



المعهد الموريتاني لبحوث المحيطات والصيد

INSTITUT MAURITANIE DE RECHERCHES OcéANOGRAPHIQUES ET DES PÉCHES

BULLETIN SCIENTIFIQUE

VOLUME 33 - JUIN 2021

ISSN 1727-8333

Teneur en mercure et extraction artisanale aurifère : le cas de l'exploitation de Chami sur l'écosystème marin du Parc National du Banc d'Arguin, Mauritanie

Wagne, M. M., Dassie, É., Sow, M. Dia, O., & Maury-Brachet, R.

Reçu le 17 janvier 2021 ☼ Révisé le 08 mars 2021 ☼ Accepté le 06 mai 2021 ☼
Publier online le 1 août 2021

Citer cet article : Wagne, M. M., Dassie, É., Sow, M. Dia, O., & Maury-Brachet, R. (2021). Teneur en mercure et extraction artisanale aurifère : le cas de l'exploitation de Chami sur l'écosystème marin du Parc National du Banc d'Arguin, Mauritanie. Bulletin Scientifique de l'Institut Mauritanien de Recherches Océanographiques et des Pêches, 33, 1-11.

Teneur en mercure et extraction artisanale aurifère : le cas de l'exploitation de Chami sur l'écosystème marin du Parc National du Banc d'Arguin, Mauritanie

Moulaye Mohamed WAGNE^{1,2,*}, Émilie DASSIE³, Mohamedou SOW³, Oumou DIA³, et Régine MAURY-BRACHET³

¹ Institut Mauritanien de Recherches Océanographiques et des Pêches, LEMMC- Laboratoire d'Etudes des Milieux Marins et Côtiers - BP 22 Nouadhibou, Mauritanie

² UR- EBIOMESN –Unité de Recherche « Ecologie Marine, Environnement, Santé et Nutrition » - Faculté des Sciences et Techniques - Université de Nouakchott Al Aasriya, BP 880, Nouakchott, Mauritanie

³ UMR CNRS 5805 EPOC – OASU - Station Marine d'Arcachon - Université de Bordeaux, Place du Docteur Bertrand Peyneau 33120 Arcachon cedex, France

*Auteur correspondant : M.M. WAGNE bouhwagne@gmail.com

المحتوى الزئبقي وتعددين الذهب الجرفي: حالة استغلال الذهب في الشامي وتأثيرها على النظام الإيكولوجي البحري لحوض آرگين (موريتانيا)

ملخص:

منذ عدة سنوات، أصبحت المدينة الجديدة للشامي منطقة للمعالجة الجرفية للذهب، تعتمد هذه الطريقة على مَلْعَمَة الذهب بالزئبق والذي يعتبر أحد المعادن المُتطايرة، ونظرا لقرب هذه المدينة من النظام الإيكولوجي لحوض آرگين، المصنّف من طرف اليونسكو ضمن مواقع التراث العالمي، قمنا بتقييم بعض التأثيرات البيئية المحتملة لأنشطة تعدين الذهب الجرفي على النظام الإيكولوجي لحوض آرگين، وانطلاقا من احتمال إمكانية نقل مخلفات الزئبق المختزنة في الحمأة المتبقية من التعدين الجرفي بواسطة الرياح السائدة إلى السهول الطينية، ومن ثم تلوّث الشبكة الغذائية لحوض آرگين، قمنا بأخذ عينات من عدة مصفوفات من الرّواسب والنوع السمكي *Sarotherodon melanotheron* وريش عدة أنواع من الطيور (*Phalacrocorax carbo* و *Phoenicopterus rose*, *Egretta dimorpha*, *Ardea alba*, *Microcarbo africanus*) تم جمع هذه العينات من ستة مواقع في حوض آرگين، وذلك لتقييم مستوى التلوث بالزئبق. تُشير نتائج هذه الدراسة إلى وجود قيم تميز المناطق الخالية من التلوث، وهو ما يستبعد، كاستنتاج أولي، أي تلوث لحوض آرگين مصدره منطقة تعدين الذهب الجرفي في الشامي.

تتراوح قيم المحتوى الزئبقي التي تم قياسها في عينات الرّواسب في حوض آرگين ما بين 0.335 ± 0.209 ملغ لكل كيلوغرام من الوزن الجاف و 0.503 ± 0.181 ملغ لكل كيلوغرام من الوزن الجاف، وتعتبر هذه النسب أقل من مستوى التأثير المحتمل (Smith et al., 1996) PEC والذي يصل إلى 1.06 ملغ لكل كيلوغرام من الوزن الجاف. في المقابل؛ وصلت نسبة الزئبق في العينات التي تم أخذها من الحمأة المتبقية في موقع التعدين الجرفي إلى 56.405 ± 10.734 ملغ لكل كيلوغرام من الوزن الجاف، أي محتوى زئبقي أكبر مئة مرة من المحتوى الزئبقي الذي تم الكشف عنه في حوض آرگين.

تُشير نتائج هذه الدراسة أيضا إلى وجود نسبة ضعيفة من التلوث في عضلات الأنواع السمكية التي تم أخذها، وهي نسبة تصل إلى 0.008 ± 0.002 ملغ لكل كيلوغرام من الوزن الرطب وهي أقل من المعايير الغذائية الدولية (منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة/المنظمة العالمية للصحة) المحددة ب 0.5 ملغ لكل كيلوغرام من الوزن الرطب، أما مستوى تلوث ريش الطيور فيتراوح ما بين 0.575 ± 0.176 ملغ لكل كيلوغرام من الوزن الجاف و 2.854 ± 1.187 ملغ لكل كيلوغرام من الوزن الجاف وهي نسب عند مقارنتها بمناطق أخرى من العالم (البحر الأبيض المتوسط، جنوب شرق المحيط الهادي) تبدو أقل تلوّثا.

من ناحية أخرى، يبدو من المهم جدًا تحليل الشكل العضوي للزئبق (ميثيل الزئبق) الذي يعتبر أكثر أنواع الزئبق سُمية، وكذلك القيام بدراسات من أجل محاولة التنبؤ باحتمالية تلوث حوض آرگين على المدى البعيد عن طريق موقع التعدين الجرفي للذهب الواقع على بعد 25 كلم في نفس مُستجمع المياه، وذلك بالنظر إلى مستوى التلوث بالزئبق الذي تمت ملاحظته من خلال هذه الدراسة في مدينة الشامي.

الكلمات الرئيسية: التعدين الجرفي للذهب، الزئبق، حوض آرگين، الشامي، موريتاني

RESUME

La ville nouvelle de Chami est depuis quelques années une zone de traitement aurifère artisanal. Cette méthode de traitement est basée sur le principe de l'amalgamation de l'or par le biais du mercure qui est un métal volatil. En raison de la proximité de cette ville avec l'écosystème du Parc National du Banc d'Arguin (PNBA), classé au patrimoine mondial de l'humanité par l'UNESCO, nous avons évalué certains impacts environnementaux potentiels des activités de traitement aurifère artisanal sur l'écosystème du PNBA. Pour ce faire Tenant compte de la possibilité que des résidus de mercure, emmagasinés dans des fragments de boue de l'exploitation aurifère, peuvent être transportés par les vents et se déposer sur les vasières et ainsi contaminer le réseau trophique du PNBA, nous avons prélevé des échantillons constitués de plusieurs matrices dont les sédiments, une espèce de poisson (*Sarotherodon melanotheron*) et des plumes de plusieurs espèces d'oiseaux (*Phoenicopterus rose*, *Egretta dimorpha*, *Ardea alba*, *Microcarbo africanus* et *Phalacrocorax carbo*).

Collectés au niveau de six différents sites du PNBA, ces échantillons ont fait l'objet d'analyse pour évaluer leur niveau de contamination en mercure.

Les résultats des analyses révèlent des valeurs caractéristiques de zones indemnes de pollution excluant a priori toute contamination du PNBA provenant de la zone de traitement aurifère de Chami. Les teneurs mesurées dans les échantillons de sédiments du PNBA fluctuent entre $0,335\pm 0,209$ mg.kg⁻¹ Poids Sec (PS) et $0,503\pm 0,181$ mg.kg⁻¹ PS, ces dernières sont inférieures au PEC (Probable Effect Level; Smith et al., 1996) qui est de l'ordre de 1,06 mg.kg⁻¹ PS. En revanche, le taux de mercure présent dans les échantillons de boue résiduelle prélevés sur le site de traitement aurifère est de l'ordre de $56,405\pm 10,734$ mg.kg⁻¹ PS, soit une teneur cent fois plus forte que celles relevées dans le PNBA. Nos résultats montrent également un faible taux de contamination dans les muscles des échantillons de poissons de l'ordre de $0,008\pm 0,002$ mg.kg⁻¹ Poids Frais (PF), inférieur à la norme du *Codex Alimentarius* (Organisation pour l'alimentation et l'agriculture des Nations Unies/Organisation Mondiale de la Santé) fixée à 0,5 mg.kg⁻¹ PF. Enfin, les niveaux de contamination des plumes des oiseaux étudiés fluctuent entre $0,575\pm 0,176$ mg.kg⁻¹ PS et $2,854\pm 1,187$ mg.kg⁻¹ PS. Ils sont relativement faibles comparativement à d'autres régions du monde (mer méditerranéenne et Sud-Est de l'océan Pacifique).

Par ailleurs, il est primordial en termes de perspective d'évaluer la forme organique du mercure, le méthylmercure qui est la forme la plus toxique mais également mener des études pour essayer de prédire une éventuelle contamination du PNBA à long terme par le site d'extraction situé à 25 km, dans le même bassin versant, au regard des niveaux de contamination observés à Chami par la présente étude.

Mots clés : Extraction aurifère artisanal, mercure, PNBA, Chami, Mauritanie.

Mercury content and artisanal gold mining: the case of Chami (Mauritania) near the marine ecosystem of Banc d'Arguin National Park

ABSTRACT

The new city of Chami is an artisanal gold production area since several years. This processing method is based on the amalgamation of gold with mercury, which is a volatile metal. Due to the proximity of this town to the ecosystem of the Banc d'Arguin National Park (PNBA), a UNESCO World Heritage site, we assessed potential environmental impacts of artisanal gold production activities on the PNBA ecosystem. To do this, taking into account the possibility that mercury residues accumulated in the residual sludge from the gold mining production can be transported by the winds, be deposited on the tidal flats, and thus contaminate the food chain of the PNBA. We used samples of several matrices, including sediments, fish (*Sarotherodon melanotheron*), and bird feathers (*Phoenicopiterus rose*, *Egretta dimorpha*, *Ardea alba*, *Microcarbo africanus*, and *Phalacrocorax carbo*) collected over six sites in the PNBA to assess mercury contamination. The results of the analyses found in the PNBA indicate values that are characteristic of non-polluted areas, excluding a priori any contamination from the gold production zone of Chami. The concentrations measured in the sediment samples from the PNBA fluctuate between 0.335 ± 0.209 mg.kg⁻¹ DW (dry weight) and 0.503 ± 0.181 mg.kg⁻¹ DW, which are lower than the PEC (Probable Effect Level; Smith et al., 1996) of 1.06 mg.kg⁻¹ DW. On the upside, the mercury level in the residual sludge samples collected at the gold production site of Chami is 56.405 ± 10.734 mg.kg⁻¹ DW, which is one hundred higher than those found in the PNBA. Our results also show a low level of contamination in the muscles of the fish samples in the order of 0.008 ± 0.002 mg.kg⁻¹ WW (wet weight), well below the *Codex Alimentarius* (Food and Agriculture Organization/World Health Organization) standard set at 0.5 mg.kg⁻¹ WW. At last, the levels of contamination in the feathers of the birds studied fluctuate between 0.575 ± 0.176 and 2.854 ± 1.187 mg.kg⁻¹ DW comparatively lower than in other regions of the world (Mediterranean Sea and South East Pacific Ocean). As perspective it is important to also analyze the organic form of mercury, methylmercury, which is the most toxic form, but also to study and try to predict a possible long-term contamination of the PNBA by the extraction site located 25 km from it in the same watershed, due to the high levels of contamination observed by the present study in Chami.

Keywords: artisanal gold production, mercury, PNBA, Chami, Mauritania.

INTRODUCTION

Le Parc National du Banc d'Arguin (PNBA) est la plus grande aire marine et côtière protégée d'Afrique de l'Ouest avec une superficie de 1170000 ha. Il a été classé site Ramsar (zones humides d'importance internationale) en 1982 et site du Patrimoine mondial de l'UNESCO en 1989. Sa création (décret n° 76-147) avait pour objectif (loi N°2000-024 du 19 janvier 2000) entre autres (i) d'assurer le maintien de l'intégrité et de la productivité de ses ressources naturelles (ii) de contribuer à la préservation des espèces menacées d'extinction, comme les espèces migratrices qui se trouvent, dans la zone du parc, un lieu de d'escale et/ou de séjour et (iii) de mettre en place une aire marine protégée ayant une importance écologique et biologique dans la sous-région. Cependant, ce patrimoine écologique et culturel est exposé de plus en plus à de nombreuses menaces telles que (i) l'exploitation et l'exploration minière et pétrolière aux environs du parc, (ii) le transport maritime avec sa pollution chronique et accidentelles (marées noires en cas d'accident comme le mentionnent Strahm et al., (2014), (iii) les activités économiques grandissantes de la ville de Chami, notamment celle d'orpaillage.

En effet, la commune de Chami, créée en 2012 et composée jusqu'à une date récente par une population semi-nomade de 500 personnes, a vu sa population exploser et atteindre à 250000 habitants en 2016 avec le développement de l'orpaillage artisanal dans la région. Un tel boom démographique reste intimement lié au phénomène bien connu et documenté sous le vocable « ruée vers l'or ». Dès lors, la ville, en raison de sa position stratégique et de ses infrastructures et services, devient le centre névralgique de traitement artisanal de l'or.

L'orpaillage artisanal est pratiqué dans cette région par de groupes restreints de de 5 à 6 personnes (Fig. 1A). Après extraction de fragments de pierre de la

roche mère aux 'canadien Kinross Gold, ceux-ci sont acheminés par véhicule vers divers sites de dépôts. Ceux-ci, avant 2018, étaient dans la ville qui joue un rôle de site de production aurifère, surnommé « le grillage ». En janvier 2018, un espace hors de Chami a été mis en place afin d'organiser et contrôler cette activité d'orpaillage.

L'extraction de l'or se fait par des unités de broyage des pierres (Fig. 1B) selon les procédés chimiques basées sur le principe de l'amalgamation de l'or, par le biais du mercure (Fig. 1C). L'extraction de 20 à 30 kg d'or nécessiterait 500 tonnes de pierres, 2500000 litres d'eau potable et 200 kg de mercure. Ces unités de broyage ne permettraient d'extraire que 30% de l'or. La boue résiduelle rejetée est alors stockée en grands monticules de boue séchée qui sont rachetés par des sociétés privées qui les « réexploitent » pour extraire les 70% d'or restant.

Une grande partie du mercure résiduel stocké dans ces monticules présente un risque potentiel pour la santé de personnes vivantes à proximité, en raison de la propriété volatile de ce métal. Les vapeurs de mercure inorganiques, reconnues comme hautement toxiques, peuvent impacter directement la santé des travailleurs et des résidents de la zone (Hong et al., 2012). De plus, ces vapeurs sont transportées par les vents dominants vers le PNBA situé à proximité. Ce mercure inorganique peut alors se déposer sur les vasières et est susceptible d'être transformé par les bactéries sulfato-réductrices en méthylmercure (Compeau & Bartha, 1987). Ce composé est très toxique pour les organismes car il traverse facilement les barrières biologiques, et peut s'accumuler et se bioamplifier le long du réseau trophique (Bank et al., 2007 ; Senn et al., 2010). De forts niveaux de contamination par le mercure au niveau des consommateurs finaux, comme les poissons et les oiseaux carnivores, ne sont pas à exclure. C'est eu égard à ces enjeux d'ordre environnementaux et sanitaires que nous avons entrepris ce travail de recherches afin d'évaluer le niveau de pollution

potentiel du mercure sur l'écosystème marin du Banc d'Arguin causé par l'extraction aurifère artisanale pratiquée dans la ville de Chami. A cet effet, le mercure a été analysé sur plusieurs

matrices (sédiment, poissons et oiseaux piscivores) collectées dans le PNBA mais également sur les échantillons de boues résiduelles collectés au niveau des sites de production d'or à Chami.

Figure 1 : Extraction artisanale aurifère à Chami (Mauritanie), située dans le bassin versant du parc national du banc d'Arguin (PNBA), (A) Extraction des fragments de pierres, (B) Unités de broyage et (C) Bassins de décantation.



MATERIEL ET METHODES

Sites d'étude

Cinq sites dont la baie de Saint Jean, Iwik, Ebelgyasan, baie d'Awtef et enfin le site de traitement d'or à Chami ont fait l'objet de collecte d'échantillons pour le présent travail (Fig. 2).

Prélèvement des échantillons

Un total de 10 spécimens de poisson de l'espèce *Sarotherodon melanotheron* (tilapia) pêchés au filet a été disséqué. Sur chaque individu, un échantillon de muscle dorsal a été prélevé à l'aide d'un scalpel. Des échantillons de plumes d'oiseaux sédentaires et migrateurs ont été recueillis à la surface de la vasière. Ceux-ci proviennent des espèces suivantes : flamant rose, aigrette dimorphe, héron blanc, cormoran Africain et grand cormoran.

Pour les sédiments, trois séries d'échantillonnage ont été réalisées au niveau des cinq sites. La première série a été effectuée sur 1 cm au niveau des 10 stations marines de la baie de Saint Jean à l'aide d'une benne à sédiments de type Ekman d'une surface de 0,0225 m². La seconde série a été effectuée au niveau de huit stations pendant la marée basse sur les plages des sites Iwik, Ebelgyasan, baie d'Awtef à l'aide d'un carottier en PVC de 27 mm de diamètre sur une profondeur de 1 cm. Il s'agit d'un échantillon composite. Enfin, au niveau du site de traitement de l'or à Chami, les échantillons ont été collectés sur les sept zones différentes.

Les différents échantillons ont été séchés dans une étuve à température de moins 40°C pendant cinq jours et conservés ensuite dans des flacons en plastiques.

L'ensemble des échantillons ont été ensuite envoyés au laboratoire de recherche Environnements et Paléo

environnements Océaniques et Continentaux (EPOC) de l'Université de Bordeaux en France.



Figure 2 : Carte des différents sites d'étude situés dans le Parc national du Banc d'Arguin (Mauritanie).

Préparation des échantillons

Chaque échantillon a été pesé et une aliquote de 25 et 30 mg pour les muscles de poisson, de 20 à 25 mg pour les plumes d'oiseaux et de 5 mg pour les sédiments ont été prélevés. Pour les poissons les valeurs de concentration en Hg dans les muscles ont été transformées en poids frais afin de les comparer à la norme OMS de consommation humaine qui est de 0,5 mg Hg kg⁻¹ poids frais. Le rapport entre poids frais et poids sec est de cinq (Maury-Brachet, 2006). Les résultats sont exprimés en poids frais : mg Hg kg⁻¹ poids frais.

Pour les plumes, les analyses ont été effectuées sur plusieurs plumes d'une même espèce. Les plumes ont été ciselées en petits morceaux jusqu'à ce qu'elles aient la consistance d'une poudre homogène. Les échantillons de sédiments ont été broyés puis stockés dans des tubes en polypropylène. Les concentrations sont exprimées en poids sec dans les plumes et dans les sédiments (mg Hg.kg⁻¹).

Méthode d'analyse

Le mercure total est déterminé par spectrophotométrie d'absorption atomique sans flamme (AMA 254). Une aliquote d'échantillon est déposée dans

une nacelle, les nacelles sont déposées sur un portoir par l'intermédiaire d'un passeur automatique, les nacelles sont introduites dans l'appareil où l'échantillon est successivement séché et pyrolysé à 750°C sous un flux continu d'oxygène. La totalité du mercure présent dans l'échantillon est ainsi transformée en Hg gazeux. Le flux d'oxygène véhicule ce dernier jusqu'à un piège à particules d'or, amalgamant le métal. Le piège est ensuite chauffé en quelques secondes à 500°C afin de libérer spontanément le mercure. Le métal parcourt alors l'une des deux cellules de lecture correspondant chacune à une gamme de concentration. L'appareil est étalonné en usine et un logiciel permet de choisir l'une ou l'autre des 2 gammes et exprime directement le résultat en concentration.

Au cours des analyses, des échantillons certifiés sont utilisés pour valider la méthode (Tab. 1) : (1) pour les échantillons biologiques le IAEA 407 : (International Atomic Energy Agency Analytical Quality Control Services Canada) a été utilisé, il est composé par du muscle de poisson et (2) pour les sédiments les échantillons certifiés : MESS-3, PACS-2 ont été utilisés, ce sont des sédiments marins (en provenance du Conseil national de Recherches Canada).

Tableau I : Valeurs des concentrations en mercure total (moyenne \pm écart type) des échantillons certifiés et les erreurs associées (IAEA 407, MESS-3 et PACS-2).

	IAEA 407	MESS-3	PACS-2
Hg total (mg kg ⁻¹)	0,222 \pm 0,024	0,091 \pm 0,001	3,04 \pm 0,200

Pour éviter les problèmes de contamination résiduelle, les échantillons ont été passés du moins contaminé au plus contaminé.

- ✓ Le passage des échantillons d'oiseau a été effectué par rapport au régime alimentaire, du niveau trophique le plus faible au plus élevé soit : le flamant rose, l'aigrette dimorphe, le héron blanc, le cormoran Africain et le grand cormoran.
- ✓ Le passage des échantillons de sédiments a été fait du site le moins contaminé vers le plus contaminé, nous avons supposé que les échantillons du site du banc d'Arguin étaient moins contaminés que ceux du site d'orpaillage de Chami.

Approches statistiques

Les différences ou les effets significatifs ont été testés statistiquement au risque d'erreur $\alpha = 5\%$. Tous les résultats de statistiques descriptives sont donnés sous la forme de « moyenne \pm l'écart type de la moyenne ». Afin de déterminer si l'effet significatif des différents facteurs pris en compte existe sur la concentration en mercure dans les échantillons biologiques analysés, une analyse de variance paramétrique a été effectuée, après vérification des hypothèses d'homogénéité de la variance et de normalité de la distribution des résidus. Lorsque les hypothèses ne sont pas vérifiées, une analyse de la variance non paramétrique de type Kruskal-Wallis a été effectuée. Puis un test post-hoc a été réalisé pour mettre en évidence les différences significatives. Tous ces calculs ont été effectués avec les logiciels R Core Team (2019).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les Poissons

Les résultats, relatifs au degré de contamination du muscle de poisson, montrent un faible taux de contamination (Fig. 3). Les concentrations sont homogènes entre les divers individus, il n'y a pas d'écart significatif entre les différentes concentrations et il n'y a pas de corrélation constatée entre les paramètres : « niveau de concentration » et « Longueur des poissons ».

De plus, la comparaison de la concentration de Hg dans les muscles de poissons avec la norme du Codex Alimentarius (Organisation pour l'alimentation et l'agriculture des Nations Unies/Organisation Mondiale de la Santé) fixée à 0.5 mg Hg kg⁻¹ PF révèle un très faible niveau de contamination des espèces de poissons Tilapia dont la consommation ne présentent pour l'instant aucun signe de dangerosité pour la santé humaine.

Des concentrations de mercure faible de l'ordre de 0,006 mg.kg⁻¹ PF ont déjà été enregistrées dans les muscles d'une autre espèce de poisson *Mugil cephalus* débarquée au niveau du site Iwik (Wagne, 2013). Les résultats sont du même ordre de grandeur avec ceux obtenus pour des Tilapias collectés au niveau des sites non contaminés (Tab. II). Ceci indique que la zone est non contaminée, car il est au même niveau de contamination que les sites de références étudiés. De plus, la comparaison avec d'autres poissons ayant un même régime alimentaire (herbivore) mais d'espèces différentes révèle les mêmes niveaux de concentrations en Hg (Laperche *et al.*, 2007), valeur représentative d'un site non contaminé.

Figure 3 :
Variation de la concentration en mercure dans les muscles du tilapia en fonction de la longueur standard.

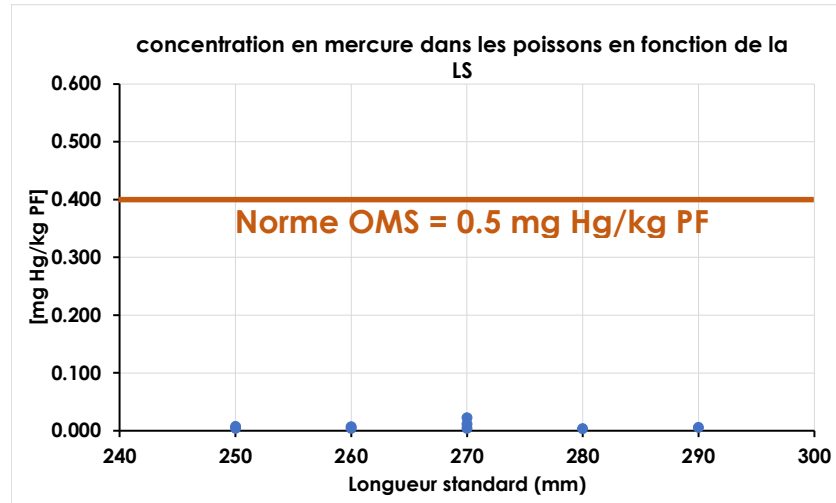


Tableau II : Comparaison de nos résultats obtenus sur le PNBA avec la littérature.

Localisation	Références	Moyenne (mg.kg ⁻¹ poids frais)
PNBA	Présente étude (2020)	0,008±0,002
Yuen Long, Hong Kong	Wang & Wang (2018)	0,005±0,002
Isfahan City, Iran	Hemmatinezhad (2017)	0,017±0,003

Les plumes d'oiseaux

Le niveau de contamination le plus élevé dans les plumes des oiseaux étudiés se trouve chez le grand cormoran *Phalacrocorax carbo* (Fig. 4A). Ce résultat est en accord avec son régime alimentaire, car c'est un prédateur terminal qui consomme essentiellement des poissons. La comparaison entre les deux espèces de cormorans révèle que le cormoran Africain *Microcarbo africanus* est 2,5 fois moins contaminé que le grand cormoran. Ce résultat est à corrélérer avec la taille des oiseaux (Fig. 3B). En effet, les deux cormorans ont le même régime alimentaire, mais le cormoran Africain est deux fois plus petit que le grand, il a donc un tractus digestif plus petit et il consomme de plus petites proies.

Le héron blanc ou Grand Aigrette *Ardea alba* et l'aigrette dimorphe *Egretta dimorpha* ont le même régime alimentaire mais qui diffèrent de celui des cormorans. En effet, ils consomment des petites proies de diverses natures (petits poissons, grenouilles, insectes aquatiques et petits crustacés). Les

résultats montrent que les deux espèces *Ardea alba* et *Egretta dimorpha* sont moins contaminées que les cormorans (Fig. 3A) car les proies consommées le sont moins (Maury *et al.*, 2006). La différence de contamination observée entre les deux espèces est aussi en nette corrélation avec la taille des oiseaux (Fig. 4B), l'aigrette étant plus petite que le héron blanc, elle consomme alors des proies de petites tailles et de ce fait, elle est moins sujette à la contamination.

Le Flamant Rose (*Phoenicopterus rose*) est l'oiseau le moins contaminé, ce résultat est à mettre en relation avec le type de proies consommées. Il se nourrit essentiellement d'artémias qui sont de petits crustacés qui sont très peu contaminés. Cette étude révèle également que les flamants roses du banc d'Arguin sont moins contaminés que ceux des différents sites étudiés en méditerranée Borghesi (2011). La même constatation est faite pour le cormoran Africain (Ochoa-Acuna *et al.*, 2002). Dans cette étude, le cormoran africain est proche de l'espèce étudiée : le cormoran impérial, ils sont de poids et de taille comparable.

A l'inverse, pour le héron blanc, l'étude en Chine de Wang et al., (2012), montre que le héron blanc du Banc d'Arguin est quatre fois plus contaminé.

Les résultats ne peuvent cependant pas être validés par des tests statistiques en raison du faible nombre d'individu par espèce d'oiseaux ($N \leq 3$) et en raison de la forte variabilité intra-espèce.

Figure 4 : (A) : Concentration (moyenne \pm écart-type) de mercure mesuré dans les plumes d'oiseaux étudiés. (B) : poids des oiseaux relevés dans la bibliographie.

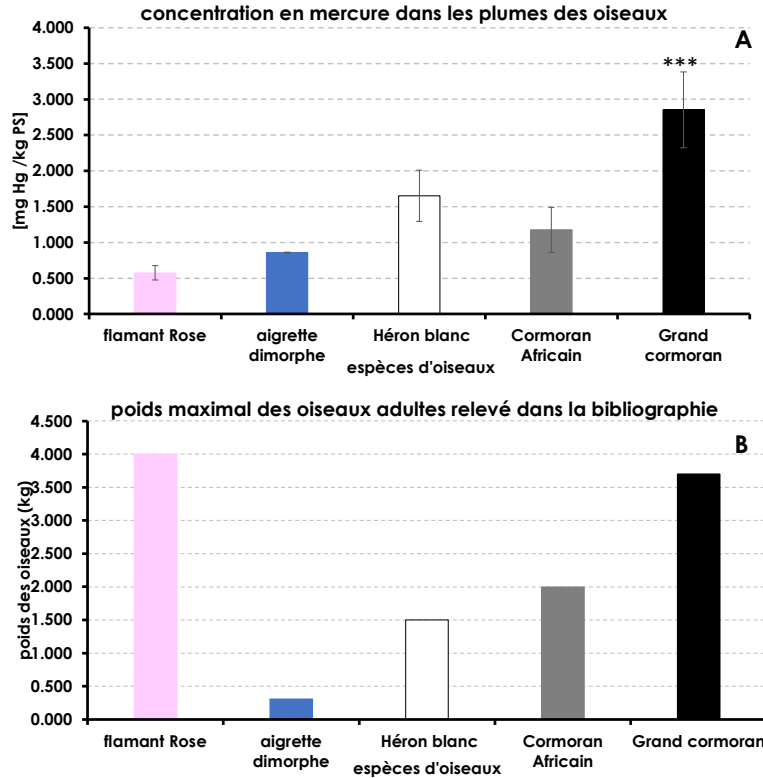


Tableau III : Comparaison des résultats obtenus des moyennes (\pm) de concentration de mercure au PNBA avec la littérature.

Espèces	Localisations	Valeurs moyennes (erreur standard)	Références
Flamant Rose	PNBA	0,575 (\pm 0,102)	Présente étude (2020)
	Méditerranée	0,734 (\pm 0,017) in Zoo 2,092 (\pm 0,357) in Cagliari	Borghesi, <i>et al.</i> , 2011
Héron blanc	PNBA	1,652 (\pm 0,356)	Présente étude (2020)
	Chine : Nord-Est	0,447 (\pm 0,091)	Wang, <i>et al.</i> , 2012
Cormoran Africain	PNBA	1,177 (\pm 0,316)	Présente étude (2020)
	Sud-Est Pacifique	1,600 (\pm 0,100)	Ochoa-Acuna, <i>et al.</i> , 2002

Les sédiments

La boue prélevée sur le site de traitement de l'or à Chami est cent fois plus contaminée que les quatre autres sites du Banc d'Arguin (Tab. IV ; Fig. 5), cette différence de contamination est significative entre Chami et les quatre autres sites. Les résultats de l'analyse de

la variance (ANOVA) du facteur a montré des différences significatives de concentration de mercure ($F = 15\ 994$ et $p = 2,10^{-16}$ ***) entre les sites. Les tests multiples de comparaisons de moyennes de Tukey ont également montré que la concentration de mercure dans le site de Chami différait significativement de ceux dans le PNBA ($p < 0.05$). Au niveau du

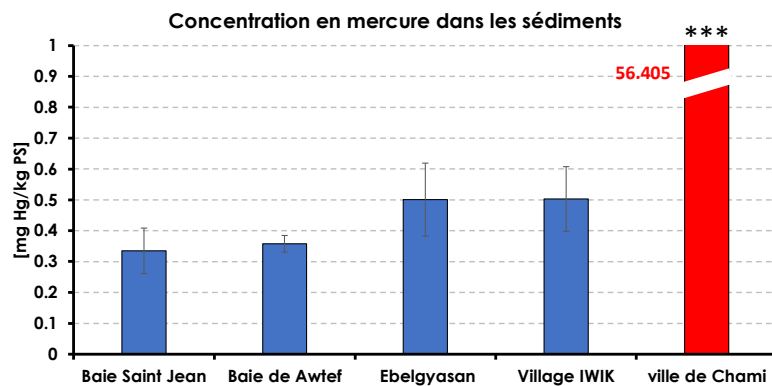
Banc d'Arguin, les sites Baie de Saint Jean et Baie de Awtef sont moins contaminées que les deux sites d'Ebelgyasan et du village Iwik (Tab. IV ; Fig. 5). La baie de Saint Jean présente des valeurs 1,5 fois plus faibles que celles du village d'Iwik, car ce dernier, plus proche de Chami, est par conséquent plus exposé aux dépôts atmosphériques

chargés en mercure en provenance de la zone d'exploitation de l'or. Cependant, les résultats enregistrés restent élevés en les comparant avec les travaux antérieurs effectués au niveau des sites d'Iwik et de Mamghar dont les moyennes sont de l'ordre de $0,005 \pm 0,002 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ PS}$ (MEDD, 2019).

Tableau IV : concentration moyenne en mercure dans les sédiments des sites étudiés.

Sites d'étude	Nombre d'échantillon	Moyenne (mg Hg kg ⁻¹ PS)
Iwik	3	$0,503 \pm 0,181$
Ebelgyasan	3	$0,501 \pm 0,205$
Baie Saint Jean	8	$0,335 \pm 0,209$
Baie d'Awtef	2	$0,358 \pm 0,038$
Ville de Chami	7	$56,405 \pm 10,734$

Figure 5 : Concentration (moyenne \pm écart-type) de mercure mesuré dans les sédiments.



Enfin, le PEC (Probable Effect Level, Canredon, 2016) est la concentration seuil au-dessus de laquelle des effets néfastes pour les organismes vivants sont attendus. La valeur du PEC est de $1,06 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ PS}$. Les valeurs mesurées dans le cadre de cette étude sur les quatre sites du Banc d'Arguin et celles des études antérieures (MEDD, 2019) restent plus faibles que la valeur du PEC. Ainsi, l'on peut affirmer que les niveaux de contamination dans les sédiments ne représentent par conséquent aucun risque pour les organismes vivants.

CONCLUSION

Les résultats des analyses de mercure dans les différents organismes (poisson et oiseaux) et dans les sédiments collectés

au niveau du Banc d'Arguin ne révèlent pas de contamination particulière liée à la zone d'exploitation de l'or de Chami. Les valeurs sont caractéristiques des zones indemnes de pollution. Par contre, la boue prélevée sur le site de Chami a mis en évidence un niveau de contamination très élevé lequel est cent fois plus important que celui constaté au niveau des sédiments du Banc d'Arguin. En dépit du faible taux de contamination de l'espace du Banc d'Arguin au mercure, il n'en est pas moins urgent d'étudier le méthylmercure qui est la forme organique la plus toxique dont la caractéristique principale reste sa faculté à traverser facilement les barrières biologiques avant de s'accumuler et se bioamplifier le long du réseau trophique.

Une telle situation appelle à prendre des mesures urgentes de décontamination et de régulation des rejets issus de l'industrie aurifère afin de protéger le PNBA en raison de son rôle écologique, de son caractère esthétique et de son statut patrimoine mondial de l'Unesco.

BIBLIOGRAPHIE

MEDD, (2019). Suivi de la qualité de l'environnement marin et côtier mauritanien, état de référence. Document technique du MEDD/DCE, 132p.

Bank, M.S., Chesney, E., Shine, J.P., Maage, A., & Senn, D.B. (2007). Mercury bioaccumulation and trophic transfer in sympatric snapper species from the Gulf of Mexico. *Ecological Applications*, 17, 2100–2110. <https://doi.org/10.1890/06-1422.1>.

Borghesi, F., Andreotti, A., Baccetti, N., Bianchi, N., Brike, M., Migani, F. & Dinelli, E. (2011). Flamingo feathers to monitor metal contamination of coastal. *Chemistry and Ecology*, 27(sup2), 137-151. <https://doi.org/10.1080/02757540.2011.625942>.

Canredon, A. (2016). Le mercure dans les sédiments des grands lacs aquitains. Rapport de master STEE. 55p.

Compeau, G.C., & Bartha, R. (1987). Effect of salinity on mercury-methylating activity of sulfate-reducing bacteria in estuarine sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 53(2), 261-265. <https://doi.org/10.1128/aem.53.2.261-265.1987>.

Hemmatinezhad, B., Moradi, S.M., & Yoosefi, A.H. (2017). Assessment of Four Heavy Metals Mercury, Lead, Copper and Cadmium Levels in Muscles of Import-ed Tilapia to Iran. *Journal of Chemical Health Risks*, 7(2), 133-138. <https://doi.org/10.22034/JCHR.2017.544174>.

Hong, Y.S., Kim, Y.M., & Lee, K.E. (2012). Methylmercury exposure and health

effects. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 45(6), 353-363. <https://doi.org/10.3961/jpmph.2012.45.6.353>.

Laperche, V., Maury-Brachet, R., Blanchard, F., Dominique, Y., Durrieu, G., Massabuau, J.C., Bouillard, H., Joseph, B., Laporte, P., Mesmer-Dudons, N., Dulfo, V., Callier, L. (2007). Répartition régionale du mercure dans les sédiments et les poissons de six fleuves de Guyane. *Rapport BRGM/RP55965 FR*, 204 p.

Maury-Brachet, R., Durrieu, G., Dominique, Y., & Boudou A. (2006). Mercury distribution in fish organs and food regimes: Significant relationships from twelve species collected in French Guiana (Amazonian basin). *Science of the Total Environment*, 368(1), 262-270. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.077>.

Ochoa-Acuna, H., Sepúlveda, M. S., & Gross, T. S. (2002). Mercury in feathers from Chilean birds: influence of location, feeding strategy, and taxonomic affiliation. *Marine pollution bulletin*, 44(4), 340-345. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00280-6](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00280-6).

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. [URL https://www.R-project.org/](https://www.R-project.org/).

Senn, D. B., Chesney, E. J., Blum, J. D., Bank, M. S., Maage, A., & Shine, J. P. (2010). Stable isotope (N, C, Hg) study of methylmercury sources and trophic transfer in the northern Gulf of Mexico. *Environmental Science & Technology*, 44(5), 1630-1637. <https://doi.org/10.1021/es902361j>.

Strahm, W., Debonnete G., & Haifaa, A. (2014). Mission de suivi réactif Parc national du Banc d'Arguin (Mauritanie) 6 - 13 janvier 2014. Rapport de mission, mars 2014, 63p.

Wang, Q., Zhang, Z., Zhou, X., & Lu, X. (2012). Mercury distribution and accumulation in typical wetland

ecosystems of Sanjiang Plain, Northeast China. *Chinese geographical science*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11769-013-0553-x>.

Wang, R., & Wang, W. X. (2018). Diet-specific trophic transfer of mercury in tilapia (*Oreochromis niloticus*): Biodynamic perspective. *Environmental pollution*, 234, 288-296. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.071>

Wagne, M.M. (2013). Contribution à l'étude de la qualité environnementale et sanitaire des eaux de la baie du Lévrier (Mauritanie). Thèse de Doctorat en écotoxicologie marine. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Faculté des Sciences et Techniques de Fès (Maroc), 147 pp.

