les fondeurs travaillant au chauffage ont donc développé 19 fois plus d'anémie que le groupe contrôle avec un $p = 0,00001$ et un **IC** = [3,9208; 94,0223]; Une autre étude réalisée chez des personnes ayant travaillé pendant au moins un an dans une fonderie ou une fabrique de batteries avait montré une proportion plus élevée de décès par le cancer de sang et de l'appareil respiratoire. Par ailleurs Fernandez *et al*, en 1996 ont estimé que la mortalité, dans les cas d'intoxication sévère par les fumées de CdO, survient à 15-20% dans les 3 jours suivant l'exposition.

La littérature confirme que les intoxications aiguës ou chroniques liées aux vapeurs et fumées émises dans les procédés de chauffage, coulée, fusion et moulage en sable génèrent des affections respiratoires et troubles hématologiques préoccupantes pour les fondeurs avec la possibilité d'apparition de cancers.

Concernant les ports des équipements de protection (EPI), l'analyse montre une prédominance des opérateurs fondeurs portant des équipements de protection individuel (EPI) adaptés avec une proportion de 57% contre 43% avec port d'équipements de protection (EPI) non-adaptés. (Millet et al., 2010) confirment qu'en milieu professionnel, l'inhalation est sans doute la voie principale d'absorption des toxiques (Cd, Pb) bien que l'ingestion puisse jouer un rôle non négligeable quand les travailleurs ne respectent pas les règles d'hygiène et le port requis d'équipements de protection individuel (manger et fumer avec les mains contaminées).

La consommation du tabac à la cigarette n'est pas statistiquement associée à l'apparition de l'anémie chez les travailleurs. La littérature affirme semble-t-il que le tabac à la cigarette potentialise et double le taux sanguin de toxiques émis par les vapeurs et fumée de la fonderie. Dans une autre étude de Nandi et al, on a observé qu'une partie de Cd présent dans le tabac se trouve dans la fumée.

Il a été estimé que le fait de fumer 20 cigarettes par jour augmenterait la concentration systémique de 1.2 à 7 fois celle mesurée chez un individu non-fumeur ayant le même apport de Cd via les autres sources.

Il n'est dès lors pas étonnant que les fumeurs accumulent plus de Cd dans les reins, le foie et les poumons que les non-fumeurs. On a d'ailleurs suggéré que le Cd serait en partie responsable de l'action toxique de la fumée de tabac sur les poumons (Snider Jr, 1980) et que les sujets décédés de bronchite chronique ou d'emphysème ont plus de Cd stocké dans le foie que les sujets décédés d'autres causes.

Cette différence des résultats avec notre recherche serait liée du fait que les travailleurs ne voulaient aucunement passer aux aveux volontaires lors de questionnement; ceci pourrait biaiser la fiabilité de l'enquête sur le point concernant le tabagisme.

L'exposition est positivement associée à une baisse du DFGe, mais cette association n'est pas statistiquement significative ($p = 0,19$). Contrairement à la littérature qui stipule qu'il n'est pas rare de voir les atteintes rénales avec une baisse du débit de filtration glomérulaire chez les sujets en hypovolémie consécutive à un état de déshydratation par manque désaltération. Cette étude trouve que l'association n'est pas significative ceci pourrait être le contraste d'une part de la présence des points de fontaines d'eau pour se désaltérer dans les habitudes des certains et d'autres parts de l'effet de la soif intense ressentie à la fonderie et qui justifierait une hypovolémie et par ricochet une hypoperfusion glomérulaire qui va entraîner à son tour une baisse du débit de filtration glomérulaire (DFGe).

5 CONCLUSION

Au terme de ce travail; on peut conclure que les problèmes environnementaux et professionnels en RD. Congo, dans la province industrielle et minière du Haut-Katanga, particulièrement dans la ville de Lubumbashi ne cessent de croître. Les travailleurs, surtout ceux opérant dans les secteurs minier et industriel en particulier dans les fonderies, sont régulièrement exposés à de nombreuses nuisances toxiques tant physiques que chimiques notamment les fumées et vapeurs des fours métallurgiques, d'où émanent des substances qui peuvent provoquer des anomalies de nombreux tissus et organes parmi lesquelles figurent les anémies et autres troubles hématologiques, respiratoires et carcinogènes.

A l'issue des résultats ci-dessous:

- L'inventaire du profil hématologique des travailleurs exposés indique que les émanations de fumée entraînent une altération ou diminution des indices hématologiques, et démontre leur association dans l'exposition prolongée et le port des équipements de protection individuel non-adaptés.
- Par ailleurs, certains opérateurs fondeurs négligent voire ne disposent pas des mesures de prévention adéquates entre autres les respirateurs et/ou les masques à gaz, les tenues de protection (tablier, cache poussière...); des gants et ne se lavent à la fin du travail; ceci participent dans l'éclosion des futures maladies professionnelles.

SUGGESTIONS

- Au Ministère du travail, emploi et prévoyance social et celui de la Santé Publique, de faire sienne les présentes données pour affermir et de rendre rigoureux les nouveaux programmes des inspections du travail, en vue de réduire la morbi-mortalité des maladies professionnelles aussi d'améliorer la liste du tableau, qui jusqu'à ces jours stagne à seulement 16 maladies professionnelles.
- Aux médecins du travail et futures médecins du travail, aux animateurs de la prévention, santé, sécurité, hygiène et embellissement des lieux de travail, d'assurer la prévention médicale qui devra mettre un accent sur le dépistage des perturbations hématologiques infra cliniques réversibles avec la prescription de l'arrêt de l'exposition des travailleurs et de la population environnante, mais aussi de renforcer l'information, l'éducation et le changement de comportements au sujet de la santé et sécurité au travail.
- Aux dirigeants d'entreprises, d'engager la société conformément aux dispositions légales,
- À assurer un service médical d'entreprise (SM) à ses travailleurs. Ce service qui a un rôle essentiellement préventif et aura pour mission d'assurer:
 - La surveillance médicale des travailleurs et la surveillance sanitaire des lieux de travail;
 - Les secours immédiats et soins d'urgence aux victimes d'accident ou d'indisposition.
- À organiser un service spécial se Sécurité, d'Hygiène et Embellissement des lieux de travail (SHE). Ce service aura pour mission d'assurer:
 - La surveillance des techniques des travailleurs et la surveillance sanitaire des lieux de travail;
 - L'animation et formation générale des travailleurs.

- La société devra s'engager, conformément aux prescriptions légales, à constituer un Comité de Sécurité, d'Hygiène et d'Embellissement des lieux travail, qui a pour mission de:
- Concevoir, corriger et d'exécuter la politique de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles;
- Stimuler et de contrôler le bon fonctionnement des Services de Sécurité et de Santé au travail.
- Enfin, à l'attention des acteurs de la santé et sécurité au travail en leurs titres et qualités respectifs; qu'ils devront se ménager pour équiper les fonderies des mesures de préventions collectives en leurs dotant des fours modernisés conçus avec hôtes minus des filtres aspirateurs ou capteurs des fumées, des gaz et vapeurs toxiques émanant de ces industries potentiellement dangereuses pour l'environnement et la santé humaine.

REFERENCES

- [1] ABID, M.Y., AISSA, L.B., TLIG, S., 2006. l'Impact des rejets miniers sur la qualité des eaux et des sédiments encaissants du Barrage de Sidi el Barrak (Région de Nefza Nord-Ouest Tunisien).
- [2] Aya, K., Mansouri Narimane, M.C., 2021. Bio-accumulation des métaux lourds (cas du chlorure de baryum) par des souches fongiques isolées et identifiées à partir du lac Oubeira (Nord-Est de l'Algérie). 9–12.
- [3] Banza, C.L.N., Ngwe, J.T.M., Mwembo, A.N.-A.-N., Kalenga, P.M.K., 2018. Exposition de l'homme aux éléments traces métalliques et altération du sperme: étude menée dans les zones minières du Haut-Katanga en République Démocratique du Congo. *Pan Afr. Med. J.* 30.
- [4] De Giudici, P., Guillam, M.T., Segala, C., 2011. Microbiologie et déchets—évaluation des risques sanitaires.
- [5] De Giudici, P., Guillam, M.-T., Ségala, C., Keck, G., 2013. Évaluation des risques sanitaires microbiologiques dans les filières déchets: compostage et épandage de boues résiduaires. *Environ. Risques Santé* 12, 422–433.
- [6] Dupouy, B., 2018. La médecine du travail: étude juridique au service d'une meilleure prévention des risques professionnels (PhD Thesis).
- [7] Falodun, O.E., Obadele, B.A., Oke, S.R., Okoro, A.M., Olubambi, P.A., 2019. Titanium-based matrix composites reinforced with particulate, microstructure, and mechanical properties using spark plasma sintering technique: a review. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 102, 1689–1701. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-03281-x>.
- [8] Fluck, P., 2016. Sainte-Marie-aux-Mines, Steinbach, Wegscheid, Sewen, Oberbruck (Haut-Rhin). Mines et métallurgie des non-ferreux dans les Vosges d'Alsace, du haut Moyen Âge au xviii^e s. *Archéologie Médiév.* 309–310.
- [9] GUEBLI, R., 2023. La variabilité de métaux lourds du sol planté par des espèces halophytes dans la région Nord de Tébessa (PhD Thesis). Université Echahid Chikh Larbi Tébessi-Tébessa.
- [10] Haefliger, P., Mathieu-Nolf, M., Locicero, S., Ndiaye, C., Coly, M., Diouf, A., Faye, A.L., Sow, A., Tempowski, J., Pronczuk, J., Junior, A.P.F., Bertolini, R., Neira, M., 2009. Mass Lead Intoxication from Informal Used Lead-Acid Battery Recycling in Dakar, Senegal. *Environ. Health Perspect.* 117, 1535–1540. <https://doi.org/10.1289/ehp.0900696>.
- [11] Kalala, S.K., Mwanga, B.M., Kanyama, P.K., Mubemba, M.M., 2015. Impact des rejets miniers liquides de l'usine Chemical of Africa (CHEMAF) en activité sur la qualité des eaux souterraines au Quartier Tshamilemba à Lubumbashi (Katanga/RD Congo) [Impact of liquid tailings of Chemical Plant of Africa (CHEMAF) in activity on groundwater quality in the area Tshamilemba in Lubumbashi (Katanga/DR. Congo)] 2–7.
- [12] Khayra, M.Z., 2017. L'EFFET ANTIOXYDANT DE QUELQUES PLANTES MÉDICINALES SUR LA NEUROTOXICITÉ ET LES MALADIES NEURODÉGÉNÉRATIVES DUES AUX MÉTAUX LOURDS (ALUMINIUM ET PLOMB): «ÉTUDE EXPÉRIMENTALE CHEZ LA SOURIS» 6–13.
- [13] Kouassi, Y.M., Aka, I.N.A., Nigue, L., Tchicaya, A.F., Curney, A.L.T., Kouadio, Y.A., Guiegui, C.P., Koffi, K.G., Bonny, J.S., 2016. Hematological profile of a refining company's workers in Abidjan. *Médecine Afr. Noire* 63, 613–621.
- [14] Le Cong, T., 2007. Etude expérimentale et modélisation de la cinétique de combustion de combustibles gazeux: Méthane, gaz naturel et mélanges contenant de l'hydrogene, du monoxyde de carbone, du dioxyde de carbone et de l'eau (PhD Thesis). Orléans.
- [15] Lemita, L., 2022. Hépto-toxicité mixte par le spinosad et le plomb et effet protecteur des huiles essentielles du fenouil chez le rat wistar (PhD Thesis).
- [16] LES OPÉRATIONS, D.F.E.D., L'AFFINAGE, A.L.F.E., 2005. Chapitre 82-La transformation et le travail des métaux 5–8.
- [17] Millet, G.P., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X., Richalet, J.P., 2010. Combining Hypoxic Methods for Peak Performance: *Sports Med.* 40, 1–25. <https://doi.org/10.2165/11317920-000000000-00000>.
- [18] Miquel, G., 2001. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.
- [19] Musao, J.K., 2009. La problématique de l'exploitation minière artisanale dans la province du Katanga (cas du district de Kolwezi). *Mém. Licence En Sociol. Ind. Inst. Supér. D'Etudes Soc.*

- [20] Musimwa, M.A., 2017. Malnutrition chez l'enfant de moins de 5 ans à Lubumbashi et ses environs Approche épidémioclinique et biochimique dans un milieu minier (PhD Thesis). Université de Lubumbashi.
- [21] Romdhane, S.B., 2017. Effets du climat et de la pollution de l'air sur la santé respiratoire à Tunis (PhD Thesis). Université Sorbonne Paris Cité; Université des lettres, arts et sciences...
- [22] Sabouraud, S., Coppéré, B., Rousseau, C., Testud, F., Pulce, C., Tholly, F., Blanc, M., Culoma, F., Facchin, A., Ninet, J., 2009. Intoxication environnementale par le plomb liée à la consommation de boisson conservée dans une cruche artisanale en céramique vernissée. *Rev. Médecine Interne* 30, 1038–1043.
- [23] Snider Jr, D.E., 1980. Pyridoxine supplementation during isoniazid therapy. *Tubercle* 61, 191–196.
- [24] van der Merwe, A., Brugger, F., 2022. ÉTUDE DE CAS: LE CYCLE DE VIE DES APPAREILS NUMÉRIQUES: DE L'EXPLOITATION MINIÈRE AUX DÉCHETS ÉLECTRONIQUES. *Coop. Pour Dév. 2021 Pour Une Transform. Numér. Juste Pour Une Transform. Numér. Juste* 233.