

Pollution mercurielle et risques sanitaires : Etat des lieux bassin-sud du Bénin

Nouyélon Brunice Nadia AZON¹⁻², Hermione DEGILA¹, Peace HOUNKPE¹, Julien ADOUNKPE¹, Hountonho Espérance J. DEGUENON¹, and Martin Pépin AINA¹⁻²

¹Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau (LSTE)/ Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi (UAC),
01 BP 2009 Cotonou, Benin

²Laboratoire de Surveillance Environnementale, Cotonou, Benin

Copyright © 2019 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: Mercury is a metal whose physical, chemical and toxicological characteristics make it one of the most monitored metals in the world today. The Republic of Benin is certainly not industrialized; however, it presents risks of contamination of its ecosystems by mercury. This publication, as a prelude to research work on the mercury pollution of rivers in the Republic of Benin, takes stock of existing work relating to the said pollution of the waters of the southern Benin basin. It highlights some scientific work on mercury pollution in surface water, as well as plausible sources of contamination. It is apparent from publications that have addressed the issue that mercury pollution of soils and waters, with their sources, has reached disturbing limits. In fact, the use of pesticides in the cotton basin of Benin has caused mercurial pollution of the soil from 22.3 to 33 ppb. As for surface water, a mercury pollution of the order of 181.2 to 616.9 $\mu\text{g} / \text{L}$, was obtained against 6 $\mu\text{g} / \text{L}$ recommended by WHO.

KEYWORDS: mercury, mercury pollution, toxicity, aquatics ecosystems.

RÉSUMÉ: Le mercure est un métal dont les caractéristiques physiques, chimiques et toxicologiques font de lui l'un des métaux les plus surveillés présentement au monde. La République du Bénin n'est certes pas industrialisée, cependant, elle présente des risques de contamination de ses écosystèmes par le mercure. La présente publication, en prélude à un travail de recherche de la pollution mercurielle des cours d'eau de la République du Bénin, fait le point des travaux existants relatifs à ladite pollution des eaux du bassin sud du Bénin. Elle met en exergue quelques travaux scientifiques menés sur la pollution mercurielle dans les eaux de surface, de même que les sources plausibles de la contamination. Il ressort des publications ayant abordé la question que des pollutions par le mercure des sols et des eaux, assortis de leurs sources ont atteint des limites inquiétantes. En effet, l'utilisation des pesticides dans le bassin cotonnier du Benin a engendré une pollution mercurielle des sols de 22,3 à 33 ppb. Quant aux eaux de surface, une pollution mercurielle de l'ordre de 181.2 à 616.9 $\mu\text{g}/\text{L}$, a été obtenue contre 6 $\mu\text{g}/\text{L}$ recommandée par l'OMS.

MOTS-CLEFS: Mercure, pollution mercurielle, toxicité, écosystèmes aquatiques.

INTRODUCTION

Connu depuis l'antiquité sous le nom de « Vif argent », le mercure a fait l'objet de nombreuses utilisations notamment dans les domaines tels que la métallurgie, la médecine, la cosmétologie, l'alchimie, la bijouterie et l'orpaillage [1]. Ces différents usages, comme toutes activités anthropiques ne sont pas sans conséquences sur les êtres vivants en général et en particulier sur l'homme. L'histoire révèle que l'utilisation du mercure a causé de multiples cas de maladies et de décès depuis les chapeliers au XIX^{ème} siècle en passant par les catastrophes de Minamata, de l'Irak et de l'Amazonie au XX^{ème} siècle, lieux où des cas de mort d'hommes se sont révélés importants et préoccupants ([1], [2]). L'utilisation de sels de mercure par exemple,

pour le lissage des poils d'animaux en vue de production de chapeau a entraîné des troubles de comportement chez des chapeliers c'est le cas du chapelier fou de Alice in Wonderland de Lewis Carrol [2]. Au Japon, en 1956 la consommation des produits de mer contaminés par le méthylmercure entraîna la maladie de Minamata, cause d'environ 1200 morts ([1], [3]). En effet, sous sa forme organique (méthylée), le métal a la capacité de persister sans être éliminé chez les organismes, il reste stocké dans les graisses et tissus (bioaccumulation) et entraîne ainsi une bioamplification d'un organisme à un autre, le long de la chaîne alimentaire [4]. C'est d'ailleurs la forme la plus toxique de métal ([1], [2], [5]). En 1971 en Irak, l'utilisation excessive de pesticides à base de mercure cause la mort de près de 6000 personnes par empoisonnement ([1], [2]). De nos jours, les populations souffrent encore de la contamination au mercure en Amazonie [4], au Canada [6], au Sénégal [5].

Du fait de son pouvoir toxique, le mercure a été reconnu comme étant un produit particulièrement dangereux par de multiples organismes sur le plan international tels : le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), l'Union Européenne (UE), l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), Environnement Canada, la Commission européenne ou l'Agence américaine de protection de l'environnement etc. ([1], [7]).

Des mesures se sont succédées pour réduire et endiguer la menace que représente le métal. Ainsi des Réseaux ont été créés au niveau national voir continental : le CAMNET (Réseau Canadien de mesure du mercure Atmosphérique) au Canada, le réseau EMEP (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the long-range Transmission of Air Pollutants in Europe), le GMOS (Global Mercury Observing System) en Europe [1]. Sur plan mondial, le PNUE a initié en 2002 une « évaluation mondiale du mercure » et reconnaît à travers son rapport 2003 la nuisance que représente le mercure pour l'environnement ainsi que de la nécessité de prise des mesures strictes pour la réduction des émissions [1]. Dans ce cadre, la convention de Minamata du 10 octobre 2013, suite aux différents travaux du PNUE ; engage tous les pays signataires à une action commune visant la protection de la santé humaine et de l'environnement contre les émissions et les rejets anthropiques du mercure et de ses composés[8]. Ceci constitue un défi majeur dans la plupart des pays en développement dont le Bénin, pays signataire de la convention depuis 2016.

Pour réduire au mieux et si possible stopper une telle pollution, il s'avère indispensable avant toute chose de faire un état des lieux, d'identifier les sources plausibles de contamination, si elle existe et par la suite, de comprendre et de maîtriser les mécanismes et les conditions de transformation du mercure en sa forme méthylée. Ainsi en Afrique du nord, plusieurs travaux effectués indiquent que la pollution du mercure est notamment liée aux activités d'exploitation minière, c'est le cas en Algérie [9], en Tunisie. [10] etc. et aux rejets industriel et urbain au Maroc [11]. En Afrique sub-saharienne, des études ont révélé des contaminations au mercure au niveau des sites d'extraction artisanale de l'or [4], dans les écosystèmes lacustres [12], du fait du rejet en leurs seins des effluents urbains, et hospitaliers.

Au Bénin, les études ont montré que le mercure provient principalement des herbicides et des fongicides utilisés en agriculture et des effluents issus des sites d'extraction artisanale de l'or dans le nord du pays [13]. Au sud du pays la présence du mercure dans les eaux de surfaces est surtout liée au déversement des ordures dans ses écosystèmes aquatiques [14]. En outre l'inventaire national sur le mercure au Bénin, vient renforcer les connaissances sur la contamination du métal, en mettant en exergue, la contribution des produits commerciaux contenant du mercure. Ainsi le présent travail a pour but de présenter dans un seul et même document les différentes sources d'émissions du mercure au Bénin ainsi que l'état actuel de la pollution tout en relevant les probables risques sanitaires que court la population béninoise et les besoins en investigation.

PRÉSENTATION DU PAYS

La République du Bénin située en Afrique Occidentale entre les longitudes 1°40E et 2°40E, descend approximativement de la latitude 6°20N à 6°00N. D'une superficie d'environ 121 262Km², le Bénin est limité au nord par la République du Niger, au Nord-Ouest par le Burkina Faso, au Sud par l'Océan Atlantique, à l'Ouest par le Togo et à l'Est par la République Fédérale du Nigéria. Il est caractérisé par deux principales zones climatiques. Au nord du pays, on a le climat tropical continental qui comporte une seule saison pluvieuse par an. Dans la partie sud du pays, on a le climat subéquatorial avec deux saisons pluvieuses par an. Ces deux zones climatiques sont séparées par une zone de transition où règne un climat sub-soudanien. Il existe toute l'année une forte humidité relative entre 77% et 93%, les températures moyennes varient entre 22,4°C en août et 32,9°C en mars [15].

Sur le plan hydrographique, le pays bénéficie d'un vaste réseau de cours d'eau plus ou moins permanents répartis sur l'ensemble du territoire (Figure1).



Fig. 1. Grands ensembles hydrographiques du Bénin

On distingue quatre grands réseaux hydrographiques à savoir : le bassin hydrographique du Niger, le bassin hydrographique de la volta et le bassin hydrographique côtier qui se subdivise en l'ensemble Mono-Couffo à l'ouest et en Ouémè-Yèwa à l'est. Ces différentes unités hydrographiques sont subdivisées en 86 sous-bassins sur le territoire du pays. Au total, 2000 hectares de fleuves, 1900 hectares de lacs et un système lagunaire de plus de 2800 hectares parcourent tout le pays [16]. Toutes ces masses d'eau communique avec la mer au sud du pays par les embouchures de Cotonou et de Gran-Popo au travers les deux grands lacs du pays que sont : le lac Nokoué, d'une superficie de 150Km² au sud du bassin Ouémè-Yèwa et le lac Ahémé d'une superficie de 85Km² au sud du bassin Mono-Couffo. Ceux deux lacs constituent ainsi en quelque sorte d'exutoires intermédiaires de toute pollution trainée depuis le nord du pays avant leur rejet dans la mer.

En conséquence, ces milieux mériteraient une attention particulière quand nous parlons de pollution métallique et notamment mercurielle.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pour la réalisation de ce travail de synthèse, plusieurs documents ont été utilisés. Entre autres nous avons eu recours sur le plan international, régional et national au texte de la Convention de Minamata, au rapport 2013 de ladite convention, au Rapport 2002 de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risque (INEIRS) sur les métaux-Mercure en France, au rapport de l'Inventaire National sur les Emissions/Rejets de mercure au Bénin, à des articles scientifiques, des documents de thèses, des rapports d'expertises ; aux communications scientifiques etc. Ces différents documents sont le fruit des travaux des chercheurs et des spécialistes dans le cas des expertises.

- La Convention de Minamata sur le mercure attire l'attention sur les différents secteurs d'activités qui constituent une source certaine d'émission anthropique du mercure. En tenant compte du caractère très volatil du métal et donc facilement diffusé dans l'espace ; de sa nuisance pour la biosphère et surtout de son pouvoir toxique pour les humains, ladite convention confiante d'une action planétaire, propose des mesures de réduction et/ou d'élimination de ses émissions. Ces mesures visent à réglementer l'offre et la demande de mercure, essentiellement en limitant certaines sources et réglementer les produits contenant du mercure et les procédés de fabrication nécessitant le mercure ou ses composées, ainsi que l'extraction artisanale à petite échelle du de l'or [9].
- la convention 31/2001 sur les métaux-mercure de l'INERS présente le mercure dans l'environnement, ses sources, les normes de l'OMS ainsi que les différents risques sanitaires liés à l'exposition (inhalation ou intoxication) de l'homme au métal.
- l'inventaire national des émissions/rejets du mercure au Bénin, présente les différents secteurs d'activité pouvant émettre dans chacun des compartiments de l'environnement (air, eau et sol) du mercure. Il quantifie de façon approximative les produits commerciaux contenant du mercure ainsi que leurs probables contributions à la contamination de l'air, l'eau et du sol.

MERCURE : TOXICITÉ ET RÉGLEMENTATION

Le mercure possède trois états de valence (0, I, II). Si dans l'environnement il existe sous sa forme élémentaire volatile (Hg°), ses dérivés instables mercureux (+I) et mercuriques (II+) ne sont pas en manque. Leurs complexations avec les éléments inorganiques (l'oxyde, le chlorure, le sulfate et le sulfure) donnent naissance aux composés mercuriels inorganiques. Les complexes formés avec la matière organique donnent les composés mercuriels organiques tels que : l'éthylmercure, le diméthylmercure et le méthylmercure. L'ensemble de ces complexations contrôle le transport, la sédimentation, la séquestration du métal dans les hydrosystèmes ainsi que la biodisponibilité et le caractère bioaccumulable du métal au niveau des organismes ([3], [4], [18]). De tous les dérivés organiques du mercure, faut-il le rappeler, le méthylmercure s'est révélé être le plus toxique ([1], [2], [5]). Formé en milieu sédimentaire ou non, de façon biotique par transfert d'un groupe méthyl à partir d'un composé organique vers l'ion mercurique (Hg^{2+}) ou de façon abiotique à partir des composés méthylés de l'iode, du plomb ou de l'étain [19], le méthylmercure est facilement accumulé au niveau des organismes aquatiques (bioaccumulation) [4].

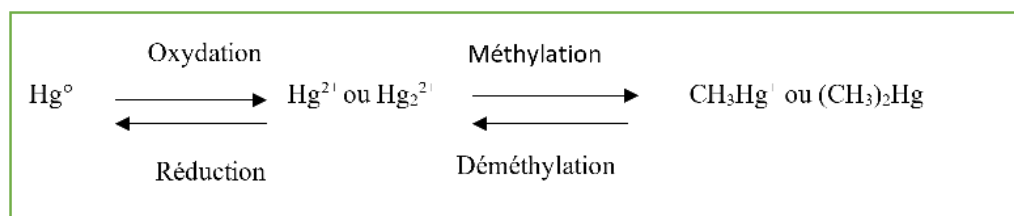


Fig. 2. Principales voies de transformations chimiques et biologiques du mercure dans l'environnement [20]

Sa concentration s'amplifie le long de la chaîne alimentaire (bioamplification) de sorte que le mercure méthylé représente environ 75 à 95% du mercure total contaminant ainsi les produits de pêche [21]. Ceci présente un risque sanitaire plus préoccupant que le mercure élémentaire pour l'homme qui se retrouve à la fin du réseau trophique ([18], [22]).

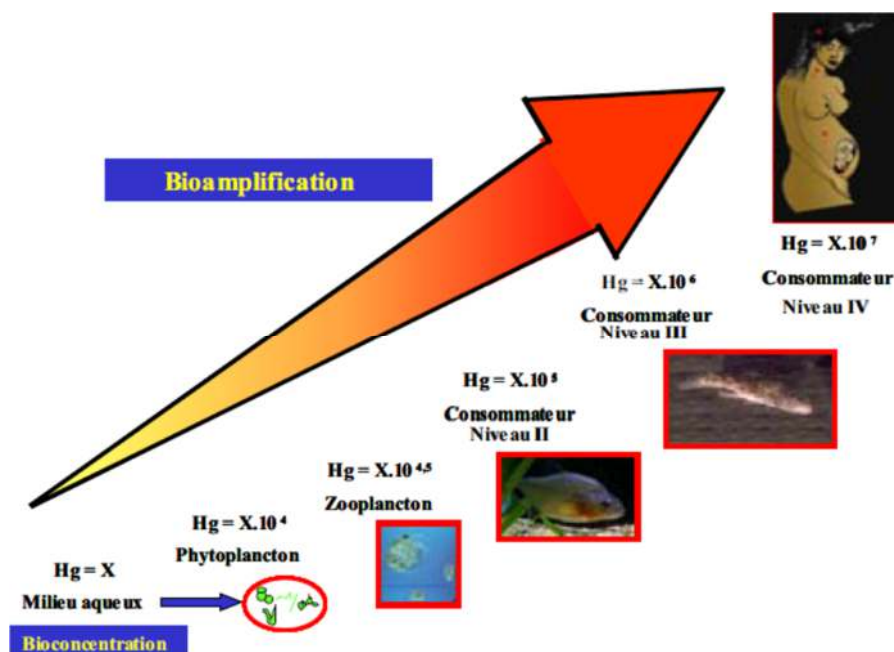


Fig. 3. Bioampliation du mercure le long des réseaux tropiques aquatiques et potentialité de transfert vers l'homme, représenté par la femme enceinte au regard du risque de contamination du fœtus [4]

Dans l'organisme humain, le mercure se diffuse très rapidement à travers la paroi alvéolaire des poumons sous sa forme élémentaire ou méthylée [23]. Le méthylmercure au sein de l'organisme humain passe la barrière hémato-encéphalique et provoque des troubles neurologiques graves irréversibles s'il est présent à fortes doses ([1], [23]), c'est le cas des chapeliers ; ou encore des cas de mort d'hommes avec le drame de Minamata. Il présente aussi une facilité à franchir la barrière placentaire, d'où un risque certain pour les femmes enceintes et les fœtus ([1], [24], [25]). De plus le méthylmercure serait un agent cancérigène pour les hommes [26]. L'IARC (International Agency for Research on Cancer) a d'ailleurs classé les composés minéraux de mercure dans le groupe **G3** ("l'agent est inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme") et les composés de méthylmercure dans le groupe **2B**, ("l'agent est peut-être cancérigène pour l'homme") [23].

Par ailleurs sous sa forme inorganique et élémentaire, le mercure reste aussi un élément toxique et la contamination se fait par voie respiratoire ([1], [4]). Par inhalation de vapeurs, l'intoxication aiguë se traduit par une irritation des voies respiratoires, une encéphalopathie, des troubles digestifs, une stomatite et une atteinte tubulaire rénale [23].

Face aux effets toxiques du métal, l'OMS fait remarquer que l'exposition au niveau ambiant du mercure (5-10ng/m³) ne présenterait pas d'effet direct sur la santé. Le mercure élémentaire n'est ni mutagène ni cancérigène et le niveau de méthylmercure ambiant est inférieur de 2 à 3 ordres de grandeur à l'apport alimentaire [23]. Ainsi pour la préservation de la santé humaine l'OMS recommande une concentration de 1µg/m³ pour le mercure inorganique. Pour ce qui est de l'intoxication par la consommation des produits de mer, il a été fixé par la commission Européenne des teneurs maximales en mercure total de 0,5 mg/kg de poids frais pour les produits de pêches, il en est de même pour l'OMS [1, 4]. Au-delà de ces précautions certains pays ont pris des décisions plus drastiques à l'interne pour garantir la santé de leurs populations. Ce fut le cas de la régulation de la consommation de certains poissons au Canada ([1], [2]) ; de l'interdiction de la consommation de certains mammifères marins au Japon ou encore de l'interdiction de l'utilisation du mercure sur la terre Norvégienne depuis 2007 [1].

LES SOURCES DU MERCURE ET CONTAMINATION

Le mercure est retrouvé dans l'environnement de façon naturelle comme étant un constituant de la croûte terrestre. Elle contient en moyenne environ 0,02ppm de mercure [23]. Cependant, il est aussi rejeté dans la nature artificiellement soit par des sources diffuses ou ponctuelles [4]. Les sources anthropiques ponctuelles sont liées à la combustion de la matière ou aux activités industrielles. La combustion des matières énergétiques fossiles contribue à elle seule à plus de 50% aux pollutions anthropiques [3]. Aux Etats Unis par exemple, le charbon est responsable d'une émission mercurielle de 130t/an [4]. En Chine dans la province de Guizhou, zone la plus polluée en mercure au monde, les émissions de mercure issues des raffineries et des procédés d'extraction s'élèvent à 11 tonnes par an [27].

Par contre les sources diffuses sont l'ensemble des comportements qui facilitent la dispersion du mercure dans l'environnement. Malgré son caractère toxique, le mercure continue d'être utilisé pour la fabrication de certains produits comme les piles miniatures, les ampoules de basse consommation, les amalgames dentaires, etc. [7]. Depuis l'antiquité, le cinabre (HgS) est utilisé comme pigment et l'est encore dans le processus de fabrication de certains produits comme les plastiques, le papier et la cire. Après utilisation, ces produits devenus déchets émettent du mercure dans l'environnement dont 80% dans l'atmosphère, 15% se répandent dans les sols et 5% sont directement versés dans les rivières et estuaires [28].

Le Bénin n'est certes pas un pays producteur de mercure (il n'y pas de production de chlore alcali, de bichlorure de mercure, de sulfate de mercure etc.), cependant les éventuels rejets mercuriels atmosphériques proviendraient essentiellement des activités de production de ciment, dont la matière première possède des résidus naturels du métal. Par ailleurs de nombreux produits à teneur mercurielle tels les thermomètres, les lampes, les peintures etc. (Tableau 1) [29] sont utilisés quotidiennement sur le territoire béninois et sont susceptibles de contaminer d'autres compartiments.

Cependant bon nombre de ces produits (amalgames dentaires, piles de mercure) restent encore sans une estimation quantitative de leur présence sur le territoire, bien qu'un amalgame dentaire par exemple contienne environ 50% de mercure, liés à la pose, à la dépose et au devenir des déchets [30]. Seuls les produits formellement enregistrés par les services de douanes ont permis de disposer d'une base de données en ce qui concerne les risques de contamination que court le pays de par leurs utilisations. Ainsi la pollution annuelle des eaux de surface par le mercure s'élève à 152000 kg avec une contribution majoritaire des produits cosmétiques (Tableau 2) [29]. Il va s'en dire que cette pollution proviendrait des rejets domestiques, des complexes hôteliers contenant du mercure issu des produits cosmétiques. A la suite de ces rejets, se trouve ceux des circuits de traitement des eaux usées, et enfin des sites d'extractions d'or qui ne représentent que 4,73% de la pollution directe des eaux. Cependant il est impératif de ne pas perdre de vue qu'une partie de la pollution des sols sera trainée vers les eaux par ruissellement, de même que les particules atmosphériques par dépôt du courant aérien. En conséquence, la contamination des eaux dépassera largement celle estimée. De plus la circulation informelle de la majeure partie des produits contenant du mercure sur le territoire béninois reste fortement envisageable, du fait de la proximité du pays avec le Nigeria, avec qui se développe des activités de commerce informel. La présente estimation mérite d'être attestée par des investigations scientifiques.

Tableau 1. Consommation des produits à teneur mercurielle au Bénin (2017) [29]

Produits	Quantités moyenne/an (t/an)
Amalgames dentaires	-----
Thermomètres	2568268
Lampes fluorescences	176
Piles de mercure	-----
Peintures avec des conservateurs au mercure	1148
Crèmes et savons éclaircissants pour la peau	5058

Tableau 2. Probables rejets mercuriels au Bénin (2017) [29]

Compartiments de l'environnement	Activités ou produits	Rejets de mercure (Kg/an)	Totaux
Air	Piles contenant du mercure	126761,3	140030
	Extraction de l'or	7762,5	
	Peinture avec conservateurs au mercure	2746	
Eau	Crèmes et savons éclaircissants pour la peau	144153	152000
	Extraction de l'or	6160,5	
	Circuit d'évaluation/ traitement des eaux usées	1039	
Sol	Piles contenant du mercure	126761	140710
	Crèmes et savons éclaircissants pour la peau	7587	
	Dépôts informels de déchets généraux	5612	
	Extraction de l'or	5427	

ETAT DE LA POLLUTION MERCURIELLE DES EAUX AU BÉNIN

POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

Le mercure atmosphérique issu des activités anthropiques ne représente que 20 à 30% du mercure total dans l'atmosphère [23]. Ces émissions anthropiques proviennent généralement des activités industrielles, de l'incinération de déchets et des rejets indirects [2].

D'après les travaux d'inventaire national du mercure au Bénin, les émissions anthropiques pouvant contaminer l'environnement atmosphérique proviennent essentiellement des activités d'extraction de l'or par amalgamation au mercure, de la production électrique et thermique par combustion de biomasse, la combustion du bois, et les usines de ciment [29]. Cependant des études plus amples sur la qualité de l'air dans les milieux où se pratiquent de telles activités restent à mener pour réellement apprécier l'état mercuriel de l'environnement atmosphérique béninois.

Par ailleurs, la pollution atmosphérique par le mercure, influence sans aucun doute la pollution des autres compartiments de l'environnement (eau, sol, et les êtres vivants). Une fois libérées dans l'atmosphère, les retombées du mercure vont contaminer le sol, les végétaux et les eaux. Ces retombées de mercure sur le sol et la végétation seront par la suite lessivées et rejoindront les plans d'eau pour accentuer la pollution de ces derniers. Au Sénégal, les études ont montré que les fortes teneurs en mercure au niveau des sols et des eaux des sites d'orpaillage, résultent d'un dépôt direct du mercure perdu lors de l'amalgamation et des dépôts atmosphériques directs [4].

POLLUTION DU SOL

L'état mercuriel des sols béninois, est fortement influencé par les intrants agricoles. En effet dans les localités telles que Kérou, Péhumco et Kouandé, où la production de coton est l'activité principale des populations, les sols agricoles présentent des concentrations de mercure allant de 22,3 à 33 ppb [13]. Ce qui proviendrait selon le même auteur de l'utilisation des fongicides et herbicides lors des pratiques agricoles.

La quantité de pesticides utilisées dans la production de coton, produit de rente du pays augmente avec la superficie emblavée. En effet, pour une superficie de 25 365 hectares, 63412,4 litres de pesticides sont utilisés en 2007 [31], en 2010 pour une superficie de 59 819 hectares, 149547,5 litres de pesticides sont utilisés [32]. L'utilisation de ces produits n'est pas sans conséquences sanitaires. L'intoxication de la population irakienne après consommation des pains produits à partir des blés traités par des pesticides à base de mercure [1,2], le prouve largement. Par ailleurs dans les zones non agricoles, la pollution des sols proviendrait généralement des piles, des produits cosmétiques, du dépôt informel de déchets et des activités d'extraction de l'or [29].

POLLUTION DES EAUX

L'hydrosphère se présente comme étant le réceptacle de toutes les formes de pollution, qu'elle soit atmosphérique ou géologique. En effet, dans la plupart des pays en développement, la qualité des ressources en eaux de surface est menacée par une pollution liée aux déchets solides, effluents urbains, agricoles et même industriels [4] et le Bénin n'est pas une exception.

Dans le bassin de la Volta, les plans d'eau sont fortement influencés par les effluents provenant des zones agricoles et des sites d'extractions artisanales de l'or. En effet, les rivières situées en aval de ces sites agricoles dans les localités de Kérou, Kouandé et Péhunco présentent des concentrations qui dépassent 100 à 600 fois la norme de l'OMS (1µg/L), soit des valeurs de 181.2 à 616.9 1µg/L [13]. Les populations riveraines du bassin de la Volta sont exposées à d'énormes risques sanitaires par la consommation de ces eaux. Par ailleurs ces concentrations dépassent aussi la norme de l'OMS pour les eaux de surface (6µg/L) et par conséquent représentent un risque d'intoxication pour les espèces aquatiques et par ricochet un risque sanitaire supplémentaire pour la population consommatrice de ces espèces aquatiques.

Dans le sud du pays, plusieurs études de caractérisation ont été effectuées surtout sur les eaux des deux grands lacs à savoir, le Nokoué ([33] ; [34]) et l'Ahémé [35]. D'après les travaux relatifs à la pollution du mercure en 2011[34] au sud du bassin Ouèmé-Yewa, le village de Boudèdomey situé dans la lagune de Porto-Novo a été identifié comme la source principale de la pollution du lac Nokoué en mercure du fait de sa forte population. En effet, plus le taux de croissance démographique est élevé, plus l'utilisation des produits contenant du mercure (tels les produits cosmétiques et les piles) est élevé et par la même occasion la quantité de déchets déposés informellement. De plus de par la même étude, l'évaluation spatio-temporelle du mercure a montré que la pollution diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source. Cependant elle ne nous renseigne

point sur les principales formes de mercure présentes dans l'eau du lac de même que la proportion de la pollution rejetée dans le milieu marin. Comme pour compléter ces données de pollution mercurielle du lac, les travaux de contrôle chimique réalisés en 2013 [36] prenant en compte le mercure total, identifient d'autres sources de contamination mercurielle du lac que sont les villages Ganvié et Sô-Tchanhoué où la concentration en mercure total semble élevée. D'après le même auteur, la pollution diminue le long du lac et devient presque inexistante au niveau de l'embouchure, néanmoins la contamination des organismes reste non détectable.

Tout semble indiquer que les organismes des lacs Nokoué et Ahémé seraient exempts de pollution mercurielle. Cependant il serait judicieux que des campagnes de contrôles soient organisées de façon annuelle pour le suivi de l'état de contamination des écosystèmes lacustres et lagunaires du pays. Ceci participera à la préservation des populations et à la protection des écosystèmes marins, milieu par excellence du déversement de la pollution métallique des cours d'eau et de l'atmosphère ([37], [38]).

CONCLUSION

En somme, la pollution de l'environnement par le mercure cause de lourds dommages sur la biodiversité d'une manière générale et en particulier sur la santé humaine. Même si l'industrie reste une filière encore à développer au Bénin, la contamination de la nature par le mercure se fait déjà sentir dans les zones de fortes productions agricoles et d'extraction artisanale de l'or. Le mercure présent dans ces zones généralement situées en amont des milieux aquatiques, est drainé par les eaux de ruissellement pour rejoindre des lacs et rivières. Cela contribuerait à l'augmentation de la teneur dudit métal dans les eaux et sédiments méridionaux notamment les eaux et sédiments des deux grands lacs du pays (Nokoué et Ahémé) déjà pollués par des déchets et produits contenant du mercure. En définitive, cette pollution pourra rejoindre le milieu marin, à travers les différentes embouchures. Au regard du tableau ainsi peint, au-delà d'un inventaire global des émissions de métal, des études ponctuelles sur la pollution ; des campagnes de contrôle périodiques des zones à risques et des écosystèmes aquatiques de même que des investigations approfondies sur le comportement du métal dans les différents compartiments de l'environnement doivent être effectuées afin que des mesures idoines soient prises pour garantir la sauvegarde de l'environnement et la protection sanitaire des populations.

RÉFÉRENCES

- [1] Maruszczak Nicolas. Etude du transfert du mercure et du méthylemercure dans les écosystèmes lacustres alpins, thèse de doctorat, Université de Grenoble, France, 207p. 2010
- [2] Courteaud Julien Etude paléo environnementale du cycle du mercure à travers sa composante élémentaire gazeuse Hg⁰ : de la réactivité de surface à la reconstruction des atmosphères passées grâce aux archives glaciaires, thèse de doctorat, université Joseph-Fourier-Grenoble I, France. 215p.2011.
- [3] Bouchentouf Salim. Mise en évidence des mécanismes de pollution des sédiments des eaux en zone côtière : approche pluridisciplinaire, thèse de doctorat Université Abou BekrBelkaid – Tlemcen, Algérie. 155p.2015.
- [4] Dominique Yannick. Contamination par les différentes formes chimiques du mercure de la composante du barrage hydroélectrique de Petit-Saut et des zones amont/aval du fleuve Sinnamary, en Guyane française (étude in situ et approches expérimentales. Thèse de doctorat, université de Bordeaux 1, France 366p. 2006.
- [5] Niane Birane. Impacts environnementaux liés à l'utilisation du mercure lors de l'exploitation artisanale de l'or dans la région de Kédougou. Thèse de Doctorat. Université de Genève. Sénégal.121p. 2014
- [6] W. Tian, G.M. Egeland, I. Sobol and H.M. Chan, "Mercury hair concentrations and dietary exposure among Inuit preschool children in Nunavut", Environement International, 2010.
- [7] Feyte Stéphane, Diagenèse du mercure dans les sédiments de lacs du sud du Québec. Thèse de doctorat, université de Québec, 188, 2010.
- [8] PNUÉ Convention de Minamata sur le mercure. Texte et annexes.2013
- [9] Seklaoui M'hamed, Boutaleb Abdelhak, Benali Hanafi, Alligui Fadila Caractérisation de la pollution minière dans le district mercuriel de azzaba Bab Ezzouar, Alger. 3ème Colloque International sur la Géologie du Sahara Thème III Eau & Environnement <https://dSPACE.univ-ouargla.dz/jsui/bitstream/123456789/11098/1/SEKLAOUI%20MHAMED.pdf> (31 octobre,2017)
- [10] Lassaad Chouba et N. Mzoughi-Aguir. "Les métaux traces (cd, pb, hg) et les hydrocarbures totaux dans les sédiments superficiels de la frange côtière du golfe de gabes." Bull, Inst, Natn, Scien, Tech, Mer de Salammbô, Vol. 33, 2006.

- [11] Samir Benbrahim, Abdelghani Chafik, Rachid Chfiri, Fatima Zohra Bouthir, Mostafa Siefeddine, Ahmed Makaoui "Etude des facteurs influençant la répartition géographique et temporelle de la contamination des côtes atlantiques marocaines par les métaux lourds : cas du mercure, du plomb et du cadmium" *Mar, Life*, Vol 16 : 37-47, 2006.
- [12] A. Traore, Y. Ake-Assi, E. Ahoussi Kouassi et N.Soro "Evaluation de la concentration des éléments traces (Pb, Cu, Zn, Fe, Cd et Hg) dans les crevettes (*macrobrachium vollehovenii*) des lagunes Aghien et Potou (sud-est de la côte d'ivoire)" *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°24, pp129-142, 2015.
- [13] Alassane Youssao, Abdou Karim, Mahamadou Daouda, Abdoul Kader Alassane Moussa, Daouda Mama, Issaka Youssao and Abdou Karim, "Sources and Distribution of Mercury Residues in Environmental and Food Matrices of the Mekrou River Watershed in Kèrou, Kouandé and Péhunco in Republic of Benin", *American Journal of Applied Chemistry* 2018 ; 6(2) : 57-63, 2018.
- [14] Chouti Waris, Mama Daouda, Alassane Abdoukarim, Changotade Odilon, Alapini François, Boukari Moussa, AminouTaoffiki et Afouda Abel, "Caractérisation physicochimique de la lagune de Porto-Novo (sud Bénin) et mise en relief de la pollution par le mercure, le cuivre et le zinc". *Journal of Applied Biosciences* 43: 2882-2890, ISSN 1997-5902, 9p, 2011.
- [15] P. C. Lalèyè, J. Niyonkuru, et G. G. Teugels. "Spatial and seasonal distribution of the ichthyofauna of Lake Nokoué Benin", *West Africa, African Journal of Aquatic Sciences*, 28 (2): 151-161, 2003.
- [16] J.B. Hounkpe, N.C. Kelome, R.A.N. Lawani, A. Adechina, "Etat des lieux de la pollution des écosystèmes aquatiques au Bénin (Afrique de l'ouest)". *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°30, Juin 2017, pp 149-171, 2017.
- [17] Atlas Hydrographique du Bénin : Un système d'information sur l'hydrographie, Programme d'appui au développement du secteur Eau et Assainissement. Septembre 2008
- [18] Clemens Stéphanie. Spéciation du mercure dans les produits de la pêche par double dilution isotopique et chromatographie en phase gazeuse couplées à un spectromètre de masse à plasma induit (GC-ICP-MS). Institut des sciences et technologies/Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement, Paris. 228p.2011
- [19] P. Quevauvillier, O.F.X. Donard., J. C. Wasserman., F.M. Martin et J. Schneider "Occurrence of methylated tin and dimethylmercury compounds in a mangrove core from Sepetiba Bay", Brazil, *Applied Organometallic Chemistry*, 1992.
- [20] L. Poissant, A. Dommergue, C.P. Ferrari, "Mercury as a global pollutant", *Journal de Physique IV* 12, 2002.
- [21] M. Gochfeld, "Cases of mercury exposure, bioavailability, and absorption" *Ecotoxicology and environmental Safety*, n°56, 174-179, 2003.
- [22] P. Holmes, K.A.F. James et L.S. Levy, "Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health", *Sci, Total Environ*, 408, 171-182, 2009.
- [23] INERIS : Institut National de l'environnement industriel et des risques Métaux-Mercure. Rapport final, Laboratoire Central de Surveillance de la qualité de l'air, Convention 31/2001, 2002.
- [24] Foucher Delphine, Géochimie du mercure dans des sédiments estuariens et côtiers : cas de la seine (France) et de la baie de Kastela (Croatie), Thèse de doctorat, Université des sciences et technologies de Lille, 279p, 2002.
- [25] INERIS Mercure et ses dérives, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances dangereuses n° DRC-00-25590-99DF389, 2006.
- [26] International Agency for Research on Cancer monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol 58, Beryllium, cadmium, mercury, and exposures in the glass manufacturing industry, Lyon, 1993.
- [27] Horvat M, Covelli S, Faganeli J, Logar M, Mandic V, Rajar R, Sirca A, Zagar D Mercury in contaminated coastal environments; a case study: The Gulf of Trieste. *Sci. Total Environ.* 237-238:43-56. 1999
- [28] Caille N. Mobilité et phyto-disponibilité du mercure dans les dépôts de sédiment de curage, pp. 167. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy. 2002
- [29] Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable. Inventaire National sur les émissions/Rejets de mercure au Bénin. Rapport définitif. 2017.
- [30] Grosman M. et Melet J.J. Le mercure des amalgames dentaires : Quels risques pour la santé et l'environnement ? Mémoire, Montpellier, 190p ; Novembre 2000.
- [31] MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ÉLEVAGE ET DE LA PECHE (MAEP): Rapport annuel campagne 2004-2005, 86p. 2005.
- [32] MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ÉLEVAGE ET DE LA PECHE (MAEP) : Programme d'urgence d'appui à la sécurité alimentaire. Cadre de Gestion Environnementale et Sociale, 98p. 99. 2009
- [33] Dovonou F., Aïna M.P., Boukari M. Et Alassane A. Pollution physico-chimique et bactériologique d'un écosystème aquatique et ses risques éco toxicologiques : cas du lac Nokoué au Sud Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 5(4) 1590-1602. ISSN 1991-8631.2011
- [34] Chouti Waris, Mama Daouda, Alassane Abdoukarim, Changotade Odilon, Alapini François, Boukari Moussa, AminouTaoffiki Et Afouda Abel. Caractérisation physicochimique de la lagune de Porto-Novo (sud Bénin) et mise en relief de la pollution par le mercure, le cuivre et le zinc *Journal of Applied Biosciences* 43: 2882-2890. ISSN 1997-5902. 9p. 2011.

- [35] Dimon F., Dovonou F. Adjahossou N., Chouti W., Mama D, Alassane A., et Boukari M. Caractérisation physico-chimique du lac Ahémé (Sud Bénin) et mise en relief de la pollution des sédiments par le plomb, le zinc et l'arsenic. *Journal de la SociétéOuest-Africaine de Chimie* 36-42. 2014.
- [36] Yehouenou E.A.P, Adamou R., Azehoun P.J., Edorh P.A. et Ahoyo T. Monitoring of Heavy Metals in the complex "Nokoué lake - Cotonou and Porto-Novo lagoon" ecosystem during three years in the Republic of Benin. *Research Journal of Chemical Sciences*, Vol 3(5)12-18, ISSN 2231-606X. 2013.
- [37] Maanan M., Zourarah B., Carruesco C., Aajjane A., Naud, J. The distribution of heavy metals in the Sidi Moussa lagoon sediments (Atlantic Moroccan Coast). *Journal of African Earth Sciences* 39. 473–483. 2004.
- [38] Glasby G.P., Szefer P., Geldon J., Warzocha J. Heavy-metal pollution of sediments from Szczecin Lagoon and the Gdansk Basin, Poland. *Science of the Total Environnent* 330 249–269. 2004.