

LISTE DES ACCRONYMES ET ABREVIATIONS

- AAS** : spectromètre d'absorption atomique
- AMP** : Aire Marine Protégée
- BIPEA** : Bureau Interprofessionnel des Etudes Analytiques
- CERES** : Centre Régional de Recherches en Ecotoxicologie et Sécurité Environnementale
- COFRAC** : Comité Français d'Accréditation
- CSE** : Centre de Suivi Ecologique
- DPN** : Direction des Parcs Nationaux
- ETM** : Éléments Traces Métalliques
- HCl** : Acide Chlorhydrique
- HClO₄** : Acide perchlorique
- HNO₃** : Acide Nitrique
- LOD** : Limite de Détection
- PADT_NG** : Plan d'Aménagement et de Développement Territorial de la Commune de Ndiébène Gandiol
- PC** : Poste de Commandement
- PG** : Plan de Gestion
- PNDS** : Parc National du Delta du Saloum
- PNLB** : Parc National de la Langue de barbarie
- PNMJVP** : Parc National Marin de João Vieira et Poilão
- PNO** : Parc National d'Orango
- QuEChERS** : Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Saf
- RBABB** : Réserve de biosphère de l'Archipel Bolama-Bijagos
- UICN** : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

Résumé

Les conséquences écologiques que peuvent engendrer certaines activités anthropiques comme l'agriculture, la pêche, l'exploitation pétrolière et gazière méritent une attention particulière. L'étude des impacts de ces activités sur le plan environnemental est plus que nécessaire afin de protéger les écosystèmes et leurs ressources. L'objectif de cette étude est de faire les états de référence des micro-contaminants notamment les métaux traces non essentiels aux processus biologiques (Plomb, Cadmium, Chrome et Mercure) dans les coquilles d'oiseaux nicheurs au Sénégal et en Guinée Bissau. Pour réaliser ce travail, des coquilles d'œufs de deux espèces d'oiseaux piscivores (sterne royale, sterne caspienne) ont été collectées au niveau de quatre principales zones de nidification de ces espèces dont deux au Sénégal (le Parc National de la Langue de Barbarie et le Parc National du Delta du Saloum) et deux en Guinée Bissau (Bantambur et Accapa Imbone) à divers endroits plus ou moins éloignés de sources de pollution terrestres. Les résultats montrent que les quatre métaux recherchés sont tous présents dans les coquilles, le plomb et le chrome sont en grande quantité tandis que les teneurs en cadmium et en mercure sont relativement faibles.

Mots clés: Cadmium, Chrome, Plomb, Mercure, pollution, oiseaux marins.

Summary

The ecological consequences that certain anthropogenic activities can generate such as agriculture, fishing and oil and gas exploitation deserve special attention. The study of the environmental impact of these activities deserves special attention in order to protect ecosystems and their resources. This document sets out to make reference states for micro-contaminants, in particular trace metals not essential to biological processes (Lead, Cadmium, Chromium and Mercury) in egg shell nesting birds in Senegal and Guinea Bissau. To carry out this work, egg shells of two species of fish-eating birds (royal tern, Caspian tern) were collected in four main nesting areas for these species, including two in Senegal (the National Park of the Language of Barbary, the Saloum Delta National Park) and two in Guinea Bissau (Bantambur and Accapa Imbone in various places more or less far from the source of pollution. The results show that the four metals sought are all present in the shell, lead and chromium are in large quantities while the contents of cadmium and mercury are low.

Keywords: Cadmium, Chromium, Lead, Mercury, pollution, seabirds

Table des Matières

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	3
I. Zones d'étude	3
I.1. Le Parc National de la Langue de Barbarie (PNLB)	3
I.1.1. Situation géographique du Parc National de la Langue de Barbarie	3
I.1.2. Caractéristiques physiques	3
I.1.3. Activités socio-économiques	4
I.1.3.1. L'agriculture et l'élevage	4
I.1.3.2. La pêche	4
I.1.3.3. Le tourisme	4
I.1.4. La végétation	5
I.1.5. La faune	5
I.2. Le Parc National du Delta du Saloum	6
I.2.1. Situation géographique du Parc National du Delta du Saloum (PNDS)	6
I.2.2. Caractéristiques physiques	6
I.2.3. Activités socio-économiques	7
I.2.3.1. L'agriculture et l'élevage	7
I.2.3.2. La pêche	7
I.2.3.3. Le tourisme	7
I.2.4. La végétation	7
I.2.5. La faune	8
I.3. L'Archipel des Bijagós	9
I.3.1. Situation géographique de l'Archipel de Bijagós	9
I.3.2. Les caractéristiques physique de la zone	10
I.3.3. Les activités socio-économiques	10
I.3.3.1. L'agriculture et l'élevage	10
I.3.3.2. La pêche	11

I.3.3.3. Le tourisme	11
I.3.4. La végétation	11
II. Espèces étudiées	12
II.1. La sterne royale	12
II.1.1. Position systématique	12
II.1.2 Description	12
II.2. La sterne caspienne	13
II.2.1. Position systématique	13
II.2.2. Description	13
III. Biologie des espèces étudiées	14
III.1. La sterne royale	14
III.1.1. Habitats et distribution	14
III.1.2 Alimentation	15
III.1.3 Reproduction	15
III.2 La sterne caspienne	16
III.2.1 Habitats et distribution	16
III.2.2 Alimentation	17
III.2.3. Reproduction	17
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	23
I. Matériels	23
I.1. Matériel biologique	23
I.2 Matériels de laboratoire	23
II. Méthodologie	23
II.1. Echantillonnage	23
II.2. Localisation des sites d'études	25
II.3. Analyses des échantillons	25
II.3.1. Préparation des échantillons, digestion et minéralisation	25

II.3.2. Lecture des métaux lourds sur le Spectromètre d’Absorption Atomique	26
Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION	26
I. Résultats.....	26
I.1. Concentrations des métaux lourds dans les coquilles.....	26
I.1.1. Le cadmium	28
I.1.2. Le chrome	28
I.1.3. Le plomb.....	29
I.1.4 Le mercure	30
II. Discussion	31
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	35
BIBLIOGRAPHIE	37
ANNEXES	43

INTRODUCTION

Le Sénégal ainsi que la Mauritanie et la Guinée Bissau sont parmi les pays d'Afrique Occidentale, qui abritent le grand nombre d'oiseaux d'eau. Grâce à cette richesse ornithologique le Sénégal est l'un des premiers pays de l'Afrique de l'Ouest à avoir attiré l'attention de la communauté ornithologique internationale et à avoir connu un recensement des oiseaux d'eau (Schepers et *al.*, 1998). Cependant, malgré l'importance de cette faune et l'intérêt manifeste qu'elle suscite, très peu d'études ont été menées sur le suivi des populations en mer et sur la côte. Et ce, en dépit du fait que nous assistons depuis plusieurs décennies, à une importante révolution des pratiques agricoles et de pêche devenue plus polluantes et à un développement du tissu industriel surtout à l'avènement des forages pétroliers offshores, augmentant ainsi la pression anthropique sur les écosystèmes (Gueye et *al.*, 2019).

La pollution dans les milieux marins et côtiers est d'origine diverse. Les activités humaines, aussi bien domestiques qu'industrielles, telles que les usines les exploitations pétrolières et minières, le transport d'hydrocarbures en mer et l'agriculture, sont sources de rejets chargés en Éléments Traces Métalliques (ETM) dont les métaux lourds et en pesticides. Ces effluents ont souvent pour effet d'accroître considérablement les concentrations de ces métaux toxiques dans les écosystèmes marins et côtiers (Daby, 2006). En effet, le plomb (Pb), le cadmium (Cd), et le mercure (Hg), les trois métaux lourds de la pollution environnementale d'origine anthropique, inhibent à de très faibles concentrations, diverses fonctions biologiques fondamentales nécessaires pour la survie de nombreuses espèces telles que le phytoplancton dont ils inhibent la photosynthèse et la croissance (Amiard et *al.*, 1987). Un contaminant présent à de faibles concentrations dans l'eau ou les sédiments peut être bioaccumulé, atteignant des concentrations nocives dans les tissus des consommateurs de niveau supérieur à l'augmentation du risque pour les organismes en haut de la chaîne alimentaire ; l'exposition aux contaminants peut avoir des effets négatifs sur la reproduction, le taux d'éclosion des œufs, la survie et le développement neurocomportemental de la progéniture (Ohlendorf et *al.*, 1989). En plus de la toxicité, ils sont caractérisés par une persistance et une forte liposolubilité qui favorise respectivement leur présence dans l'environnement pendant de longues périodes et leur accumulation le long des chaînes alimentaires (bioaccumulation) (Bunyan and Stanley, 1982). Ainsi, les oiseaux marins, étant donné leur position à la fin des réseaux trophiques marins et côtiers faisant d'eux de super-prédateurs, sont particulièrement sujets à cette bioaccumulation. Aussi, du fait de la longévité de nombreuses espèces (plus de 20 ans), les oiseaux sont souvent exposés à ces composés durant toute leur vie. La capacité de bioaccumulation et la persistance des métaux lourds combinées à l'espérance de vie des oiseaux marins, favorise la bioamplification de ces

polluants dans les tissus de ces organismes (Burger and Gochfeld, 2001). L'impact des polluants sur les succès de la reproduction chez les oiseaux est également bien documenté et peut affecter tous les stades: de l'œuf jusqu'à l'approvisionnement des jeunes (Tartu et al., 2013).

Pour toutes ces raisons, il est prévu dans le cadre du projet de BirdLife portant sur l'étude de la contamination des oiseaux marins en Afrique de l'Ouest, de faire les états de référence des micro-contaminants dans des oiseaux piscivores. Il s'agit ici de doser trois métaux lourds : cadmium, plomb et mercure en plus du chrome dans les coquilles d'œufs de deux espèces d'oiseaux collectées à divers endroits plus ou moins distants de sources de pollution (site de forage et route de transport maritime avec risque de dégazage fréquent). Cette étude a pour objectifs spécifiques : comparer le niveau de contamination des sites d'étude par ces métaux, comparer le niveau de contamination entre ces deux espèces et déceler les métaux plus abondants.

Ce document est composé de trois chapitres :

1. la synthèse bibliographique, comprenant une présentation des zones d'étude et des espèces étudiées et généralité sur les métaux lourds ;
2. le matériel d'étude et la méthodologie de dosage ;
3. et la présentation des résultats de dosage des métaux lourds et leur analyse suivie de discussion, de la conclusion et des recommandations.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Zones d'étude

L'étude porte sur trois principaux sites : le Parc National de la Langue de Barbarie, le Parc National du Delta du Saloum et l'Archipel des Bijagós.

I.1. Le Parc National de la Langue de Barbarie (PNLB)

I.1.1. Situation géographique du Parc National de la Langue de Barbarie

Le Parc National de la Langue de Barbarie (PNLB, figure 1) est situé au Nord-Ouest du Sénégal, entre les longitudes 15°55'N-15°917'N et les latitudes 16°30'W-16°5'W, à cheval entre la région de Saint Louis et celle de Louga. Il s'étend approximativement sur 17 km de côte, plus précisément de Ndiol Gandiol (commune de Ndiebène Gandiol) au village de Niayam (commune de Laona). Il a été créé par décret n° 0016 du 9 janvier 1976 et couvre une superficie d'environ 20 km² (DPN, 2010).

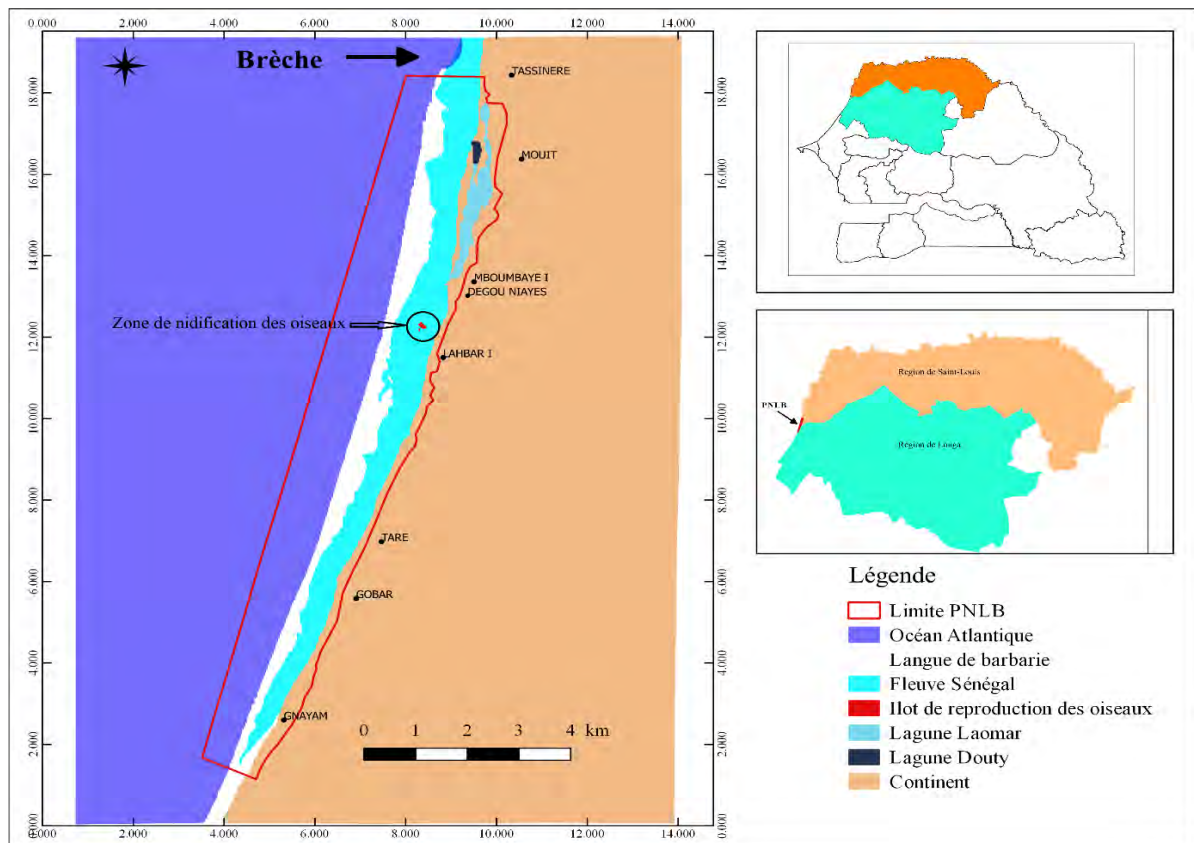


Figure 1 : localisation du PNLB et de la zone de nidification des oiseaux (Diankha et *al.*, 2019).

I.1.2 Caractéristiques physiques

□ Le climat

Le climat de la zone est de type sahélien caractérisé par l'alternance de deux saisons:

- une saison sèche alternant fraîcheur et chaleur entre Novembre et Juin;
- une saison humide et chaude de Juillet à Octobre avec une moyenne de 30°C (Ankh, 2015; Tfeila, 2015).

Le climat est sous la dépendance de l'anticyclone des Açores, de l'anticyclone saharien ou Harmattan et de l'anticyclone de Sainte-Hélène (CSE, 2015). La zone est comprise entre les isohyètes 200 et 400mm.

➤ La température

La zone littorale et l'estuaire bénéficient de l'influence océanique et de la fraîcheur des alizés. Ainsi, dans les zones côtières telles que la Langue de Barbarie, l'océan joue un rôle de régulateur du fait de l'influence de l'alizé maritime qui atténue les températures (Ba, 2013).

➤ La pluviométrie

La pluviométrie moyenne annuelle enregistrée à la station de Saint-Louis entre 1892 et 2004 est de 335mm. Depuis les années 70, elle est déficitaire. Un écart à la normale majoritairement négative a affiché un extrême de - 341% en 1992. Pendant cette période, l'écart positif le plus important a été noté en 1975 avec un surplus de 33,23%. Par ailleurs, les années 1994 (+8,55%), 1995 (+17,51%), 1999 (+27,88%), 2000 (+21,8%) et 2003 (+26%), correspondent à la recrudescence des inondations des localités côtières comme Saint-Louis (Sall, 2006).

I.1.3 Activités socio-économiques

I.1.3.1 L'agriculture et l'élevage

L'économie gandiolaise repose en grande partie sur l'agriculture plus précisément sur la culture maraichère (PADT_NG, en cours). Elle est pratiquée par plus de 50% de la population Gandiol (Kane, 2010).

L'élevage est fortement dominé par le modèle transhumant, notamment dans les villages de Ricotte, et Gouye Reine avec des troupeaux composés en majorité de bovins. Il concentre 1,45% de la population active de la zone littorale et 7,7% de la zone continentale (DPN, 2010).

I.1.3.2 La pêche

Cette activité joue un rôle prépondérant dans l'économie de la région et occupe une place importante au niveau de la Langue de Barbarie. Seule, la pêche artisanale est actuellement tolérée pour les autochtones, avec des engins réglementaires sur une bonne partie des eaux du parc. Les engins utilisés sont les filets de barrage, les filets éperviers (surtout) et les lignes (poissons pélagiques) (DPN, 2010).

I.1.3.3 Le tourisme

Au niveau de Saint Louis, le tourisme de découverte est favorisé par, entre autres la proximité des parcs nationaux du Djoudj et de la langue de Barbarie, de la réserve de faune de Gueumbeul, mais aussi de l'embouchure (DPN, 2010).

I.1.4 La végétation

Aucune espèce végétale recensée au PNLB n'est rare. Cependant, la zone était riche en *Lawsonia inermis*, une espèce qui n'est plus observée probablement à cause de la forte salinité. A l'exception de la végétation exotique composée de filaos (*Casuarina equisetifolia*) et de prosopis (*Prosopis glandulosa*), l'étage supérieur de la végétation spontanée est dominé par la mangrove avec deux espèces (*Avicenia* et *Rhizophora*) actuellement en expansion progressive dans les vasières grâce au reboisement régulier (DPN, 2010).

I.1.5 La faune

Le Parc National de la langue de Barbarie abrite :

- Les poissons : Deux inventaires réalisés en saisons froide et chaude, ont permis de répertorier 52 espèces assemblées en 29 familles au sein des trois biotopes du PNLB (océan, fleuve et lagunes) (Diankha, 2018).
- Les mammifères : ils sont représentés par le lièvre à oreille de lapin (*Lepus crawschayi*), l'écureuil fouisseur (*Xerus erythropus*), le singe patas (*Erythrocebus patas*), la mangouste (*Herpestes ichneumen*), le rat palmiste (*Cricetomys gambianus*), la zorille commune (*Ictonix striatus*), la genette commune (*Genetta genetta*), le chacal commun (*Canis aureus*), le dauphin (*Delphinus delphi*) et le phoque moine (*Monachus monachus*) (DPN, 2010).
- Les oiseaux : le parc abrite de nombreux espèces d'oiseaux d'eau, réparties en deux catégories que sont les espèces locales Aigrette dimorphe (*Egretta gularis*); Cormoran Africain (*Phalacrocorax africanus*); Vanneau armé (*Vanellus spinosus*); Mouette à tête grise (*Larus cirrocephalus*); Edicnème du Sénégal (*Burhinus senegalensis*); Aningha roux (*Anhinga rufa*); Héron garde-bœuf (*Bubulcus ibis*), etc et les espèces migratrices paléarctiques Sterne *Sterna sandvicensis*, Sterne royale (*Sterna maxima*); Sterne naine (*Sterna albifrons*); *Sterna hirundo*; Aigrette garzette (*Egretta garzetta*); *Ardeu purpurea*; Héron bicolore (*Nycticorax nycticorax*) (DPN, 2010). L'Îlot aux Oiseaux est le lieu de reproduction traditionnel des aigrettes dimorphes, sternes caspiennes, sternes royales, goélands railleurs et mouettes à tête grise. Dans la période de 1998 à 2001, le nombre de couples reproducteurs (toutes espèces confondues) variait entre 6000 et 7000 (Veen et al., 2004).

I.2. Le Parc National du Delta du Saloum

I.2.1. Situation géographique du Parc National du Delta du Saloum (PNDS)

Le PNDS (figure 2) a été officiellement créé par le décret gouvernemental n° 76-577 en date du 28 mai 1976. Situé entre 13°55' et 13°55' de l'altitude Nord et entre 16°27' et 16°48' de longitude Ouest, il couvre une superficie de 76000 ha et constitue la zone centrale de la Réserve de Biosphère du Delta du Saloum (Diouf, 1996). Aux environs de Karang, sa frontière Sud est constituée par la frontière gambienne et la zone se situe dans les régions administratives de Kaoulack et Fatick (Schepers et *al.*, 1997). Le poste de commandement est implanté à côté du village de Bakadadji, 4 km au sud de Missira. Il est possible de distinguer 3 zones au sein de ce parc : la forêt de Fathala, les îles et le domaine marin.

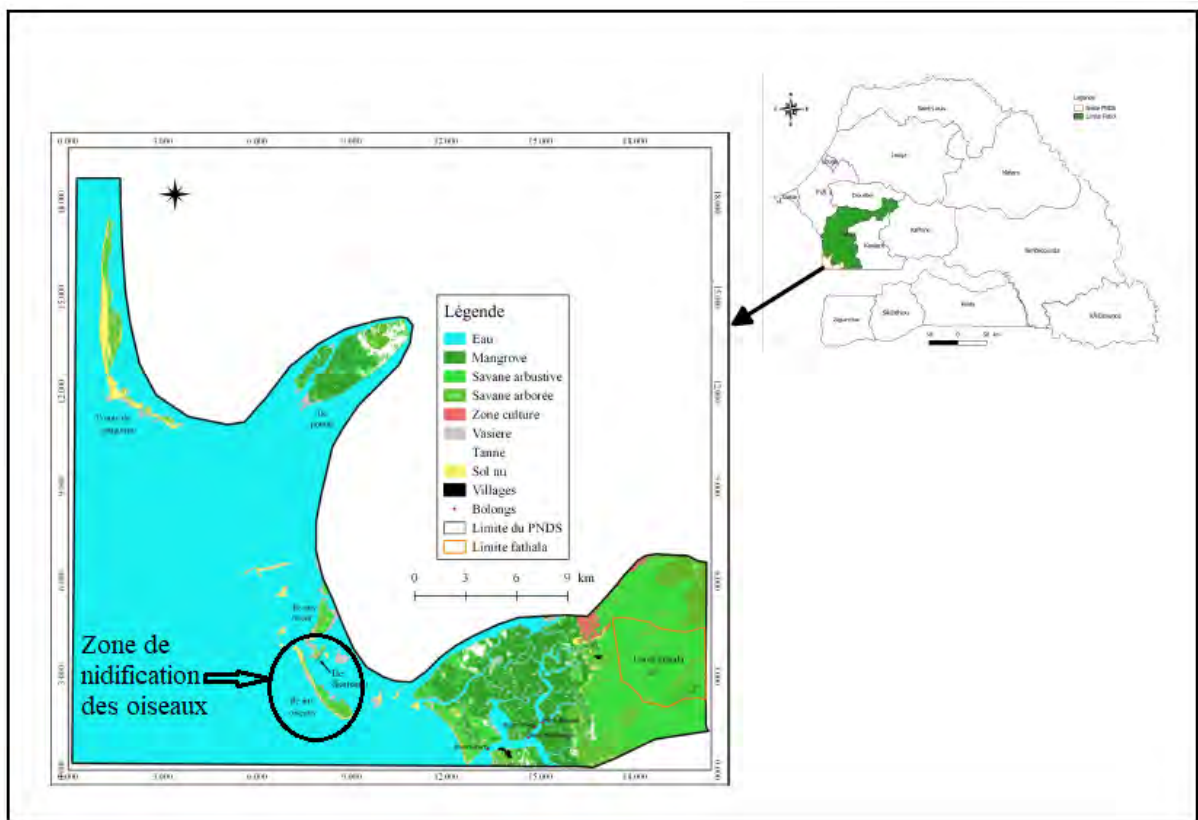


Figure 2 : localisation du PNDS et de la zone de nidification des oiseaux (Diankha et *al.*, 2019)

I.2.2. Caractéristiques physiques

□ Le climat

Le climat du Parc National du Delta du Saloum, de type soudanien avec une influence canarienne littorale, est caractérisé par :

- une saison sèche (froide de Novembre à Mars, chaude de Mars à Juin), où les vents

dominants sont les alizés maritimes, frais (de direction Nord à Nord-Ouest) et les alizés continentaux secs (de direction Est à Nord-Est, harmattan) ;

- une saison des pluies chaude et humide, de Juillet à Octobre, où dominant les vents de mousson (de direction Ouest et Sud-Ouest) (DPN, 2010).

➤ La température

Elles varient fortement d'une zone à l'autre mais aussi d'un mois à l'autre. Les températures moyennes annuelles se maintiennent entre 26 et 30°C. Les températures les plus élevées sont enregistrées entre les mois d'Avril et de Juin. Les plus températures sont enregistrées entre les mois de Décembre et de Janvier (DPN, 2010).

➤ La pluviométrie

La pluviométrie dans la zone a évolué de 600-900mm pour la période 1931-1960 à moins de 400-600mm actuellement. Il y a au total 50 à 60 jours de pluie par an, avec un maximum des précipitations au mois d'Août (DPN, 2010).

I.2.3. Activités socio-économiques

I.2.3.1. L'agriculture et l'élevage

L'agriculture occupe une très grande partie de la population totale. Depuis l'indépendance, une intensification des productions a été notée.

Un élevage de type extensif est pratiqué en association avec l'agriculture et est relativement développé dans la périphérie de la partie continentale du PNDS (DPN, 2010).

I.2.3.2. La pêche

Les bras de mer du delta du Saloum (Saloum, Diomboss et Bandiala) et les bolongs abritent d'importantes ressources halieutiques. Ces ressources ont permis aux populations riveraines de développer des activités de pêche et de cueillette significatives associées à l'agriculture dans certaines localités (DPN, 2010).

I.2.3.3. Le tourisme

Le tourisme occupe une place de choix dans le tissu économique de la région. En revanche, la pression démographique liée au développement de l'activité touristique sur les diverses composantes de l'écosystème de la réserve invite à une attitude de prudence, même si le tourisme peut générer des ressources pour les populations locales (DPN, 2010).

I.2.4. La végétation

Aucune espèce végétale recensée au PNDS n'est rare. Cependant, la zone était riche en *Lawsonia inermis*, une espèce qui n'est plus observée probablement à cause de la forte salinité. Cette flore comprend : la mangrove (*Rhizophora racemosa*, *R.harrisonii*, *R. mangle*, *R. harrisonii*, *Avicennia africana*, *Laguncularia racemosa*) qui est le premier type de végétation.

Un deuxième type composé par une savane arbustive à arborée dominé par des espèces ligneuses et un troisième type de végétation constitué de galeries forestières y sont également observé (DPN, 2010).

I.2.5. La faune

Le Parc National du Delta du Saloum qui constitue la partie centrale de la RBDS (Réserve de Biosphère du Delta du Saloum) abrite, à travers ses différents écosystèmes, une grande diversité de ressources fauniques. Cette faune comprend :

- Les poissons : représentés par 114 espèces pour 52 familles dont les plus diversifiées sont les *Carangidae* (11 espèces), les *Mugilidae* et les *Sciaenidae* (chacune 7 espèces), les *Haemulidae* (6 espèces), les *Cichlidae* et les *Clupeidae* (chacune 4 espèces), les *Ariidae*, les *Cynoglossidae*, les *Dasyatidae*, les *Ephippidae*, les *polynemidae*, les *Soleidae* et les *Sparidae* (chacune 3 espèces) (DPN, 2010).
- Les mammifères : Un recensement de trente-six (36) espèces sauvages a été fait dans le Parc. Il est noté parmi ceux-ci la présence de quatre (04) primates : *Cercopithecus aethiops sabaesus*, *Erythrocebus patas* et moins abondants, *Galago senegalensis* et *Colobus badius temmincki* (DPN, 2010).
- Les oiseaux : les forêts de palétuviers, les vasières, les bancs de sable et les îlots sableux constituent un ensemble d'écosystèmes qui permet au PNDS d'accueillir d'importantes populations d'oiseaux d'eau. Il s'agit notamment de nombreux migrateurs du Paléarctique occidental. Il accueille chaque année l'une des plus importantes colonies de sternes au monde, particulièrement au niveau de l'île aux Oiseaux (DPN, 2010). L'île aux Oiseaux, est un site important de reproduction des oiseaux marins vivant en colonie, tels que la sterne pierregarin, la sterne caspienne, la sterne royale, le goéland railleur et la mouette à tête grise. Entre 1998 et 2001, le nombre de couples reproducteurs variait entre 40 000 et 60 000. Les sternes royales sont de loin les plus nombreuses (maximum de 42.000 couples en 1999). (Veen et al., 2004).



Figure 3: une colonie de sterne royale (*Thalasseus maximus*) à l'île aux oiseaux du PNDS (Veen, 2012)



Figure 4: une colonie de sterne caspienne (*Sterna caspia*) à l'île aux oiseaux du PNDS (Cavallès, 2012)

- Les reptiles : les études ont essentiellement concerné les tortues marines. D'autres spécimens, notamment le varan du Nil, des serpents tels que les couleuvres, les vipères y sont également (DPN, 2010).

I.3. L'Archipel des Bijagós

I.3.1. Situation géographique de l'Archipel de Bijagós

L'Archipel des Bijagós (figure 5) se situe au large des côtes de la Guinée-Bissau, dans l'estuaire des rios Geba/Corubal, à une latitude située entre 15.802917 N et 20.773682 N et une longitude située entre 16.024292 W et 17.238525 W. Il est constitué de 88 îles et îlots couvrant une surface de 10 000 km² dont 900 km² de terres émergées et 1600 km² de vasières et bancs de sable découverts à marée basse. Il s'étend jusqu'à 100 km au large, en s'approchant de la bordure du plateau continental, à l'intérieur de la zone de juridiction nationale. Les îles les plus éloignées du continent sont situées à environ 100 km des côtes, les plus proches à environ 15 km (Simao, 1994).



Figure 5 : localisation de l'Archipel des Bijagos en Guinée Bissau

Légende : PNO : Parc National d'Orango : c'est là où nous avons l'île d'Acapa Imbone, un des sites d'étude

PNMJVP : Parc National Marin de João Vieira et Poilão

Urok : l'Aire Marine Protégée Communautaire des îles UROK

I.3.2. Les caractéristiques physique de la zone

□ Le climat

Le climat est caractérisé par l'existence de deux saisons bien différenciées : la saison sèche (Novembre à Avril) et la saison des pluies (Mai à Octobre). Cette dernière se caractérise par une pluviométrie abondante qui oscille entre 2000 et 2500 mm par an. L'humidité relative est de 70%.

➤ La température

La température moyenne est de 26°C.

➤ Les précipitations

Les précipitations de 2000 à 2500 mm en moyenne par an. Août est le mois le plus pluvieux.

I.3.3 Les activités socio-économiques

I.3.3.1 L'agriculture et l'élevage

L'agriculture est la principale activité du peuple Bijagós, notamment la riziculture, le riz étant la base de leur alimentation. Celle qui y pratiquée est essentiellement itinérante sur brûlis. Elle consiste à défricher une parcelle forestière, à en abattre les arbres (à l'exception des palmiers) et à brûler sur place la végétation afin de fertiliser le sol avant d'y semer le riz (Simao, 1994). En Guinée-Bissau, l'élevage est d'une grande importance économique et sociale et joue un rôle important dans la sécurité alimentaire et la lutte contre la pauvreté.

I.3.3.2. La pêche

Elle se traduit essentiellement par la collecte de coquillages par les femmes et la pêche au mulot à l'aide de harpons, éperviers et pièges par les hommes. C'est une activité familiale. Celle qui est réalisée autour de l'Archipel des Bijagós est majoritairement le fait de pêcheries artisanales continentales ou étrangères (surtout par les Nhomincas originaires du Sénégal), et souvent de pêcheries industrielles. Ces pêcheries mettent en péril l'équilibre écologique des ressources marines des Bijagós (Simao, 1994).

I.3.3.3. Le tourisme

L'archipel des Bijagós est la principale destination touristique du pays, offrant un potentiel encore mal exploité. Les 16 réceptifs recensés sont des campements de taille modeste (10 à 20 lits) répartis principalement sur les îles de Bubaque et Rubane et sur quelques îlots, pour un total d'environ 230 lits sur la RBABB. Seul le campement d'Orango est spécifiquement orienté vers l'écotourisme (DRAFT Octobre 2011).

I.3.4. La végétation

Les principales formations végétales rencontrées dans l'archipel des Bijagós sont la forêt ouverte, la savane arbustive, les palmeraies et les mangroves. Les palmeraies constituent la formation végétale dominante du domaine terrestre, couvrant 55% de sa superficie (Dia 2009-2014).

I.3.5. La faune

Elle comprend :

- Les poissons : 155 espèces ont été recensées. C'est une diversité remarquable qui, en Afrique de l'ouest, n'a d'équivalent que la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire (Diouf et al. 1994). L'archipel se caractérise en outre par l'importance de son peuplement de requins vis-à-vis duquel il est considéré comme un véritable sanctuaire.
- Les mammifères : 29 espèces de mammifères sauvages sont présentes, dont l'hippopotame qui présente la particularité de vivre en mer et dans les mangroves, le lamantin et 3 espèces de cétacés (Dia, 2014).
- Les oiseaux : la liste des espèces d'oiseaux observées dans les limites du bien fait

apparaître un total de 283 espèces. Les plus remarquables sont les limicoles avec un total pouvant atteindre près de 900.000 individus. Parmi les autres espèces figurent le peuplement de sternes en reproduction et en hivernage, et le Perroquet gris de Timneh *Psittacus (erithacus) timneh*. Les informations sur les oiseaux nicheurs y sont rares. Des colonies de reproduction d'aigrettes dimorphes, d'ibis sacrés, de spatules d'Afrique, de mouettes à tête grise, de sternes caspiennes et de sternes royales y ont été signalées, ces dernières se trouvant sur quelques îlots sableux situés dans sa partie la plus occidentale (Veen et al., 2004).

- Les reptiles : la valeur exceptionnelle de l'archipel des Bijagós vis-à-vis des reptiles se rapporte aux tortues marines. Cinq espèces, toutes considérées comme en danger ou vulnérables, se reproduisent dans l'archipel : *Chelonia mydas*, *Lepidochelys olivacea*, *Eretmochelys imbricata*, *Dermochelys coriacea* et *Caretta caretta*. La Tortue verte est de loin l'espèce la plus abondante: entre 7000 et 37 500 (Catry et al. 2010, IBAP 2011) pontes annuelles. Parmi les autres espèces de reptiles figurent le Crocodile du Nil (*Crocodylus niloticus*) et le Crocodile noir (*Melanosuchus niger*).

II. Espèces étudiées

II.1. La sterne royale

II.1.1. Position systématique

Tableau I : position systématique de la sterne royale

Classification	
Règne	Animal
Embranchement	Vertébrés
Classe	Oiseaux
Ordre	Charadriiformes
Famille	Laridae
Genre	<i>Sterna</i>
Nom binomial	<i>Sterna maximus</i>

Statut de conservation UICN : LC : Préoccupation mineure

Source : <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/royal-tern-thalasseus-maximus>

II.1.2 Description

La sterne royale est une espèce d'oiseaux appartenant à la famille des Laridae. Elle mesure 51 centimètres pour une envergure de 1,30 mètre et pour un poids de 400 grammes. Seconde en

taille après la Sterne caspienne, elle possède toutefois un corps plus élancé, les ailes pointues et la queue échancrée. Les ailes et le dos sont gris pâle, les parties inférieures blanches. En plumage nuptial, le dessus de la tête porte une calotte noire qui disparaît partiellement l'hiver (Gill et Donsker, 2019). Le bec rouge orangé est long, pointu et large. Les pattes sont noires, courtes et épaisses et les doigts sont palmés. Pas de dimorphisme sexuel. Mâles et femelles sont identiques.



Figure 6 : la sterne royale isolée sur l'îlot du parc

II.2. La sterne caspienne

II.2.1. Position systématique

Tableau II : position systématique de la sterne caspienne

Classification	
Règne	Animal
Embranchement	Vertébrés
Classe	Oiseaux
Ordre	Charadriiformes
Famille	Laridae
Genre	<i>Sterna</i>
Nom binomial	<i>Sterna caspia</i>

Statut de conservation UICN : LC : Préoccupation mineure

Source : <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/caspian-tern-hydroprogne-caspia>

II.2.2. Description

La sterne caspienne (*Hydroprogne caspia*) est un oiseau de la famille des Laridae. Elle est la plus lourde des sternes au monde (Shaffer et *al.*, 2004). Elle possède un gros bec rouge vif avec de petites taches sombres près de la pointe. Son manteau et ses ailes sont uniformément gris clair, alors que l'extrémité des rémiges primaires est plus foncée. Le dessous du corps et la queue sont blancs. Les pattes sont noires et palmées chez l'adulte. Elle garde toute l'année sa calotte noire parfois tachetée de blanc (Mullarney et *al.*, 2004). Il n'y a pas de dimorphisme sexuel.



Figure 7: la Sterne caspienne et son poussin

III. Biologie des espèces étudiées

III.1. La sterne royale

III.1.1. Habitats et distribution

Bien qu'elle habite généralement les baies côtières, les lagunes, les ports et les rivages sableux, la sterne royale peut remonter les fleuves en dehors de la période de reproduction. Elle se reproduit sur les côtes de l'Atlantique et du Pacifique du sud des Etats-Unis et du Mexique, et aux Caraïbes. Au Sénégal, bien qu'observée au niveau du PNLB, elle est l'emblème du PNDS. Elle niche sur les îles au large (Gill et Donsker, 2019).

Il y a deux sous-espèces de sterne royale qui ont des aires de reproduction différentes. La population nord-américaine de la sous-espèce *S. m. maxima* est estimée à 60 000 couples, tandis que la population ouest-africaine de *S. m. albidorsalis* est estimée à 75 000 couples (Wetlands International 2019). D'importantes colonies de nidification ouest-africaines sont présentes en Mauritanie (environ 15 000 couples, Banc d'Arguin), au Sénégal et en Gambie (environ 30 000 - 40 000 couples, Langue de Barbarie, Delta du Saloum, Bijol Islands et Kalissaye) (Veen et *al.*, 2004).

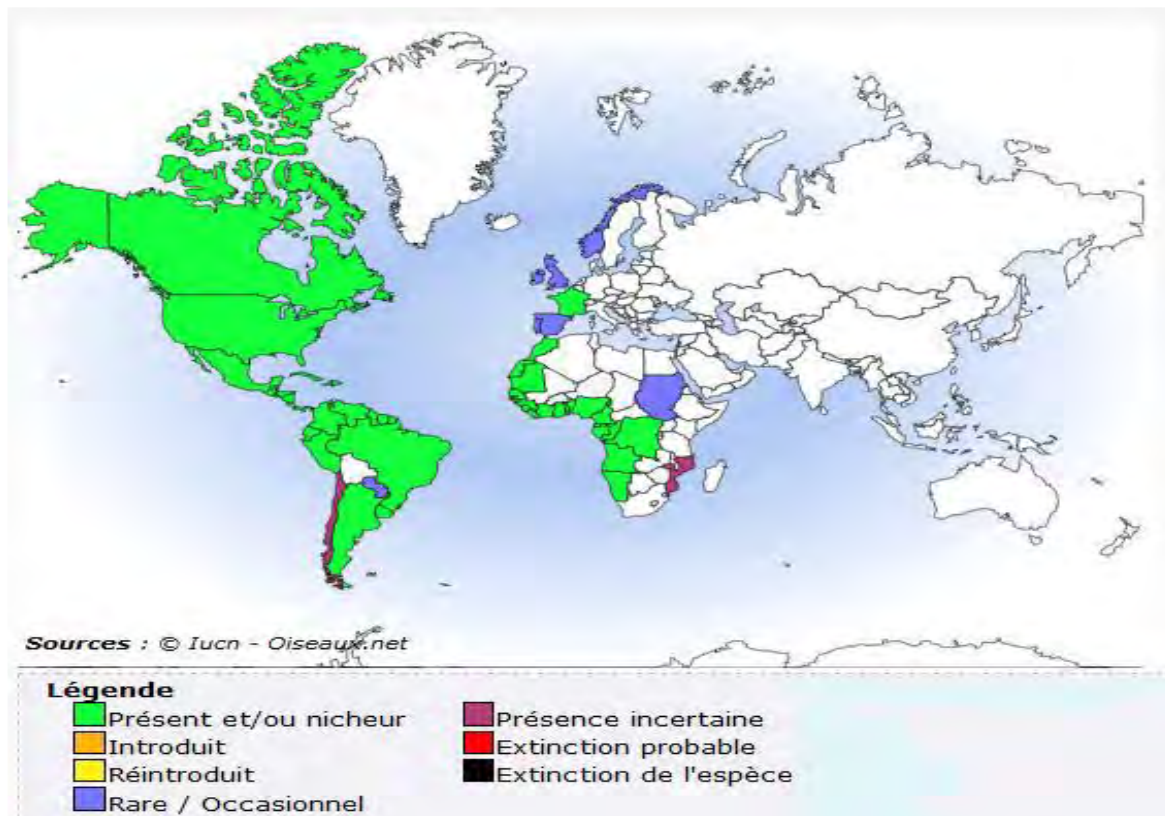


Figure 8: répartition globale de la sterne royale

III.1.2 Alimentation

La Sterne royale se nourrit de petits poissons mais également de crabes, de crevettes et de calmars. Elle suit les bateaux de pêche pour manger les déchets qu'ils rejettent par-dessus bord. Elle pêche généralement seule ou en couple, mais aussi parfois en groupes pouvant compter jusqu'à 150 individus. Habituellement, elle ne s'éloigne guère à plus de 100 mètres du rivage, mais lorsqu'elle cherche à manger pour son rejeton, elle peut s'éloigner jusqu'à 65 kilomètres de la colonie en longeant la côte.

Dès qu'elle repère une proie, elle procède à une séance de vol stationnaire juste au-dessus de celle-ci, le bec pointé vers le bas. Elle plonge alors à la verticale dans l'eau et saisit sa victime avec son bec.

III.1.3 Reproduction

Les colonies de reproduction sont souvent voisines ou même mêlées à celles des sternes caspiennes ou caugeks. Au Sénégal et en Gambie, la reproduction est concentrée dans la période Avril - Juin. La ponte est hautement synchronisée dans chaque colonie (des centaines, voire des milliers d'œufs pondus en l'espace de quelques jours). La couvée consiste généralement en un seul œuf (Veen et *al.*, 2004).

Les couples paradent sur une zone proche de la colonie, le mâle volant lentement et planant jusqu'au sol pour offrir une proie à la femelle qu'il convoite. Une fois apparié, le couple choisit un endroit dégagé sur le sable pour y établir son nid et survole plusieurs fois l'emplacement en décrivant de larges cercles. Il gratte ensuite une cuvette avec ses pattes et garni parfois de coquillages. Le mâle et la femelle se relaient pour couvrir l'œuf unique, toutefois ils peuvent l'abandonner.



Figure 9 : Nids de sterne royale au niveau de l'île aux oiseaux du PNDS (Gueye et *al.*, 2019).

III.2 La sterne caspienne

III.2.1 Habitats et distribution

Pendant la période de reproduction, elle fréquente les marais et les îlots côtiers. Le reste de l'année, on la rencontre le long du littoral, dans les estuaires sablonneux, les marais salants et les lagunes d'eau douce ou saumâtre.

La sterne caspienne *Sterna caspia caspia* se reproduit en Amérique du Nord, en Europe, en Afrique, au Moyen-Orient, en Asie centrale, en Amérique de l'Ouest et du Sud alors qu'en Australie se reproduit la sous-espèce *Sterna caspia strenua*. Ainsi, la population mondiale est estimée à 65 000-110 000 couples dont 25% se reproduisent en Afrique de l'Ouest (Wetlands International 2002). Les plus importantes colonies de l'Afrique de l'Ouest se trouvent en Mauritanie (jusqu'à 11 000 couples, Banc d'Arguin) et au Sénégal (jusqu'à 9000 couples, Delta du Saloum) (Veen et *al.*, 2004).

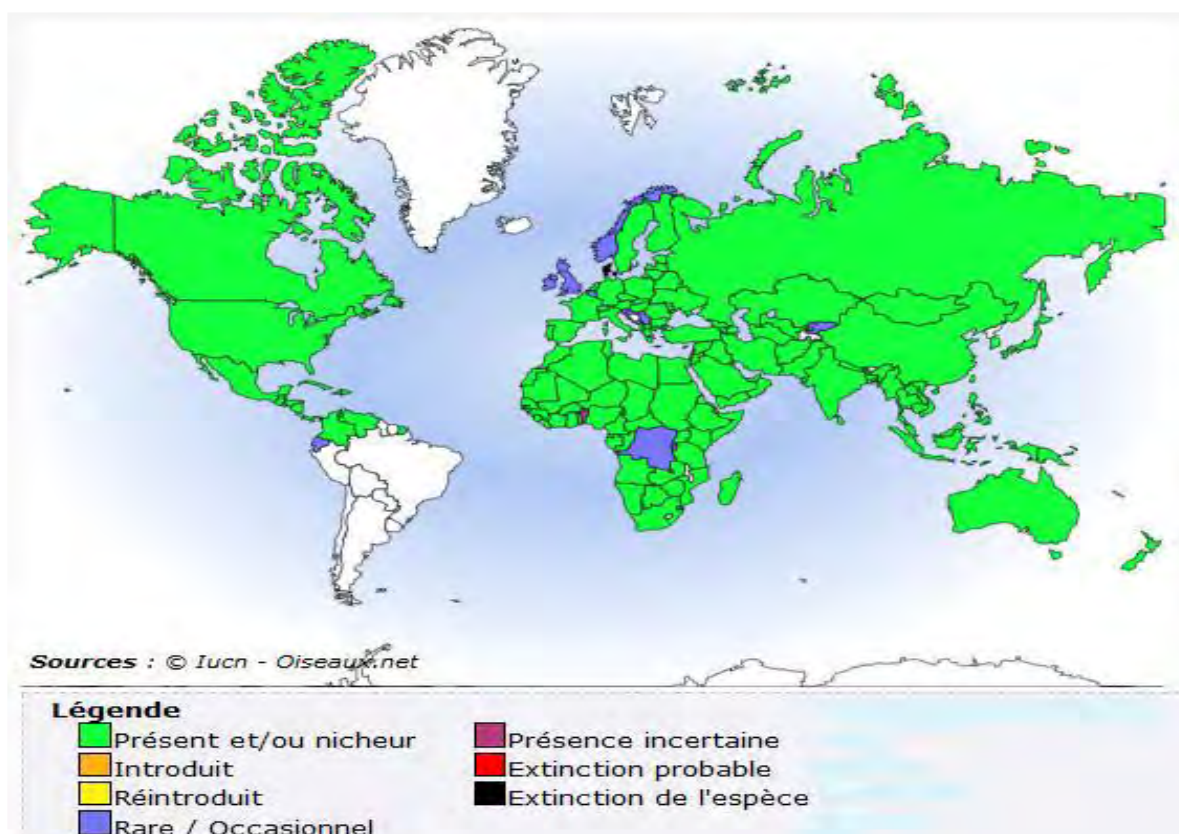


Figure 10 : répartition globale de la sterne caspienne

III.2.2 Alimentation

Le régime alimentaire de la sterne caspienne est composé de diverses espèces de poissons (d'eau douce et de mer). Habituellement, elle se nourrit seule ou en couple, mais lorsque les eaux sont riches en poissons, elle a tendance à s'alimenter en groupes avec d'autres espèces (sternes ou mouettes). Elles peuvent rechercher de la nourriture jusqu'à 60 km de leur site de reproduction (Veen *et al.*, 2004). Elle présente un comportement très particulier voir spécifique pendant l'activité de pêche. Pour capturer sa nourriture, elle vole au-dessus de l'eau, le bec pointé vers le bas pour détecter sa proie. Quand elle aperçoit une bande de poissons, elle la survole quelques secondes, puis plonge, la tête en premier. Pendant la plongée, la Sterne caspienne est souvent complètement immergée. Elle ressort de l'eau très vite avec ou sans poisson. Elle avale entier les poissons pêchés avec toujours la tête en premier (Kama, 2011).

III.2.3. Reproduction

La sterne caspienne est monogame et niche la plupart du temps en colonies. Habituellement, elle choisit un site situé le long du littoral, une plage sablonneuse ou couverte de galets. Comparée aux autres espèces de sternes, la sterne caspienne n'est pas grégaire en dehors de la période de reproduction. Pendant cette période, on peut noter l'isolement de certains couples

ou la formation de petits groupes de 2 à 3 couples (Veen *et al.*, 2004). Pour défendre son nid et les juvéniles, elle devient très agressive. Sa période de reproduction commence dès le mois de Février et s'étend jusqu'en Juillet. Les femelles peuvent pondre 1 à 3 oeufs de couleur crème ou chamois pâle avec des petits points brun foncé ou noir. Les deux parents assurent l'incubation des œufs qui peut durer 26 à 28 jours (Veen *et al.*, 2006).



Figure 11 : jeune poussin sterne caspienne et deux oeufs dans la fosse niché sur un terrain (Gueye *et al.*, 2019)

IV. Généralités sur éléments traces métalliques

IV.1. Caractéristiques, sources et toxicité

Les Éléments Traces Métalliques (ETM) sont caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5g.m^{-3} (Hammami, 2010). Ils sont présents dans l'environnement et dans les écosystèmes aquatiques de façon naturelle et certains sont essentiels au bon fonctionnement de nombreux processus biologiques. Parmi ces éléments essentiels, certains sont présents à de faibles teneurs (à l'état de traces, moins de 0,1%) dans les sols, les sédiments, les eaux de surface et les organismes vivants (Alloway et Ayres, 1997 ; Callender, 2003), tandis que d'autres, le sont à des teneurs plus importantes. Les métaux lourds, non essentiels aux processus biologiques, sont compris dans ces ETM.

Aujourd'hui, les activités humaines, par leurs rejets (industriels pétrolières et minières et l'agriculture conventionnelle), produisent des effluents dont les effets contribuent à accroître considérablement la présence de nombreux métaux toxiques dans les écosystèmes aquatiques (Kaiser, 2004). Au sein de ces derniers, les métaux s'accumulent principalement dans les sédiments où ils persistent indéfiniment puisqu'ils ne sont pas sujets à la décomposition

bactérienne ou à toutes autres formes de dégradation (Daby, 2006). Ces sédiments contaminés sont ensuite absorbés par les plantes et les organismes aquatiques dont une certaine partie est éliminée via l'excrétion et la métabolisation. Toutefois, au-delà d'une certaine quantité, les métaux s'accumulent dans les organismes et tout au long de la chaîne alimentaire pouvant même entraîner la disparition des espèces les moins tolérantes (Liehr et al., 2005).

Parmi les métaux non essentiels à l'origine de cette pollution, figurent le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le chrome (Cr) et le mercure (Hg) qui, même à de faibles concentrations, sont capables de perturber le métabolisme de certains organismes. C'est le cas pour le phytoplancton, par exemple, dont ils inhibent la photosynthèse et la croissance (Calamari et Naeve, 1994; Amiard et al., 1987). Selon ces derniers auteurs, les effets des métaux, observés à des niveaux trophiques supérieurs se manifestent notamment par un retard du développement des embryons, des malformations et une moins bonne croissance des adultes chez les poissons, les mollusques et les crustacés.

En outre, tout au long de la chaîne alimentaire, certains se concentrent dans les organismes vivants. Ils peuvent ainsi atteindre des taux très élevés dans certaines espèces consommées par les oiseaux et l'homme, comme les poissons.

IV.2. Mécanismes de concentration des micropolluants dans les organismes aquatiques

Pour qu'un micropolluant se bioaccumule, il doit être biodisponible. Une fois bioaccumulé, il entre dans la chaîne alimentaire et peut selon certaines propriétés physico-chimiques, être soumis à une bioamplification.

IV.2.1. Bioaccumulation

La bioaccumulation est le processus qui entraîne une augmentation de la concentration chimique d'une substance dans un organisme aquatique par rapport à celle de l'eau, due à l'absorption par toutes les voies d'exposition, y compris l'absorption alimentaire, le transport à travers les surfaces respiratoires et l'absorption cutanée (Gobas et Morrison, 2000).

IV.2.2. Biodisponibilité

La biodisponibilité désigne « la fraction libre de produit chimique présent dans le milieu environnemental et qui est disponible pour être accumulée par les organismes » (Gobas et Morrison, 2000).

IV.2.3. Bioamplification

La bioamplification est un cas particulier de bioaccumulation qui se traduit par l'augmentation de la contamination d'un niveau trophique à l'autre. (Gobas et Morrison, 2000). Autrement dit, si un phytoplancton contient un produit toxique à une certaine concentration, l'animal herbivore

qui le consomme régulièrement, aura dans son organisme, une concentration supérieure de ce même produit. Le carnivore prédateur de cet herbivore aura à son tour, une concentration encore plus forte.

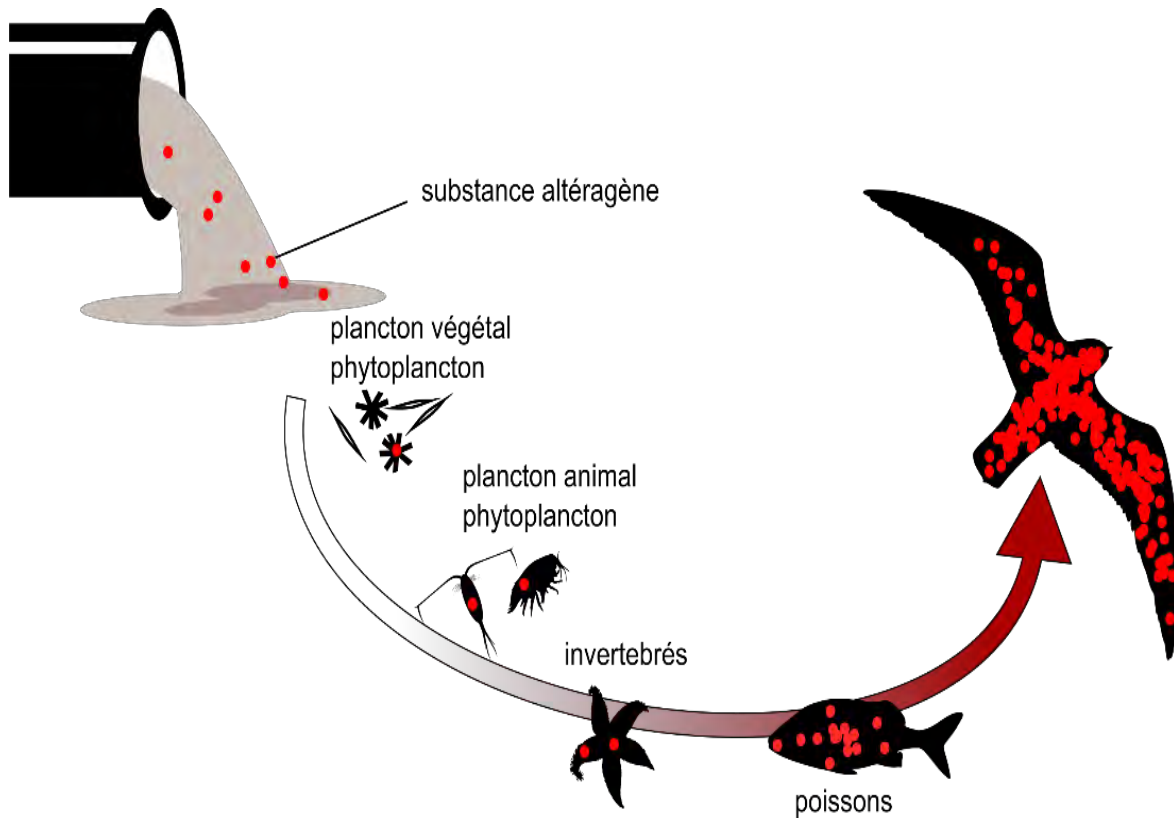


Figure 12: bioaccumulation et bioamplification d'un polluant (rouge) chez les oiseaux marins. (Beaune et *al.*, 2020).

V. Exploitations pétrolières en vue au large des côtes sénégalaises et guinéennes

La zone d'étude élargie se situe dans la grande bordure nord-ouest de l'Afrique bordée par un plateau continental dont la limite varie générale de 40 à 60 km exception faite dans la région du banc d'Arguin.

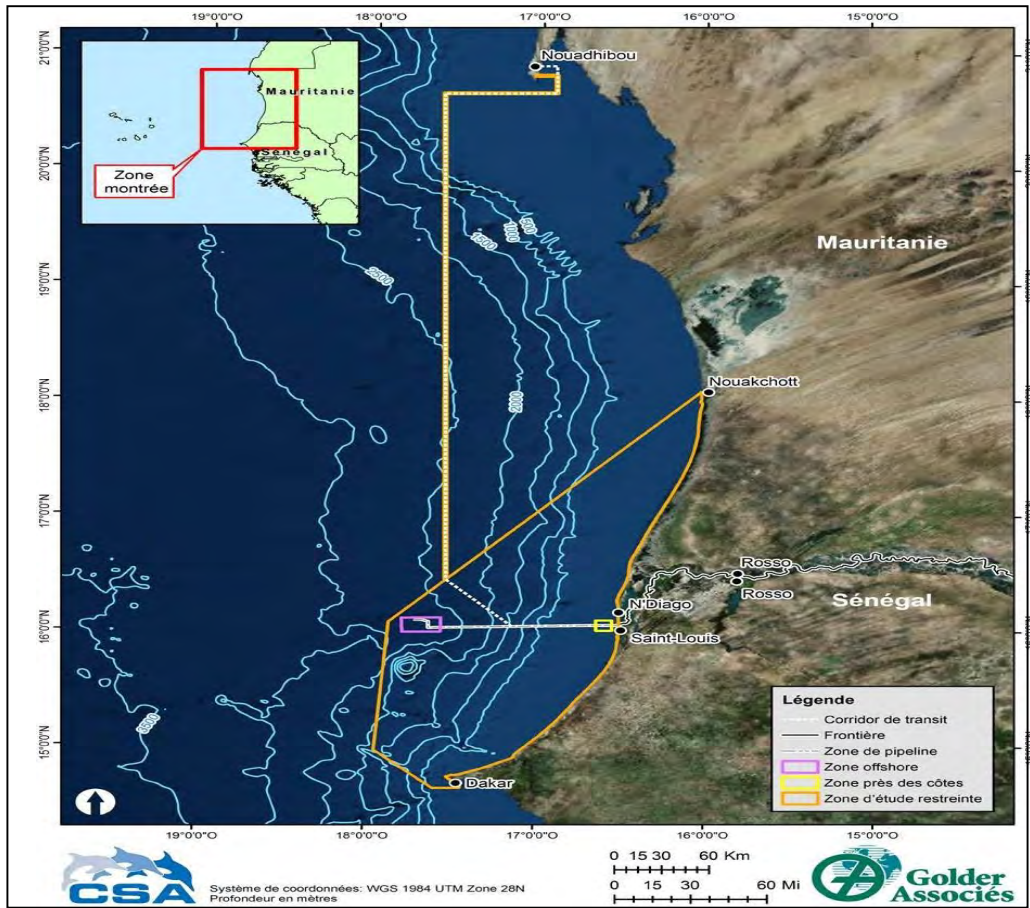


Figure 13: limites de la zone d'étude élargie (Xodus Group, 2018)

Cette zone comprend un secteur plus vaste, pour tenir compte du fait que les émissions atmosphériques produites par les opérations de routine en eaux côtières pourraient être transportées vers les terres par le vent, ainsi que pour tenir compte du fait que des hydrocarbures rejetés accidentellement pourraient être transportés par les courants et les vents ambiants. La zone d'étude élargie comprend également les aires protégées avoisinantes compte tenu de leur importance pour les parties prenantes nationales, même s'il est peu probable que ces aires protégées (le Parc National des Oiseaux du Djoudj, le Parc National de la Langue de Barbarie, la Réserve de Chatt Tboul, la Réserve Spéciale de Faune de Guembeul et une partie de la Réserve de biosphère transfrontalière du delta du fleuve Sénégal) soient touchées par le projet de production de gaz Grand Tortue / Ahmeyim Phase 1.

Cette photo montre la localisation de la zone d'exploitation pétrolière de sangomar.

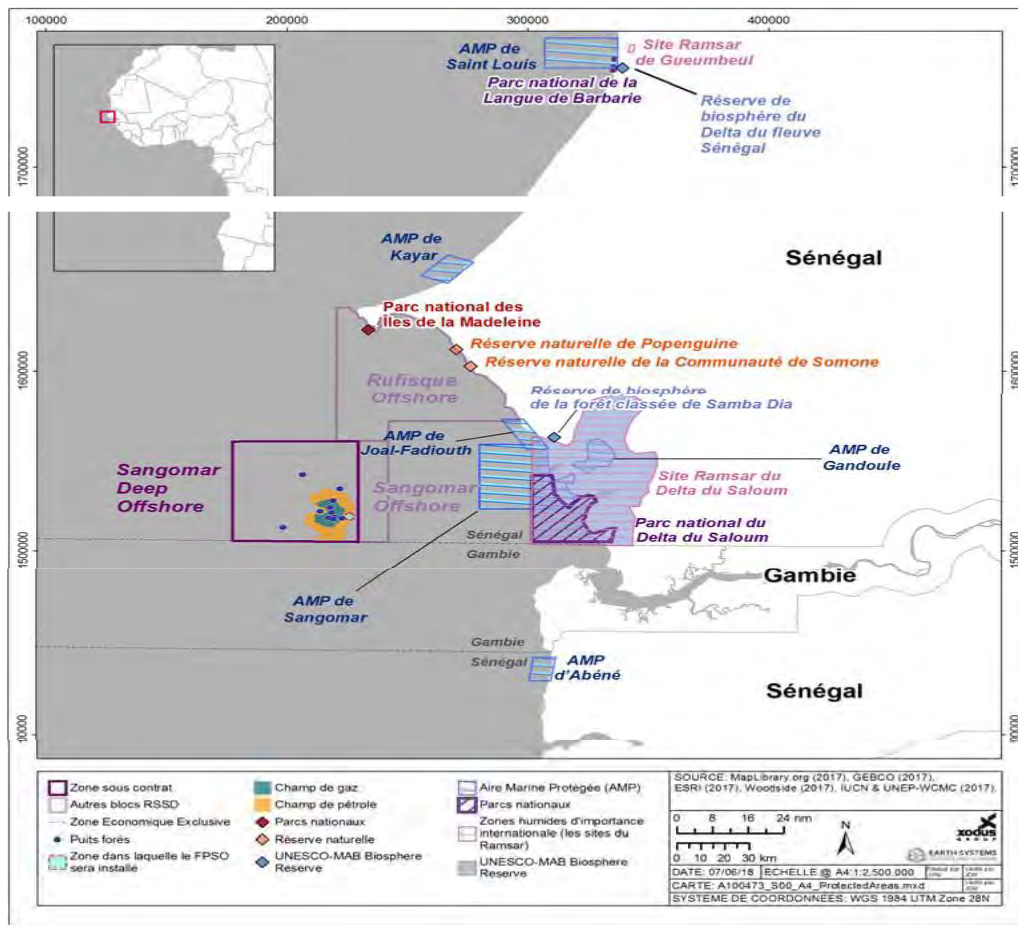


Figure 14: localisation de la zone d'exploitation pétrolière de Sangomar (Woodside, 2018)

La zone d'exploitation pétrolière de Sangomar, située à environ 90 km du littoral est assez proche des aires protégées comme l'AMP de Joal-Fadiouth, l'AMP de Sangomar et le PNDS.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

I. Matériels

I.1. Matériel biologique et matériels de terrain

- Notre étude porte sur des coquilles d'œufs de deux espèces d'oiseaux marins : la sterne royale (*Sterna maxima*) et la sterne caspienne (*Sterna caspia*).
- Post d'échantillonnage, gants et marqueurs

I.2 Matériels de laboratoire

- balance sartorius de précision 0,1 mg,
- fiole de 50 ml,
- micropipettes de 100µl et de 1000µl,
- éprouvette de 10 ml,
- pissette (acide nitrique 0,1 N),
- tube en téflon,
- entonnoir en verre (petit modèle)
- minéralisateur (plaque chauffante Odlab)
- réfrigérateur,
- spectromètre d'absorption atomique (S.A.A)

II. Méthodologie

II.1. Echantillonnage

Les échantillons ont été collectés au Parc National de la Langue de Barbarie, au Parc National du Delta du Saloum du Sénégal, à Bantambur et dans l'Archipel des Bijagós, en Guinée Bissau. La collecte de données concernait uniquement la sterne caspienne et la sterne royale. Les coquilles ont été collectées au niveau des aires de reproduction. Au PNDS, les échantillons sont collectés sur deux sites principaux : Ansoukala et l'île aux oiseaux. Les échantillons issus de l'Archipel de Bijagós ont été collectés à Accapa Imbone. La collecte des échantillons s'est faite par hasard, le nombre d'œufs par nid n'a pas été recensé. L'identification des œufs a été faite sur la présence des espèces qui se reproduisent dans le site au moment de la collecte.

Ce tableau ci-dessous indique le nombre d'échantillons pour chaque espèce, le site et la période de collecte.

Tableau III : nombre d'échantillons par cite et la période de collecte

Nombre d'échantillons	Espèce	Site	Période
9	Sterne royale	PNLB	Août 2019
10	Sterne royale	PNDS	Mai 2019
4	Sterne royale	Bantambur	Juin 2019
3	Sterne caspienne	Bantambur	Juin 2019
2	Sterne caspienne	Accapa Imbone	Juin 2019
1	Sterne royale	Accapa Imbone	Juin 2019



Figure 15: pôts d'échantillonnage contenant les échantillons

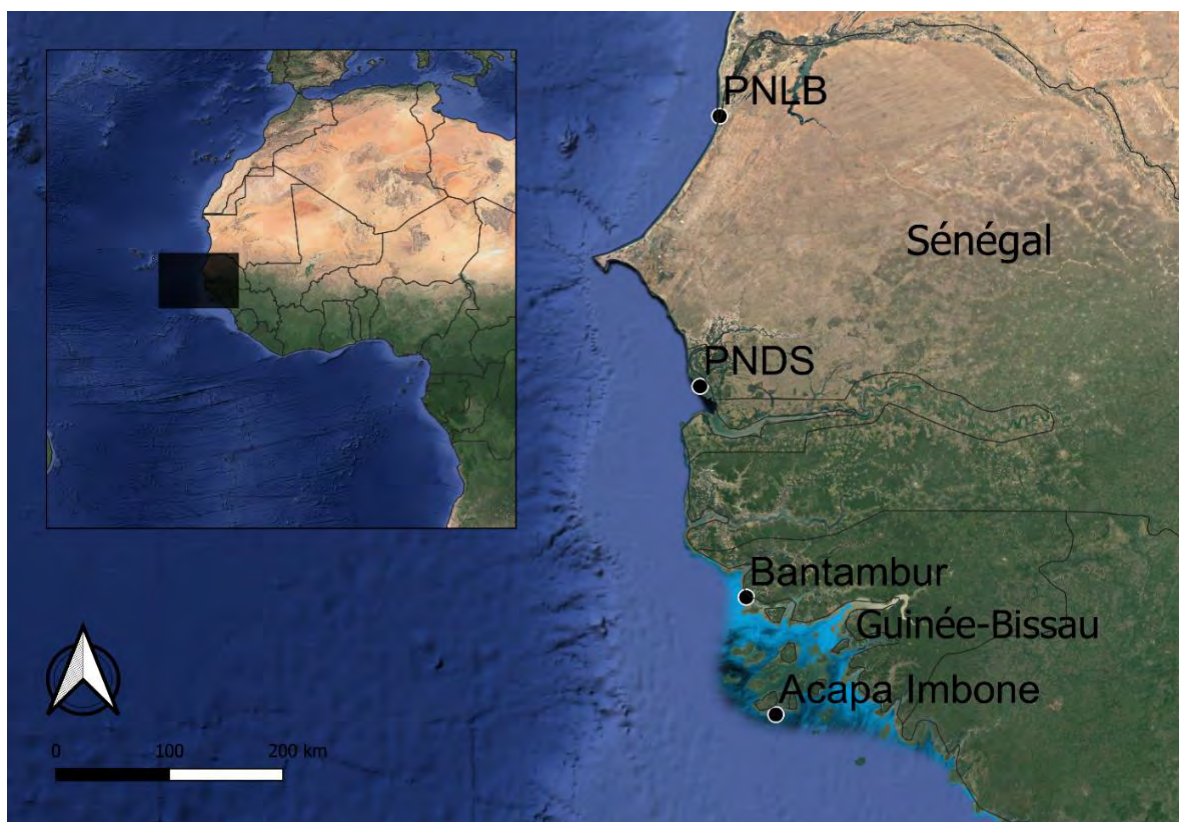


Figure 16 : localisation des différents sites d'échantillonnage des coquilles (Source des données Google Earth)

II.2. Localisation des sites d'études

Tableau IV: emplacement des sites de collecte

Sites	Pays	Coordonnées
PNLB	Sénégal	15.902N-16.512E
PNDS	Sénégal	13,664N-16,661E
Accapa Imbone	Guinée Bissau	11.011N-16.065E
Bantambur	Guinée Bissau	11.971N-16.303E

II.3. Analyses des échantillons

Les échantillons collectés ont été analysés au Centre Régional de Recherches en Ecotoxicologie et Sécurité Environnementale (CERES-Locustox) sis à Dakar. Ce centre est certifié pour l'analyse sur les pesticides depuis 2012 par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC). Cette accréditation a été renouvelée avec succès en Avril 2017. L'analyse des métaux lourds fait partie de ses compétences analytiques.

II.3.1. Préparation des échantillons, digestion et minéralisation

- Chaque coquille a été broyée individuellement. Puis, 0,5 g du broyat de chaque échantillon a été pesé à l'aide d'une balance et introduit dans un tube à téflon.
- La digestion des échantillons s'en est suivie. Pour cela, dans chaque tube contenant une coquille broyée, 15ml d'acide nitrique (HNO_3) pur, 6ml d'acide chlorhydrique (HCl) à 37,7% et 0,5µl d'acide perchlorique (HClO_4) à 15%, ont été ajoutés. Après fermeture des tubes, 6 autres ml d'acide nitrique ont été ajoutés dans le tube collecteur.
- Des solutions de dopage, des échantillons d'inter-comparaison de BIPEA et des blancs de réactifs ont été préparés en même temps pour chaque série. Le mélange a été mis en digestion toute une nuit avant de lancer la minéralisation. Cette minéralisation consiste à déposer les tubes contenant le mélange digéré sur le minéralisateur.

Programmation : La minéralisation a duré 24 heures environ. Elle comprend neuf segments et se déroule comme suit : au bout d'une minute, la température monte jusqu'à 120°C et reste là-bas pendant 15 minutes. En une minute encore, elle passe de 120 à 160°C et reste constante pendant 10 minutes. Une minute encore, elle passe de 160 à 200°C et reste là-bas pendant une heure et trente minutes. Une minute après, elle descend jusqu'à 140°C. Elle remonte encore jusqu'à 200°C pendant trente minutes et la minéralisation est ainsi complète.

Les méthodes d'analyse qui ont été appliquées sont celle ODLAB pour le cadmium, le chrome et le plomb et celle NFEN pour le mercure.

II.3.2. Lecture des métaux lourds sur le Spectromètre d'Absorption Atomique

Une fois la minéralisation terminée, les échantillons ont été récupérés dans des fioles de 50 ml. De l'eau acidifiée (0,1N) a été ajoutée jusqu'au trait de jauge. Chaque échantillon a été transvasé dans un tube QuEChERS qui a par la suite, été conservé dans un réfrigérateur à 4°C jusqu'à analyse.

L'analyse des quatre métaux recherchés dans le cadre de cette étude a été effectuée à l'aide du Spectromètre d'Absorption Atomique (SAA) avec modules four et hydrure. La quantification a été effectuée par utilisation de 20ml de solutions étalons de Cd, de Cr, de Pb et de Hg, de concentration égale à 1000 ppm.

Les limites de détection de ces métaux sont : 0,005 mg/kg pour le cadmium, 0,0004 mg/kg pour le chrome, 0,015 mg/kg pour le plomb et 0,005 mg/kg pour le mercure.

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

I. Résultats

I.1. Concentrations des métaux lourds dans les coquilles

Les résultats obtenus après lecture sur le Spectromètre d'Absorption Atomique sont indiqués dans le tableau ci-dessous

Tableau V: teneurs en métaux lourds des échantillons collectés

Espèce	Sites	Pays	Cadmium	Chrome	Plomb	Mercure
Sterne royale	PNLB	Sénégal	<LOD	1,54	3,892	0,089
Sterne royale	PNLB	Sénégal	0,0095	0,898	4,06	0,036
Sterne royale	PNLB	Sénégal	<LOD	0,736	3,594	0,023
Sterne royale	PNLB	Sénégal	0,1	0,446	2,368	0,038
Sterne royale	PNLB	Sénégal	<LOD	0,931	3,232	0,0585
Sterne royale	PNLB	Sénégal	0,0152	0,268	33,152	0,172
Sterne royale	PNLB	Sénégal	0,048	0,06	7,088	0,079
Sterne royale	PNLB	Sénégal	0,24	3,49367	8,872	<LOD
Sterne royale	PNLB	Sénégal	0,0008	0,34	3,88	0,084
Sterne royale	PNDS	Sénégal	0,006	2,621	3,936	<LOD
Sterne royale	PNDS	Sénégal	0,005	1,939	3,802	0,074
Sterne royale	PNDS	Sénégal	<LOD	3,05812	3,752	0,116
Sterne royale	PNDS	Sénégal	<LOD	1,64	3,91	0,142
Sterne royale	PNDS	Sénégal	0,0116	1,638	4,098	0,316
Sterne royale	PNDS	Sénégal	0,067	1,424	4,442	0,221
Sterne royale	PNDS	Sénégal	<LOD	0,654	2,54	0,343
Sterne royale	PNDS	Sénégal	<LOD	2,064	2,532	0,356
Sterne royale	PNDS	Sénégal	0,076	1,656	2,524	0,296
Sterne royale	PNDS	Sénégal	<LOD	4,52338	3,948	<LOD
Sterne caspienne	Accapa Imbone	Guinée	0,031	4,30725	5,12	0,016
Sterne caspienne	Accapa Imbone	Guinée	<LOD	4,516	4,882	0,049
Sterne caspienne	Bantambur	Guinée	0,007	3,696	4,328	0,258
Sterne royale	Accapa Imbone	Guinée	0,0052	2,564	4,304	0,355
Sterne royale	Bantambur	Guinée	<LOD	3,792	5,19	0,537
Sterne royale	Bantambur	Guinée	<LOD	2,876	5,248	0,215
Sterne caspienne	Bantambur	Guinée	0,059	3,34	4,646	0,031
Sterne caspienne	Bantambur	Guinée	<LOD	3,096	4,834	0,015
Sterne royale	Bantambur	Guinée	<LOD	3,992	4,204	0,249
Sterne royale	Bantambur	Guinée	<LOD	1,872	4,51	0,263

Ce tableau montre les concentrations de métaux lourds dans les échantillons des coquilles d'œufs de sterne royale et de sterne caspienne. Certains échantillons ont des teneurs inférieures à la LOD (Limite de Détection). Les teneurs en plomb semblent être plus importantes, ensuite celles en chrome s'en suivent. Le cadmium semble avoir les plus faibles concentrations dont la plupart sont en dessous de la limite de détection.

Tableau VI: limites de détection des métaux (LOD)

LOD(Cd) = 0,005ppm
LOD(Hg) = 0,005ppm
LOD(Pb) = 0,015ppm
LOD(Cr) = 0,0004ppm

I.1.1. Le cadmium

Cette figure montre les concentrations de cadmium dans les coquilles des espèces au niveau de chaque site de collecte.

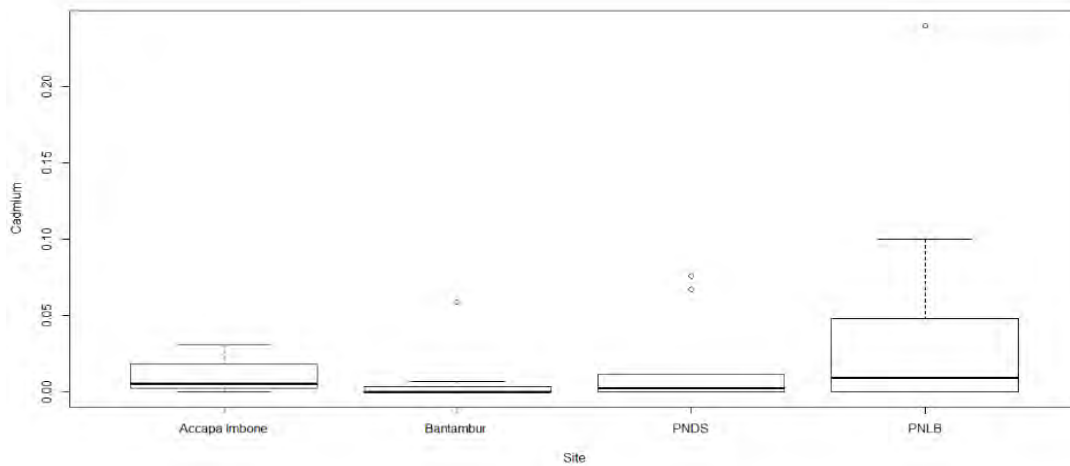


Figure 17: teneur en cadmium (mg/kg) dans les coquilles en fonction des sites de collecte.

Elle montre que le cadmium est présent dans tous les sites d'étude avec une concentration moyenne de 0,023 mg/kg. Les échantillons collectés au niveau du PNLB concentrent plus de cadmium avec une concentration maximale de 0.24 mg/kg et l'étendu est plus important à ce niveau. 25% des échantillons du PNLB ont des concentrations comprises entre 0,05 et 0,24 mg/kg. Ceux collectés au PNDS à Accapa Imbone et à Bantambur ont des concentrations en cadmium très faibles inférieures à 0,1 mg/kg. Les coquilles issues du PNLB concentrent plus de cadmium donc le PNLB est plus pollué par le cadmium que les autres sites. Le test de Kruskal Wallis montre qu'il n'y a pas de différence significative en cadmium entre ces sites d'étude (Kruskal-wallis chi-squared = 1.0083, df = 2, p-value = 0.604).

I.1.2. Le chrome

Cette figure montre les concentrations de chrome dans les coquilles des espèces au niveau de chaque site de collecte

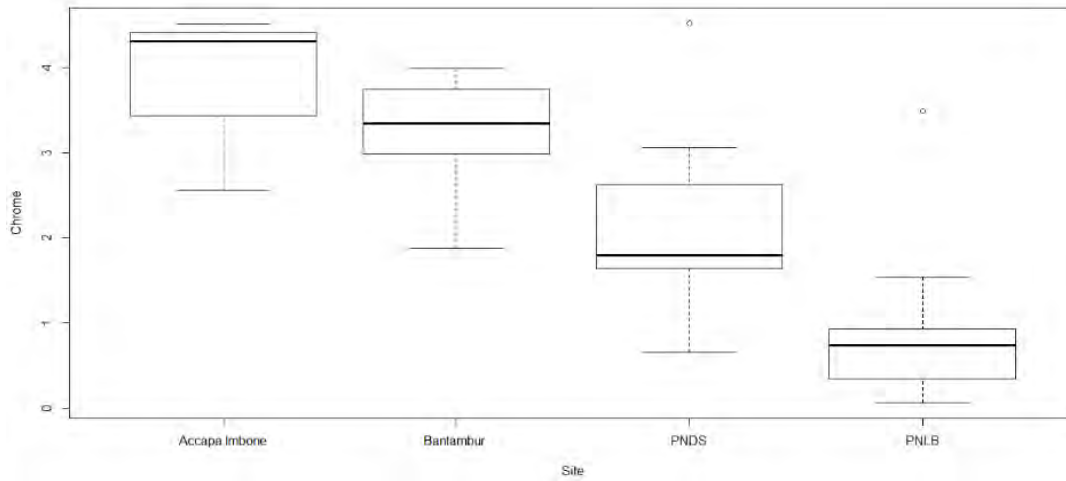


Figure 18: teneur en chrome (mg/kg) dans les coquilles en fonction des sites de collecte.

Il est également présent dans tous les sites de collecte avec des concentrations plus élevées que celles du cadmium. La concentration moyenne est de 2,206 mg/kg. Les coquilles issues d'Accapa Imbone sont plus contaminées avec 100% d'échantillons de concentrations comprises entre 2,5 et 4,5 mg/kg. Elles sont suivies par celles de Bantambur avec plus de 90% d'échantillons ayant chacun une concentration comprise entre 2 et 4 mg/kg. 50% des échantillons issus du PNDS ont chacun une concentration comprise entre 2 mg/kg et 4,52 mg/kg et c'est là où l'étendu est plus grand. Le PNLB est le lieu de collecte le moins pollué par le chrome que les autres sites. Le test de Kruskal Wallis (wallis chi-squared = 15.082, df = 2, p-value = 0.000531) montre qu'il y a une différence significative en chrome entre les différents lieux de collecte.

I.1.3. Le plomb

Cette figure montre les concentrations de plomb dans les coquilles des espèces au niveau de chaque site de collecte.

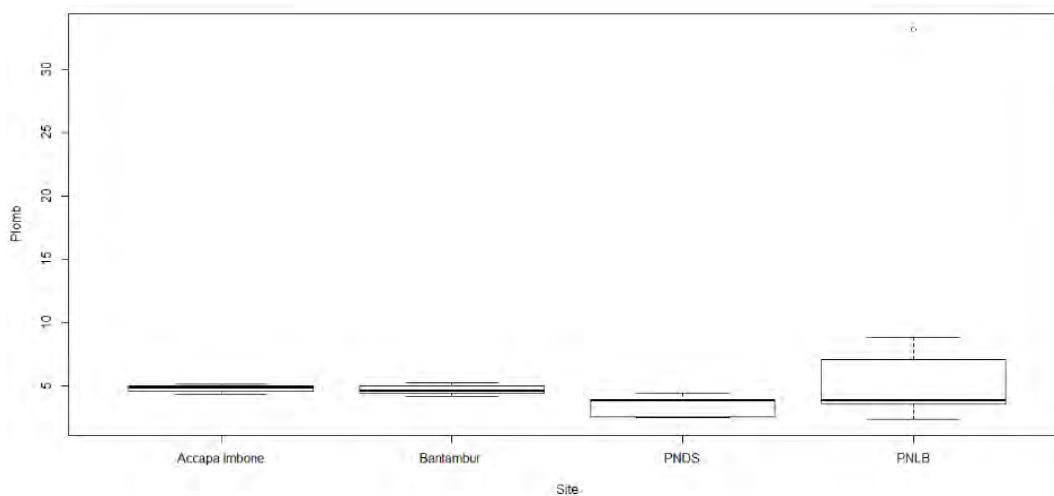


Figure 19: teneur en plomb (mg/kg) dans les coquilles en fonction des sites de collecte.

C'est le plus abondant parmi tous les métaux analysés avec sa plus grande concentration maximale de 33,152 mg/kg dans certaines coquilles collectées au niveau du PNLB. La moyenne est de 5,272 mg/kg. La dispersion est plus remarquable à ce niveau avec 50% des coquilles dont leurs teneurs sont entre 5 mg/kg et 33,152 mg/kg. Il atteint aussi une teneur de 5,248 mg/kg dans des coquilles issues de Bantambur, 5,12 mg/kg pour celles d'Accapa Imbone et de 4,442 mg/kg dans le PNDS en teneur maximale. Ces résultats montrent que le PNLB est le site le plus pollué par le plomb suivi de Bantambur. Le PNDS est le moins contaminé parmi les sites. La différence en plomb entre ces zones de collecte est significative (Kruskal-wallis chi-squared = 9.6828, df = 2, p-value de 0.007896).

I.1.4 Le mercure

Cette figure montre les concentrations de mercure dans les coquilles des espèces au niveau de chaque site de collecte.

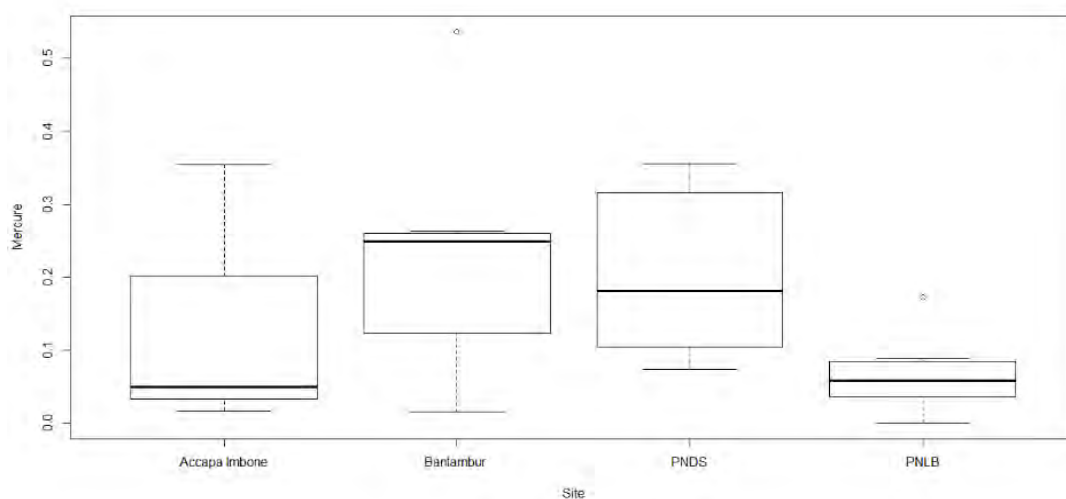


Figure 20: teneur en mercure (mg/kg) dans les coquilles en fonction des sites de récoltes.

Il est aussi présent dans tous les échantillons analysés avec une concentration moyenne de 0,159 mg/kg. Sa plus grande concentration maximale est de 0,537 mg/kg dans les coquilles issues de Bantambur en Guinée et c'est là où l'étendu est plus ample. Les coquilles collectées à Accapa Imbone et au PNDS atteignent des concentrations maximales respectives de 0,356 mg/kg et 0,352 mg/kg mais il est nécessaire de constater que 50% des échantillons du PNDS ont des teneurs situées entre 0,2 et 0,37 mg/kg alors que seul 25% de ceux d'Accapa ont des concentrations comprises entre ces deux valeurs. Les coquilles issues de Bantambur concentrent plus ce métal suivi de celles du PNDS et d'Accapa. Celles du PNLB sont moins contaminées (0,172 mg/kg). Il n'y a pas de différence significative en mercure entre les lieux d'étude (Kruskal-wallis chi-squared = 3.2207, df = 2, p-value = 0.2).

II. Discussion

Cette étude montre les valeurs de référence des métaux lourds contenus dans les coquilles de sterne royale et de sterne caspienne au Sénégal et en Guinée Bissau.

Les teneurs en métaux lourds dans les œufs sont examinées dans le cadre de cette étude pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les femelles adultes peuvent transférer les polluants dans les œufs pour les éliminer de leur corps (Wiemeyer et *al.*, 1984; Bargar et *al.*, 2001). Ainsi, la détermination des contaminants dans les œufs peut être un bon indicateur de l'exposition locale des adultes à ces micropolluants (Burger, 1994). Ensuite les femelles reproductrices de la plupart des espèces d'oiseaux passent des semaines dans leur lieu de reproduction avant de pondre, ce qui leur laisse suffisamment de temps pour absorber les contaminants locaux, qui sont ensuite transférés dans les œufs (Burger, 1994 et 2002). Mais étant donné que ces métaux sont peu métabolisés, il est possible que leur exposition ait lieu avant leur séjour dans ces sites. L'analyse de marqueurs biochimiques spécifiques à la biotransformation des métaux, aurait pu permettre d'avoir une meilleure idée des sources d'exposition et donc de contamination.

Par ailleurs, l'utilisation des œufs pour l'analyse des contaminants élimine bon nombre des problèmes liés à l'échantillonnage des tissus comme le foie par exemple. De plus, les œufs sont produits par un segment clairement identifié de la population, les femelles adultes, bien qu'à certains égards, cela puisse être une limite car il exclut une grande proportion de la population. L'échantillonnage des œufs prend moins de temps. En plus, ils sont plus faciles à manipuler et à stocker que les oiseaux et cause moins de pression sur la population que l'échantillonnage des adultes et sont aussi l'indicateur d'exposition des oiseaux aux polluants selon différents offices telles que OSPAR et USEPA.

Les résultats obtenus montrent que les coquilles d'œufs de sterne royale et de sterne caspienne sont contaminées par le cadmium, le chrome, le plomb et le mercure. Les concentrations de chrome et celles de plomb sont importantes contrairement aux concentrations de cadmium et de mercure. En ce qui concerne le cadmium, les concentrations détectées dans les coquilles varient entre 0,006 mg/kg (sterne royale, PNDS) à 0,24 mg/kg (sterne royale, PNLB), celles du mercure sont entre 0,015 mg/kg (sterne caspienne, Archipel de Bijagos) à 0,537 mg/kg (sterne royale, Archipel de Bijagos). Les teneurs en chrome varient entre 0,06 mg/kg (sterne royale, PNLB) à 4,523 mg/kg (sterne royale, PNDS). Celles du plomb sont entre 2,532 mg/kg (sterne royale, PNDS) à 33,152 mg/kg (sterne royale, PNLB) ; cette variation est la plus importante. Les teneurs les plus élevées ne proviennent pas du même oiseau. Le plomb est le polluant le plus abondant dans tous les sites, suivi du chrome, du mercure et le cadmium est le métal le moins abondant. Ces valeurs montrent que ces espèces ont concentré plus de plomb et de

chrome que de cadmium et de mercure. Le plomb est le métal le plus abondant, suivi du chrome ensuite le mercure et le cadmium est le moins abondant (voir Tableau V).

L'âge est un facteur expliquant les variations interindividuelles et les oiseaux de mer ont une certaine capacité à réguler leur niveau tissulaire en cadmium (Walsh, 1990). Plusieurs auteurs ont suggéré que très peu de cadmium et de plomb sont transférés du corps de la femelle vers les œufs (Furness 1993), bien que Burger (1994) ait souligné que la formation de l'œuf constitue une méthode d'excrétion pour des métaux tels que le Cadmium et le Plomb. Néanmoins, une tendance peut être dessinée dans certaines populations à concentrer davantage de polluants dans leurs organismes. C'est le cas de la population de sternes royales du PNLB qui semble être trouvée avec plus de plomb et de chrome dans leurs œufs qu'à Bantambur.

Les grandes villes comme Saint-Louis (237 563 ha en 2015) à 20 km au Nord du parc, peuvent polluer directement le fleuve et éventuellement la zone d'alimentation de la colonie d'oiseaux. En effet les pollutions des eaux de Saint Louis et Dakar transportées dans les estuaires ont été confirmées par une étude (Diop *et al.*, 2014). Les aires protégées de la ville de Saint-Louis très proche de la zone d'étude élargie (projet de production de gaz Grand Tortue / Ahmeyim Phase 1) seront les premières victimes de déversement d'hydrocarbures lors des exploitations. Certaines étant déjà contaminées, tout déversement aggravera la situation et va impacter négativement la biodiversité.

Tout déversement pendant l'exploitation au niveau de la zone de Sangomar augmentera la pollution dans ces zones et les répercussions sur la faune et la flore seront fatales. Les résultats décelés par notre étude méritent une attention particulière car ces zones sont déjà contaminées et l'exploitation des ressources pétrolières et gazières peuvent aggraver la situation si toute fois des mesures nécessaires ne seront pas prises.

Par ailleurs, dans la littérature, plusieurs études ont décelé la présence de micro-contaminants chez les oiseaux marins (foie, tissus, œufs, plume etc.) Des études antérieures au niveau du PNDS et du PNLB ont montré des teneurs beaucoup plus faibles en plomb dans les coquilles de sterne royale (PNLB), 1,4 µg/kg (Guèye *et al.*, 2019) qui est inférieures à celles décelées par notre étude (33,152 mg/kg dans les coquilles de sterne royale). Leur étude montre des teneurs en cadmium qui varient entre 0,12 µg/kg (mouette à tête grise, PNDS) et 0,53 µg/kg (sterne caspienne, PNDS) alors que notre étude montre des teneurs en cadmium égales à 0,24 mg/kg. Par contre selon Guèye *et al.*, (2019) le mercure a été uniquement observé dans les coquilles de sterne royale au niveau du PNLB avec une concentration de 0,052 µg/kg et pas dans celles de la sterne caspienne alors nos résultats montrent que les coquilles de sterne royale du PNDS sont contaminées par le mercure dont la plus grande concentration est de 0,537

mg/kg : il y a donc une augmentation du rejet de mercure dans ces zones et donc plus d'exposition. Une étude antérieure a trouvé une concentration en plomb plus faible, 1,2 mg/kg dans les coquilles des oeufs de sterne de rosée (*Sterna dougallii*) aux USA (Burger, 1994). D'autres études ont trouvé aussi des concentrations en plomb semblables à celles de notre étude, 11 mg/kg et 39 mg/kg respectivement dans les coquilles des oeufs d'albatros à queue courte (*Phoebastria albatrus*) et d'albatros à pieds noirs (*Phoebastria nigripes*) au Japon (Ikemoto et al., 2005). Burger (1994), a trouvé des concentrations en cadmium à peu près égales à celles décelées par notre étude, 0,1 mg/kg et 0.05 mg/kg respectivement dans les coquilles des oeufs sterne de rosée et de goéland argenté (*Larus argentatus*) collectés aux USA. Les concentrations de chrome trouvé par Burger (1994) sont semblables à celles de notre présente étude ; 2,7 mg/kg dans des coquilles de goéland argenté et 1,2 mg/kg dans les coquilles de sterne de rosée. De même, les teneurs en mercure de Burger (1994) sont conformes à nos résultats : 0,23 mg/kg dans les coquilles de goéland argenté et 0,202 mg/kg dans celles de sterne de rosée aux USA. La concentration moyenne de cadmium (0,931 mg/kg) de Ayas et al., (2007) est supérieure à cette de notre étude par contre celle de plomb (4,567 mg/kg) est en dessous de la nôtre.

Les concentrations de plomb, de mercure et de chrome ont été significativement plus élevées dans le contenu que dans les coquilles (Burger 1994). Selon lui, le cadmium est plus concentré dans les coquilles que dans le contenu des œufs. Selon Agusa (2008), le plomb est plus abondant dans le corps que dans les plumes et les œufs ; le mercure est plus abondant dans les plumes, peu important dans le corps mais faibles dans les œufs et les plumes. Le cadmium et le chrome sont également plus abondants dans le corps mais très faibles dans les œufs et dans les plumes. Les niveaux de chrome et de plomb sont généralement plus élevés chez les espèces d'oiseaux qui se nourrissent d'invertébrés parce qu'ils s'y accumulent le plus (Burger, 2002). Nos résultats confirment cette observation car la sterne royale qui se nourrit à la fois de poissons et d'invertébrés (crabes, crevettes, calamars, etc) présente des niveaux plus élevés de plomb et de chrome. Le cadmium ne semble pas être transmis à l'œuf en grande quantité (Burger, 1993) et confirme nos résultats sur cadmium. Le seuil de toxicose au mercure dans les œufs a été estimé compris entre 1,0 et 3,6 mg/kg (Stoneburner et al., 1980) ; la concentration moyenne de mercure (0,159 mg/kg) obtenue dans cette étude est plus petite que la limite inférieure de ce seuil. Par exemple, une concentration de 1,10 mg/kg de mercure dans un œuf peut réduire de 10% le succès d'éclosion (Jackson et al. 2011). Une gamme d'effets, y compris la mortalité, des taux d'éclosions abaissés, des défauts de poussins et d'autres effets neurocomportementaux peuvent se produire lorsque les niveaux d'œufs sont aussi bas que 0,5 ppm et des effets plus graves se produisent généralement à 1,0-2,0 mg/kg (Eisler, 1987), supérieure à la concentration moyenne

de mercure décelée par notre étude. Les concentrations de mercure de notre étude ne dépassent pas l'intervalle indiqué ici (1,0-2,0 ppm). Le mercure peut provoquer l'amincissement de la coquille des œufs en laboratoire, ainsi qu'une réduction de la production d'œufs, des œufs plus légers et une altération du comportement des poussins (White, et *al.*, 1984).

Le niveau potentiellement toxique pour le plomb est de 3,20 mg/kg (Luo et *al.*, 2016). Donc il est fort probable que ce polluant impacte la reproduction de ces oiseaux. Les concentrations de plomb de notre étude dépassent de loin cette valeur. Le plomb peut impacter négativement les performances de reproduction et causer des troubles du comportement (Burger et Gochfeld, 2000). Le plomb entraîne également une diminution de la ponte et de la taille des œufs, la mortalité des embryons et des oisillons, une diminution de la croissance et des déficits de comportement qui affectent la survie. Le plomb diminue le comportement migratoire et augmente la vulnérabilité au stress dû au froid (Burger, 1995).

Le niveau de chrome pouvant avoir des effets toxiques sur les oiseaux est de 2,8 mg/kg (Copat et *al.*, 2020) et la moyenne de chrome de cette présente étude est supérieure à cette valeur.

Pour le cadmium le niveau toxique indiqué par Luo et *al.*, (2016) est 1,20 mg/kg qui plus grand que toutes les teneurs en cadmium de notre présente étude. Donc il semble que pour le moment le cadmium peut ne pas avoir d'effets sur la reproduction de ces oiseaux. Le cadmium et le plomb peuvent perturber le métabolisme du calcium (Ca) en se substituent avec le Ca²⁺ et peuvent interagir avec les tendances, nuisant au contenu des et fragilisant les coquilles d'œufs (Richards et Packerd, 1996). Les contaminations au stade poussin peuvent se produire via la nourriture fournie par les parents (Paiva et *al.*, 2008), ou directement pendant la phase de développement. La présence et l'absence d'un embryon influencent l'absorption de métaux lourds dans les coquilles d'œufs et leur contenu (Orlowski et *al.*, 2016). En effet, une partie des polluants présents chez les adultes passent dans les plumes et, chez les femelles, également dans les œufs, façon pour les oiseaux de réduire leur niveau de contamination, et expliquant le pattern communément observé d'une contamination plus élevée chez les mâles que chez les femelles (Burger et *al.*, 1994; Provencher et *al.*, 2016; Robinson et *al.*, 2012).

Des objectifs environnementaux ont été définis concernant les concentrations des contaminants dans l'eau (conformément à la Directive-cadre Eau (DCE)), le biote, les sédiments et les œufs des oiseaux; et concernant leurs effets sur l'écosystème. La DCE a défini les normes de qualité environnementale (NQE) pour 33 substances prioritaires dont 13 ont été qualifiées de dangereuses. Ces NQE sont exprimées en valeur moyenne annuelle (NQE-MA).

Tableau VII: Normes de qualité environnementale (NQE révisées par la directive 2013/39) pour le Cd, le Cr, le Pb et le Hg comparées à nos résultats.

Polluants	NQE (Biotes) en mg/kg	Teneur max dans les œufs) en mg/kg
Cadmium	1,5	0.24
Chrome	1,2	4,51
Plomb	2,07	33,15
Mercuré	0.2	0,52

Ce tableau montre que les concentrations maximales des polluants décelées par notre étude sont supérieures aux concentrations indiquées par la NQE.

CONCLUSION, PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS

Ce travail montre que les œufs de sterne royale et ceux de sterne caspienne sont contaminés par le plomb, le cadmium, le chrome et le mercure. Les résultats obtenus révèlent que le plomb est le polluant le plus abondant surtout au niveau du PNLB avec une concentration de 33,152 mg/kg dans certaines coquilles de sterne royale. Le mercure métal lourd hautement toxique, est très faible dans les coquilles des œufs des espèces concernées étudiées ici.

A Accapa Imbone et à Bantambur les concentrations de plomb et de chrome sont à peu près égales. Les teneurs en cadmium et celles en chrome ne connaissent de variations importantes dans les différents sites de collectes, tandis qu'il y a des différences significatives de chrome et de plomb entre ces différentes zones.

Les résultats obtenus révèlent la contamination de ces oiseaux par ces métaux et donc il est fort probable que les lieux d'étude soient pollués. Cette contamination de ces oiseaux pourrait être issue de leur nourriture (les crevettes et les poissons par exemple). Tout diversement de composés toxiques lors des phases d'exploitation pétrolière et gazière pourra impacter très négativement la population de ces oiseaux. Si toutefois des mesures ne seront pas prises, les conséquences qui en découleront, pourront être incontrôlables.

En perspective il faut :

- ✓ Faire attention par rapport aux contaminants pour éviter des dysfonctionnements écologiques,
- ✓ Renforcer la réglementation vis-à-vis de la manipulation et de l'utilisation de ces produits au Sénégal

Pour un état de référence plus complète, il est aussi recommandé :

- ✓ d'étendre cette étude dans les autres aires de nidification de ces espèces au Sénégal et sur d'autres espèces comme les cormorans et les pélicans.
- ✓ de rechercher d'autres contaminants tels que les HAP et POP sur d'autres organes d'oiseaux comme les plumes, les excréments etc ?
- ✓ Identifier les zones d'alimentation de ces espèces dans le but de repérer de potentielles sources de pollution,
- ✓ mesurer l'épaisseur des coquilles avant de procéder aux analyses,
- ✓ procéder aux analyses de contenu d'œufs comme recommandé par la convention OSPAR.

BIBLIOGRAPHIE

1. Agusa, T. (2005). Body distribution of trace elements in black-tailed gulls from Rishiri Island, Japan: age-dependent accumulation and transfer to feathers and eggs. *Environ Toxicol Chem*, 24:2107–2120.
2. Alloway, B.J. and Ayres, D.C. (1997). Chemical Principles of Environmental Pollution. Blackie Academic and Profesional, an imprint of Chapman and Hall, London, 394 pp.
3. Amiard J.C., Amiard –Triquet C., Berthet B. and Metayer C. (1987). Comparative study of the patterns of bioaccumulation of essential (Cu, Zn) and non–essential (Cd, Pb) trace metals in various estuarine and coastal organisms. *Journal Exposition marine. Biology. Ecology*. 106: 73-89.
4. Ankh Consultants. (2015). Etude d'impact environnemental et social des travaux de protection côtière dans le Gandiolais (littoral nord). Rapport DEEC, Dakar.
5. Ayaş, Z. (2007). Résidus d'oligo-éléments dans les coquilles d'œufs du héron cendré (*Ardea cinerea*) et du héron nocturne à couronne noire (*Nycticorax nycticorax*) de Nallihan Bird Paradise, Ankara-Turquie. *Écotoxicologie*, 16 (4), 347–352.
6. Ba, K. (2013). Apport de la télédétection et des SIG dans l'étude de l'évolution de la langue de barbarie et de l'estuaire du fleuve Sénégal. Thèse, Géosciences; Géo-Ressources, Environnement, Imagerie, Aménagement. Ecole doctorale: Physique, Chimie, Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'Ingénieur : Université de Dakar. 223p.
7. Bargar, T. A., Scott, G. I. and Cobb, G. P. (2001). Maternal transfer of contaminants: case study of the excretion of three polychlorinated biphenyl congeners and technical-grade endosulfan into eggs by white leghorn chickens (*Gallus domesticus*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20, 61-67.
8. Beaune, D., Cadiou, B., Carrié, A., Ducatez, S., Leys, M., Dias, M., Bichet, C., Ropertccoudert, Y., Gaget, E., Fernandez, C., Bartolomucci, C., Dossa, J. (2020). Manuel de base pour la conservation des oiseaux marins en Afrique de l'Ouest. Dakar, Sénégal : Secrétariat de Partenariat International de Birdlife en Afrique. 145p.
9. Bunyan, P.J. et Stanley, P.I. (1982). Mécanismes toxiques chez les animaux sauvages. *Regul. Toxicology. and Pharmacology.*, 2, 106-45.
10. Burger, J., Gochfeld, M., (2000). Effects of lead on birds (Laridae): a review of laboratory and field studies. *J. Toxicology Environmental Health* 3, 59–78.
11. Burger, J., and Gochfeld, M. (2001). Effects of chemicals and pollution on seabirds. *Biology of Marine Birds*.

12. Burger, J. (1994). Heavy metals in avian eggshells: another excretion method. *Toxicology Environmental Health* 41:205-218.
13. Burger, J. (1995). A risk assessment for lead in birds. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 45(4), 369–396.
14. Burger, J. (2002). Food Chain Differences Affect Heavy Metals in Bird Eggs in Barnegat Bay, New Jersey. *Environmental Research Section A*, 90 : 33-39.
15. Burger, J., Pokras, M., Chafel, R. and Gochfeld, M. (1994). Heavy metal concentrations in feathers of Common Loons (*Gavia immer*) in the northeastern United States and age differences in mercury levels, *Environmental Monitoring and Assessment*, 30(1),p. 1-7.
16. Catry, P. et al. (2002) First census of the green turtle at Poilão, Bijagós Archipelago. The most important nesting colony of the Atlantic coast of Africa. *Oryx* 36(4): 400-403.
17. Centre de Suivi Ecologique (2015). Plan d’adaptation aux changements climatiques du conseil locale de pêche artisanale de Saint Louis: 2015-2020. Rapport. 63p.
18. Copat, C., Ferrante, M., Hernout, B., Giunta, F., Grasso, A., Messina, A., Grasso, R., and Spena, M.T. (2020). Trace Element Bioaccumulation in Stone Curlew (*Burhinus oedicnemus*, Linnaeus, 1758): A Case Study from Sicily (Italy). *International Journal of Marines Sciences*. 19p.
19. Daby, D. (2006). Coastal pollution and potential biomonitors of metals in Mauritius. *Water, Air and soil pollution*, 174, 63-91.
20. Dia, M.S.M. (2014). Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar (FDR) 2009 – 2014. IBAP. 13P.
21. Diagana, C. and Dodman, T. (2002). Number & distribution of waterbird in africa, results of the African waterbird census/ effectif et distribution des oiseaux d’eau en Afrique, résultats des dénombrements des oiseaux d’eau en Afrique 2002-2003 & 2004. *Wetlands International*, 323p.
22. Diankha, O. (2018). Résultats préliminaire sur les peuplements halieutiques du Parc national de la Langue de Barbarie (Saint-Louis). Rapport, Saint-Louis. 11p.
23. Diankha, O. Gueye, I. Niang, C. et Camara, S. (2019). États de référence des micro-contaminants dans d'oiseaux piscivores du Parc National du Delta du Saloum et du Parc National de la langue de Barbarie avant l’exploitation du pétrole et du gaz au Sénégal. Rapport technique. Direction des Parcs Nationaux. 41p.
24. Diop, C., Dewaelé, D., Diop, M., Touré, A., Cabral, M., Cazier, F., Fall, M., Diouf, A. et Ouddane, B. (2014). Distribution et spéciation chimique des métaux traces dans la

- colonne d'eau de la côte de Dakar et de l'estuaire de Saint Louis du Sénégal, Afrique de l'Ouest. *Bulletin de la Pollution Marine*, 86 (1-2), pp. 539-546.
25. Diouf, P.S. (1996). Les peuplements de poissons des milieux estuariens de l'Afrique de l'Ouest : l'exemple de l'estuaire hyper halin du Sine-Saloum. Thèse de Doctorat, Uni. de Montpellier II, 267 p.
 26. Diouf, P.S.; Deme,G.; Albaret, J. J., 1994. L'Archipel des Bijagós: Environnement aquatique et peuplements de poisson. 87 p.
 27. Direction des Parcs Nationaux. (2010). Plan de gestion du Parc National du Delta du Saloum (2010-2014), 86p.
 28. Direction des Parcs Nationaux. (2010). Plan de gestion du Parc National de la Langue de Barbarie 2010-2014. Rapport, Dakar. 80 p.
 29. Draft. (2011). Réserve de biosphère de l'Archipel Bolama-Bijagós Plan d'Action 2012 – 2016. IBAP. 25p.
 30. Eisler, R. (1987). Mercury Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review. U.S. Fish and Wildlife Service Biol. Rep. 85 (1.1).
 31. Furness, R. (1993). The role of eggs in mercury excretion by Quail *Coturnix coturnix* and the implications for monitoring mercury pollution by analysis of feathers. *Ecotoxicology*, 2 (1), pp. 55-64.
 32. Gill, F and D Donsker (Eds). (2019). IOC World Bird List (v9.2). doi : 10.14344/IOC.ML.9.2.
 33. Gobas, F. A. P. C. and H. A. Morrison (2000). Bioconcentration and biomagnification in the aquatic environment. Handbook of property estimation methods for chemicals. R. S. Boethling and D. Mackay. Boca Raton, FL, CRC Press: 189-231.
 34. Gueye S. (2012) : Discours d'ouverture de la Conférence sous régionale GI WACAF sur le régime international d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution par les hydrocarbures.
 35. Hammami. (2010). La pollution des eaux par les métaux lourds. Les IIIème Olympiades Tunisiennes de Chimie. Communication Scientifique. Tunis-Tunisie. 30 p.
 36. IBAP. (2007). Estrategia Nacional para as Áreas protegidas e a Conservação da Biodiversidade na Guiné-Bissau 2007-2011. Bissau, 78 pag. Republica da Guiné-Bissau.
 37. Ikemoto, T0, Kunito, T., Tanabe, S., Tsurumi, M., Sato, F. and Oka, N. (2005). Non-destructive monitoring of trace element levels in short-tailed albatrosses (*Phoebastria albatrus*) and black-footed albatrosses (*Phoebastria nigripes*) from Torishima Island,

- Japan using eggs and blood. *Marine Pollution Bulletin*. 51:889–895.
38. Jackson AK and al (2011). Mercury exposure affects the reproductive success of a free-living terrestrial songbird, the carolina wren (*Thryothorus ludovicianus*). *Auk* 128:759-769.
 39. Kane, C. (2010). Vulnérabilité du système socio-environnemental en domaine sahélien : l'exemple de l'estuaire du fleuve Sénégal: de la perception à la gestion des risques naturels. Thèse, Géographie. Université de Strasbourg. 292 p.
 40. Kaiser, J. (2001). Bioindicators and Biomarkers of Environmental Pollution and Risk Assessment (Enfield: Sciences publishers inc.).
 41. Kama, M. (2011). Suivi de la Sterne caspienne (*Sterna caspia*) dans la réserve naturelle d'intérêt communautaire de Somone : décompte et étude comportementale, mémoire de diplôme de master II, écologie et gestion des écosystèmes, département de biologie animale, Université Cheikh Anta Diop (Sénégal), 34 p.
 42. Liehr, G.A., Zettler, M.L., Leipe, T. and Wilt, G. (2005). The ocean quahog *Arctica islandica* L. : a bioindicator for contaminated sediments. *Marine biology*, 147, 671-679.
 43. Luo, J., Ye, Y., Gao, Z., and Wang, W. (2016). Trace element enrichment in the eggshells of *Grus japonensis* and its association with eggshell thinning in Zhalong Wetland (Northeastern China). *Biology*, 71(2).
 44. Mullarney, K., Svensson, L., Zetterstrom, D. and Grant, P.J. (2004).- Le guide ornitho. Delachaux et Niestlé. 399 p.
 45. Ohlendorf, H.M., Hothem, R.L., Welsh, D., 1989. Nest success, cause-specific nest failure, and hatchability of aquatic birds at selenium-contaminated Kesterson reservoir and a reference site. *Condor* 91, 787–796.
 46. Orłowski, G., Halupka, L., Pokorny, P., Klimczuk, E., Sztwiertnia, H., Dobicki, W., (2016). The effect of embryonic development on metal and calcium content in eggs and eggshells in a small passerine. *Ibis* 158, 144–154.
 47. PADT_NG. (2018). Plan d'Aménagement et de Développement Territorial de la commune de Ndiébène Gandiol, en cours. Rowe CL (2008) “The Calamity of So Long Life”: Life Histories, Contaminants, and Potential Emerging Threats to Long-lived Vertebrates. *Bioscience* 58:623-631.
 48. Paiva, V. H., Tavares, P. C., Ramos, J. A., Pereira, E., Antunes, S. and Duarte, A. C. (2008). The influence of diet on mercury intake by Little Tern chicks, *Archives of environmental contamination and toxicology*, 55(2), pp. 317-328.

49. Provencher, J., Gilchrist, H., Mallory, M., Mitchell, G. and Forbes, M. (2016). Direct and indirect causes of sex differences in mercury concentrations and parasitic infections in a marine bird, *Science of the Total Environment*, 551-552, pp. 506-512.
50. Richards, M.P., Packard, M.J., 1996. Mineral metabolism in avian embryos. *Poul Avian Biol Rev* 7, 143-161.
51. Robinson, S. A., Lajeunesse, M. J. and Forbes, M. R. (2012). ex differences in mercury contamination of birds: testing multiple hypotheses with meta-analysis, *Environmental science and technology*, 46(13), pp. 7094-7101.
52. Schepers, FJ., G.O. Keijl, PL.Meininger et J.B. Rigoulot. (1998). Oiseaux d'eau dans le Delta du Sine-Saloum et Petit Côte, Sénégal, Janvier 1997. Groupe International de Recherches sur des Oiseaux d'Eau et des Zones Humides (Fondation WIWO). Direction Parcs Nationaux du Sénégal. WIWO-report 60. ZeisUDakar.
53. Sall, M. (2006). Crue et élévation du niveau marin à Saint-Louis du Sénégal: impacts potentiels et mesures d'adaptation. Thèse, Géographie. Université du Maine. 332p.
54. Shaffer, F., M. Robert, J-F. Rail et V. Létourneau. (2004). La Sterne caspienne (*Sterna caspia*) : bilan des connaissances et situation au Québec. Série de rapports techniques No 415, Service canadien de la faune, région du Québec, Environnement Canada, Sainte-Foy, Québec, 61p.
55. Simao, D. S. A. (1994). Contribution à l'étude scientifique de l'Archipel des Bijagos (Guinée-Bissau) dans la perspective d'un projet de réserve de biosphère, Université de Bretagne occidentale. 6p.
56. Sylla, T. (2018). Analyse de la vulnérabilité des écosystèmes du Parc National de la Langue de Barbarie face aux effets combinés de la brèche et des changements climatiques. Mémoire Ecologie et Gestions des Ecosystèmes. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 37p.
57. Stoneburner, DL, Patty, PC et Robertson, WB (1980). Preuve d'accumulations de métaux lourds chez les sternes fuligineuses. *Science de l'environnement total*, 14 (2), 147-152.
58. Tartu, S., Angelier, F., Wingfield, J. C., Bustamante, P., Labadie, P., Budzinski, H., Weimerskirch, H., Bustnes, J. O. and Chastel, O. (2015a). Corticosterone, prolactin and egg neglect behavior in relation to mercury and legacy POPs in a long-lived Antarctic bird, *Science of the Total Environment*, 505, pp. 180-188.

59. Tartu, S., Goutte, A., Bustamante, P., Angelier, F., Moe, B., Clément-Chastel, C., Bech, C., Gabrielsen, G. W., Bustnes, J. O. and Chastel, O. (2013). To breed or not to breed: endocrine response to mercury contamination by an Arctic seabird, *Biology Letters*, 9.
60. Tfeila1 M. M., Ouled Kankou M.O.S.A., Souabi1 S., Aboulhassan M. A et Taleb A., Bouezmarni M. (2015). Suivi de la qualité physicochimique de l'eau du fleuve Sénégal: Cas du captage du Beni Nadji alimentant en eau potable les wilayas de Nouakchott. Article, 7 (1), 148-160.
61. Veen, J, Peeters. J, et Mullié W. C. (2004). Manuel pour le suivi des colonies de nidification d'oiseaux marins en Afrique de l'Ouest. Rapport, Wetlands International, Dakar/Veda Consultancy, The Netherlands, 97p.
62. Walsh, PM (1990). L'utilisation des oiseaux de mer comme moniteurs des métaux lourds dans l'environnement marin, dans Furness, NW et Rainbow, PS (éds.) Les métaux lourds dans l'environnement marin: CRC Press Boca Raton, FL, pp. 183-204.
63. White, DH, Mitchell, CA and Swineford, DM (1984). Reproductive success of black skimmers in Texas relative to environment pollutants. *Journal of Field Ornithology*, 55 (1), p. 18-30.
64. Wiemeyer, S. N., Lamont, T. G., Bunck, C. M., Sindelar, C. R., Cramlich, F. J., Fraser, J. D. and Byrd, M. A. (1984). Organochlorine pesticide, polychlorobiphenyl, and mercury residues in bald eagle eggs 1969-1979 and their relationships to shell thinning and reproduction. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 13, 529-549.
65. Woodside. (2018). Développement du champ SNE-Phase 1, Etude de danger, A-100473-S00-REPT-007-005.
66. Xodus Group. (2018). Projets d'EIES du Développement du champ SNE-Phase 1 au Sénégal, Modélisation des risques de libération sous-marine, A-100473-S01-REPP-001.

ANNEXES

Matériels de laboratoire



Balance



Tubes



Minéralisateur



Plaque et tubes



Tubes QuEACHERS



Réfrigérateur



Fioles de 100 ml



Blouse blanche



Spectromètre A.A comprenant une



Plaquette du S.A.A



et un Ecran

Tableau VIII : concentration des métaux lourds dans les coquilles collectées au PNLB

Sites de récolte	Espèces	Concentrations métaux lourds (mg/kg)			
		Chrome	Plomb	Cadmium	Mercure
PNLB	Sterne royale	1,54	3,892	<LOQ	0,089
PNLB	Sterne royale	0,898	4,06	0,01	0,036
PNLB	Sterne royale	0,736	3,594	<LOD	0,023
PNLB	Sterne royale	0,446	2,368	0,1	0,038
PNLB	Sterne royale	0,931	3,232	<LOD	0,059
PNLB	Sterne royale	0,268	33,15	0,015	0,172
PNLB	Sterne royale	0,06	7,088	0,048	0,079
PNLB	Sterne royale	3,4937	8,872	0,24	<LOD
PNLB	Sterne royale	0,34	3,88	<LOD	0,084

Ce tableau révèle que les quatre métaux recherchés sont tous présents dans les coquilles de sterne royale collectées au PNLB. Le plomb a les plus grandes concentrations avec une teneur maximale égale à 33,152 mg/kg. Aucune de ses concentrations n'est inférieure à la LOD. Le chrome est le deuxième métal le plus abondant dans ce site et ne présente pas de valeurs en dessous de la LOD. Le cadmium et le mercure ont les plus faibles teneurs. Ils ont des concentrations qui sont en dessous de la LOD. Les teneurs en mercure sont légèrement supérieures à celles du cadmium.

Tableau IX : concentration des métaux lourds dans les coquilles collectées au PNDS

Sites de récolte	Espèces	Concentrations métaux lourds (mg/kg)			
		Chrome	Plomb	Cadmium	Mercure
PNDS	Sterne royale	2,621	3,936	0,006	<LOD
PNDS	Sterne royale	1,939	3,802	0,005	0,074
PNDS	Sterne royale	3,058	3,752	<LOD	0,116
PNDS	Sterne royale	1,64	3,91	<LOD	0,142
PNDS	Sterne royale	1,638	4,098	0,012	0,316
PNDS	Sterne royale	1,424	4,442	0,067	0,221
PNDS	Sterne royale	0,654	2,54	<LOD	0,343
PNDS	Sterne royale	2,064	2,532	<LOD	0,356
PNDS	Sterne royale	1,656	2,524	0,076	0,296
PNDS	Sterne royale	4,523	3,948	<LOD	<LOD

Tous les quatre polluants sont aussi présents dans les coquilles collectées au PNDS. Le plomb reste le métal le plus abondant, suivi par le chrome. Le cadmium est présent en faible

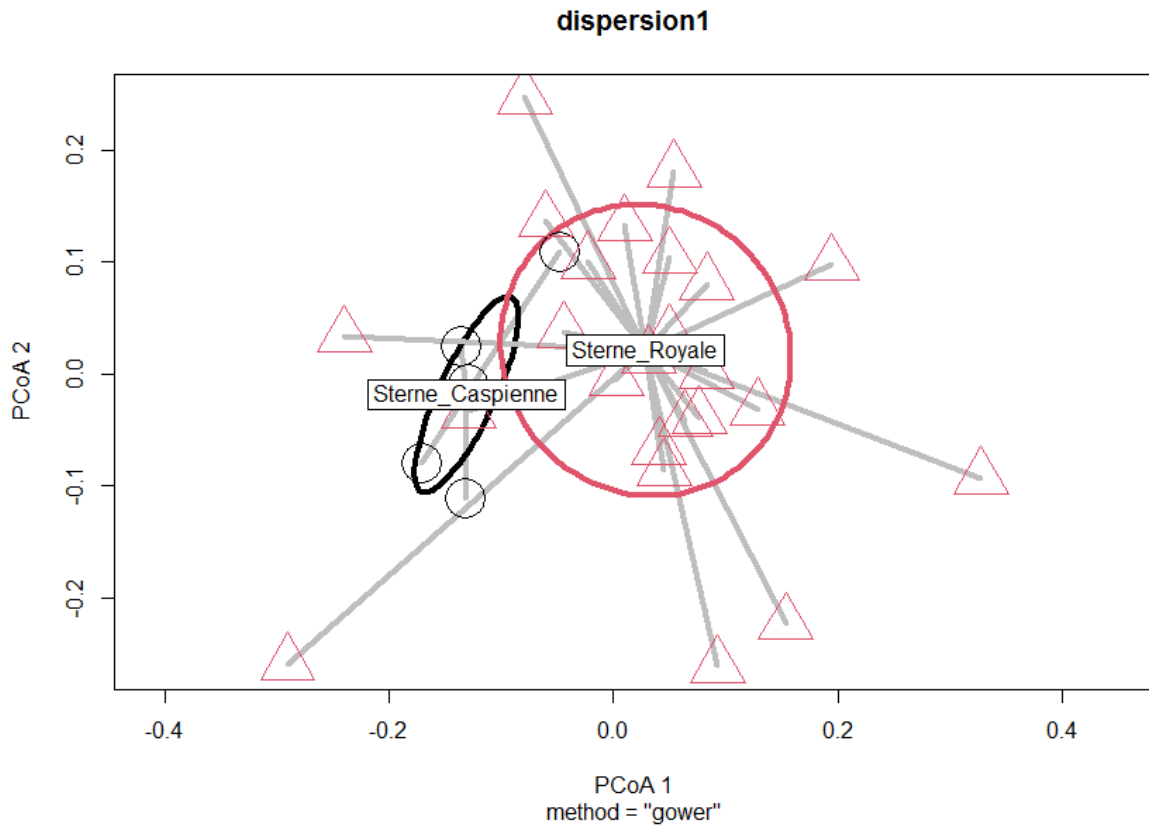
concentration. Les teneurs en mercure des coquilles de ce site sont plus importantes que celles du PNLB.

Tableau X : concentration des métaux lourds dans les coquilles collectées à l'Archipel de Bijagos

Sites de récolte	Espèces	Concentrations métaux lourds (mg/kg)			
		Chrome	Plomb	Cadmium	Mercure
Accapa Imbone	Sterne caspienne	4,307	5,12	0,031	0,016
Accapa Imbone	Sterne caspienne	4,516	4,882	<LOD	0,049
Bantambur	Sterne caspienne	3,696	4,328	0,007	0,258
Accapa Imbone	Sterne royale	2,564	4,304	0,005	0,355
Bantambur	Sterne royale	3,792	5,19	<LOD	0,537
Bantambur	Sterne royale	2,876	5,248	<LOD	0,215
Bantambur	Sterne caspienne	3,34	4,646	0,059	0,031
Bantambur	Sterne caspienne	3,096	4,834	<LOD	0,015
Bantambur	Sterne royale	3,992	4,204	<LOD	0,249
Bantambur	Sterne royale	1,872	4,51	<LOD	0,263

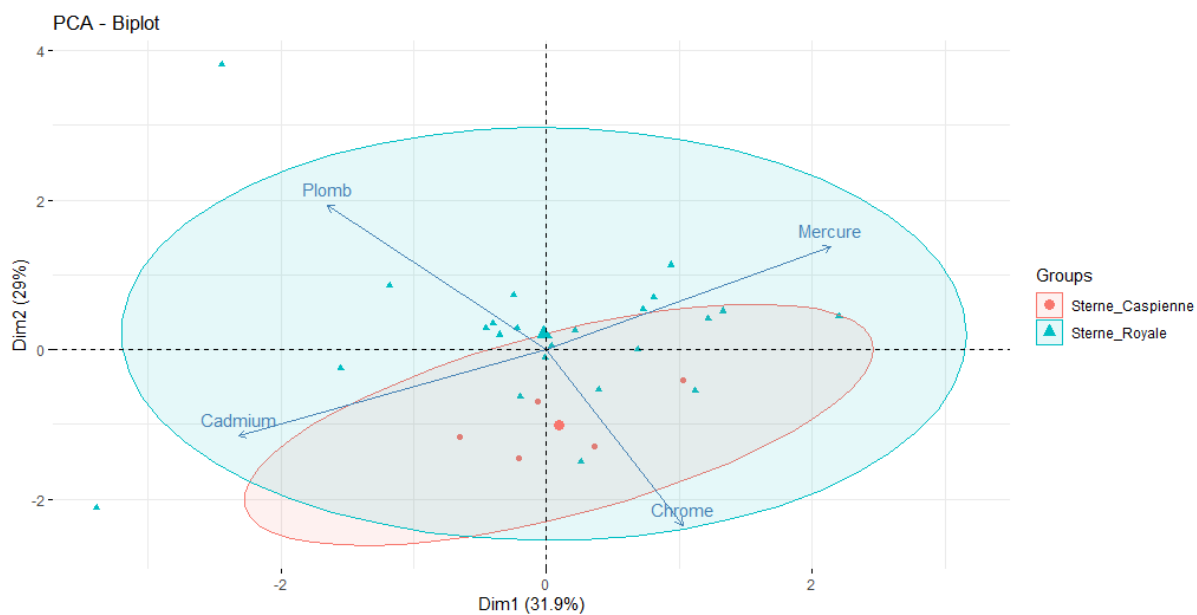
Les coquilles collectées dans l'Archipel des Bijagos en Guinée Bissau sont toutes polluées par les quatre polluants recherchés ici. Le plomb, comme dans les deux premiers sites de collecte, a les plus grandes concentrations. Il est suivi par le chrome. Aucune coquille ne présente une concentration de mercure inférieure à la LOD. Les concentrations de cadmium restent les plus faibles.

Dispersion des espèces



Diagrammes d'ordination multivariés (concentration des métaux, calculée à partir des contaminants spécifiques par espèce après transformation en racine carré) en deux dimensions (sur les axes les plus explicatifs « principal coordinates analyses », PCoA1 & 2) issus de la dispersion sur la matrice de distance (méthode de distance par Gower) entre espèce.

Les groupes d'inertie des sternes caspiennes et des sternes royales se superposent, ne démontrant pas de différents intergroupes.



Plan de projection des clusters selon les espèces et cercle de corrélation des variables environnementales Chrome, Plomb, Mercure et Cadmium.

Cette figure traduit fidèlement le plan de projection des clusters individus « biplot » ainsi le cercle de corrélations des variables (Chrome, Plomb, Cadmium et Mercure) selon les sites ou les espèces.

Les scripts

Importer le fichier

Le nom du fichier sur Excel : DataModouR2

```
Sterne <-read.table(file.choose(),head=T,sep="\t",quote="")
```

```
Sterne <- read.table("DataModouR2.txt",header=T,sep="\t")
```

```
summary(Sterne)
```

```
names(Sterne)
```

```
attach(Sterne)
```

Pour les boxplots

```
plot(Cadmium ~ Site, data = Sterne)
```

```
plot(Chrome ~ Site, data = Sterne)
```

```
plot(Plomb ~ Site, data = Sterne)
```

```
plot(Mercure ~ Site, data = Sterne)
```

Pour le test de Kruskal Wallis

```
kruskal.test(Cadmium ~ Site, data = Sterne)
```

```
kruskal.test(Chrome ~ Site, data = Sterne)
```

```
kruskal.test(Plomb ~ Site, data = Sterne)
```

```
kruskal.test(Mercure ~ Site, data = Sterne)
```