



DU PLOMB DANS L'AIGLE

Hélène **SOUBELET**



Vétérinaire, directrice générale de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB).

Les effets de la contamination environnementale par le plomb sur la santé humaine sont avérés, comme l'attestent diverses études sur le plomb environnemental et, en particulier, une de l'Anses, relative au gibier, parue en mars 2018 qui conclut que les animaux sauvages peuvent avoir des résidus de plomb dans les muscles, trop petits pour être détectés au passage et donc, susceptibles de poser des problèmes de santé pour les consommateurs réguliers de gibier.

L'agence recommande ainsi, par sécurité, dans l'attente d'études complémentaires :

« - de limiter la consommation de grand gibier sauvage (cervidés et sanglier) à une fréquence occasionnelle (de l'ordre de trois fois par an) ;

- aux femmes en âge de procréer et aux enfants d'éviter toute consommation de grand gibier sauvage, compte tenu des effets nocifs du plomb observés durant la période de développement fœto-embryonnaire et au cours de l'enfance. »

Cependant, face à ce risque avéré pour l'homme, il n'existe que quelques études sur l'impact du plomb sur la faune sauvage, mais peu d'études à grande échelle, alors que les animaux sont également soumis à cette pollution.

En complément des études existantes sur la santé humaine et animale, il convient d'approfondir les travaux pour étudier notamment les impacts démographiques sur les populations de rapaces. En effet, d'après une revue récente de la littérature, conduite par Ives et al. (2022), les causes les plus documentées de mortalité chez les vautours sont les polluants (60 %), en particulier le plomb et les pesticides, suivi des blessures (49 %) incluant les collisions avec les infrastructures urbaines et les mortalités par balle. Les lacunes de recherche en matière de santé des vautours sauvages sont les maladies infectieuses (16 %), les désordres endocriniens et nutritionnels (6 %) et les néoplasies (1 %).

DESCRIPTION DE L'ÉTUDE

Une équipe transdisciplinaire d'une trentaine d'experts nord-américains dont des chercheurs, des conservationnistes, des gestionnaires d'espaces naturels, des acteurs économiques et des associations de conservation de la nature ont quantifié l'exposition au plomb de 1 210 aigles à tête blanche et aigles royaux échantillonnés chaque année à travers l'Amérique du Nord entre 2010 et 2018 pour essayer de décrypter les variations spatiales et temporelles de cette exposition et les conséquences démographiques de la mortalité induite par le plomb (Slabe *et al*, 2019).

Les pygargues à tête blanche (*Haliaeetus leucocephalus*) et les aigles royaux (*Aquila chrysaetos*), deux prédateurs emblématiques en haut des chaînes alimentaires, ont fait l'objet de mesures de conservation à grande échelle en Amérique du Nord et des points chauds d'exposition aiguë au plomb sont documentés pour chacune d'elles. Ce sont donc de bons sujets d'études pour documenter un éventuel effet du plomb sur l'état des populations.

Les échantillons ont consisté à prélever du sang d'aigles vivants (respectivement 237 pygargues et 383 aigles royaux), ainsi que des os, du foie et des plumes d'aigles morts (343 pygargues et 270 aigles royaux, dont respectivement 21 et 2 ont été échantillonnés à la fois ante- et post-mortem).

Les chercheurs ont testé les hypothèses sur :

- les aspects spatiaux, temporels et démographiques de l'exposition au plomb à travers le continent,
- l'influence de cette exposition sur la trajectoire des populations de ces deux espèces en Amérique du Nord.

MESURES DES INTOXICATIONS CHRONIQUES (expositions répétées sur le long terme de doses faibles, non létales)

Chez les vertébrés, les intoxications chroniques peuvent être détectées *in vivo* (par fluorescence à rayon X ou prélèvement de sang



pour les plombémies). *Post mortem*, le plomb peut être détecté dans le foie, les os et le rein (la quantification utilise différentes méthodes dont la spectrométrie de flamme ou d'absorption atomique ou la spectrométrie de masse avec couplage de plasma inductif)*. Lorsqu'il y a intoxication au plomb on parle de saturnisme. Les seuils d'empoisonnement chronique (c'est-à-dire au-dessus des seuils utilisés par les toxicologues comme indicatif d'un empoisonnement clinique) sont de plus de 10 µg/g de plomb dans le fémur. Les concentrations osseuses en plomb étaient supérieures à ces seuils pour :

- 47 % des pygargues à tête blanche (n= 226) ;
- 46 % des aigles royaux (n= 222).

Les résultats indiquent aussi une variation de la fréquence d'empoisonnement chronique liée à l'âge pour les deux espèces et des différences régionales pour les pygargues à tête blanche :

- pour les deux espèces, les adultes étaient plus fréquemment intoxiqués que les subadultes et les juvéniles ;
- par ailleurs, il a été noté que les pygargues migrant sur les voies centrales ont des taux de saturnisme chronique supérieurs à ceux empruntant les voies Atlantique et Pacifique.

Le plomb étant un toxique cumulatif à très lente élimination, ces résultats sont conformes à sa pathogénie

MESURES DES EMPOISONNEMENTS AIGUS (événements de forte exposition en un court laps de temps)

Pour déterminer s'il y a empoisonnements aigus, les mesures sont effectuées dans les prélèvements de sang, le foie ou les plumes (dosage strie par strie pour détecter, en croissance, l'exposition à un instant t) (cf. encadré 1). Les seuils d'intoxication sont de plus de 40 µg/dL pour le sang, plus de 20 µg/g de poids sec pour foie, plus de 2,1 µg/g de poids sec pour les plumes.

- Sur 620 oiseaux vivants, les concentrations dans le sang étaient supérieures aux seuils d'empoisonnement aigus pour :
 - 28 % de pygargues à tête blanche (n=237) ;
 - 9 % des aigles royaux (n=383).
- Pour 434 animaux morts, les concentrations de plomb dans le foie ont révélé une intoxication aiguë pour :
 - 27 % de cadavres de pygargues à tête blanche (n=271) ;
 - 7 % de cadavres d'aigles royaux (n=163).

Les événements d'empoisonnement au plomb au cours de la période de croissance peuvent s'observer dans les plumes (cf. encadré 1). L'analyse de celles prélevées a révélé au moins une intoxication aiguë au plomb pendant la croissance de la plume prélevée sur des animaux de quatre semaines et plus pour :

- 35 % des aigles royaux morts (n = 23) ;
- 33 % des pygargues à tête blanche morts (n = 3).

Des différences de fréquences d'empoisonnement liées à l'âge, la saison et la géographie ont été détectées pour les pygargues à tête blanche mais pas chez les aigles royaux :

- les concentrations de plomb dans le foie des pygargues à tête blanche adultes étaient plus élevées que chez les juvéniles ;
- les concentrations de plomb dans le sang indiquaient que l'empoisonnement aigu des pygargues à tête blanche était moins courant en été qu'en automne ou en hiver ;

*https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/77915/9789242502138_fre.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Encadré 1 : Analyses à partir des plumes

- Mas (2016 Vetagrosup) a développé dans sa thèse l'idée que les plumes constituaient un matériau peu invasif, et donc moins stressant qu'une prise de sang, afin de pouvoir évaluer l'exposition d'un rapace au plomb. Le plomb présent dans le sang est en effet intégré à la plume au cours de son développement, l'analyse de la plume fournit donc une image de l'exposition de l'individu au plomb incorporé tout au long de la phase de croissance de la plume. Cette méthode a été utilisée par Lambertucci *et al.* (2011) afin de connaître le statut d'exposition au plomb d'une population de Condors des Andes dans son milieu naturel en Argentine.

- Par des études sur les condors de Californie, Finkelstein *et al.* (2011) démontrent également que les plumes sont un matériau efficace de suivi à long terme de l'exposition au plomb et une bonne aide pour estimer le risque annuel d'exposition au plomb dans le contexte de l'évaluation de la santé de la population de condors de Californie, une espèce en danger d'extinction. L'analyse séquentielle de la plume consiste à analyser la teneur en plomb des segments de plumes. Ainsi, en connaissant la vitesse moyenne de croissance de la plume, il est alors possible de connaître l'exposition au plomb d'un individu sur une période comprise entre 80 et 100 jours précédant le prélèvement alors qu'une simple mesure de plombémie n'est que le reflet d'une exposition très récente et ne permet pas d'obtenir un tel historique.

- Dans l'étude de Slab, l'échantillonnage d'au moins deux plumes primaires en croissance au cours d'une année, a permis de reconstituer 60 % de l'historique de l'exposition au plomb d'un oiseau (selon les auteurs, ce taux étant de seulement 10 % pour un ou deux échantillons de sang prélevés au cours de la même période).

En outre, les chercheurs illustrent comment la composition isotopique du plomb des plumes peut fournir des preuves de l'exposition à des munitions à base de plomb. Ils suggèrent aussi que l'échantillonnage séquentiel des plumes pour reconstituer l'historique de l'exposition est une approche robuste qui peut être utilisée pour évaluer l'exposition à d'autres contaminants environnementaux ou d'autres espèces aviaires.

- les concentrations de plomb dans le sang ont montré que les pygargues migrant dans la voie centrale présentaient un taux plus élevé d'empoisonnement au plomb que ceux des voies migratoires Atlantique et celle du Mississippi.

QUEL EST L'IMPACT DES INTOXICATIONS SUR LES DYNAMIQUES DES POPULATIONS ?

Pour déterminer les seuils létaux, les toxicologues utilisent des seuils de concentrations de plomb dans le foie, en lien avec d'autres lésions post-mortem (Manning *et al.*, 2019).

En effet, les concentrations de plomb dans le sang des oiseaux vivants sont généralement considérées comme un bon indicateur d'événements d'intoxication aiguë, mais comme les oiseaux sont relâchés dans la nature, leurs résultats de survie sont inconnus et aucun seuil associé aux décès n'a pu être déterminé à partir du sang. Les analyses suggèrent toutefois que le plomb est la cause du décès chez :

- 4,9 % des aigles royaux ;
- 25,8 % de pygargues à tête blanche.

Le seuil léthal déterminé par cette étude est sensiblement plus élevé et donc plus conservateur que le seuil d'empoisonnement clinique décrit précédemment, ce qui veut dire que ces chiffres sont sans doute sous-estimés.

Les modèles hypothétiques de population pour les deux espèces suggèrent que si les concentrations de plomb dans le foie, supérieures à ce seuil conservateur, entraînent systématiquement la mort, il y aura alors de probables impacts à long terme sur ces populations, car les taux de croissance démographique à l'échelle du continent pour ces espèces sont diminués de :

- 3,8 % (intervalle de confiance à 95 % : 2,5 % - 5,4 %) pour les pygargues ;
- 0,8 % (intervalle de confiance à 95% entre 0,7 %, 0,9 %) pour les aigles royaux.

Même si seuls 75 % des oiseaux avec des concentrations de plomb dans le foie au-dessus du seuil léthal meurent, les baisses de taux de croissance, quoique plus faibles, sont toujours constatées.

CONCLUSION

L'intérêt de cette étude (Slab *et al.*, 2019) est tout d'abord la collecte de données à grande échelle sur le continent nord-américain qui a permis de montrer une correspondance temporelle entre le saturnisme aigu des aigles et l'utilisation de munitions au plomb. Elles démontrent aussi des tendances spatiales et sous-continentales de la fréquence de la contamination au plomb des aigles, impossible à détecter dans les études locales.

Par ailleurs, plusieurs différences de contamination ont été mises en évidence.

- D'une part en fonction des routes migratoires empruntées par les aigles (Pacifique, centrale, Mississipi et Atlantique), avec une hypothèse de désintoxication dans certains cas.
- D'autre part, des différences liées à l'âge qui reflètent l'accumulation de plomb dans les oiseaux charognards à mesure qu'ils vieillissent (notons néanmoins que le pygargue est plus charognard que l'aigle royal...). Le plomb est un métal qui, ingéré, est corrodé par l'acidité digestive, puis incorporé dans le sang et absorbé par les organes et les tissus mous tels que le foie, et finalement stocké dans le squelette. Cette étude démontre donc qu'à travers l'Amérique du Nord, les aigles sont à plusieurs reprises exposés au plomb, que celui-ci s'accumule dans leur corps, générant une imprégnation chronique réduisant les probabilités de survie.
- Enfin, des différences spécifiques avec un empoisonnement aigu plus commun pour les pygargues à tête blanche sans qu'une hypothèse n'ait pu être trouvée pour l'expliquer. Les données suggèrent que malgré l'augmentation des populations de ces espèces, elles sont encore vulnérables en raison des conséquences démographiques à long terme liées à leur empoisonnement au plomb qui devraient entraîner une diminution des taux de croissance de 0,8 à 3,8 % par an.

En Europe, une équipe de chercheurs anglais (Green *et al.*, 2022) a publié, en 2022, la première étude sur l'impact du saturnisme sur la taille des populations de rapaces en Europe. Leur recherche a porté sur 3000 rapaces de 22 espèces dans treize pays. Leurs résultats indiquent qu'environ 55 000 rapaces adultes, toute espèces confondues, pourraient mourir chaque année de cette contamination et que le saturnisme a probablement des effets allant jusqu'à 14 % de réduction de la taille des populations adultes.

Les chercheurs confirment d'importantes variations intraspéci-

Encadré 2 : Les munitions de chasse à l'origine des intoxications ?

Sur la durée de l'étude (2010-2018) (Slab *et al.*, 2019), la contamination des animaux s'est avérée généralement plus élevée pendant les mois d'hiver pour les deux espèces en raison d'un déficit de proies et de la présence de cadavres abandonnés par les chasseurs à destination de la faune sauvage.

D'autres études ont montré que des concentrations de plomb élevées dans les prédateurs et les oiseaux charognards seraient généralement imputables à l'ingestion directe de fragments de plomb provenant de munitions (Avery, 2009, Golden *et al.* 2016, Manning *et al.* 2019). Or, l'utilisation de plomb dans les munitions pendant les saisons de chasse correspond directement, à la fois spatialement et temporellement, à l'écologie de l'alimentation des charognards occasionnels tels que le pygargue et l'aigle royal (Nadjafzadeh *et al.* 2013, Slabe *et al.* 2019).

Slabe *et al.* (2019) montrent par exemple que pendant la saison de reproduction, les balbuzards et les pygargues à tête blanche ont des niveaux d'exposition au plomb similaires, par l'intermédiaire des poissons qu'ils ingèrent. Les pygargues à tête blanche peuvent être plus fréquemment exposés au plomb en dehors de la période de reproduction en raison de leur écologie (changements saisonniers dans le comportement de recherche de nourriture). Cette étude a permis de mieux comprendre comment le plomb se déplace à travers les niveaux trophiques, comment les prédateurs supérieurs régionaux sont exposés à ce toxique et quelles mesures d'atténuation existent.

fiques et géographiques de la prévalence et du taux annuel de mortalité par le saturnisme, liées à la variation de l'exposition aux munitions de chasse au plomb usagées (impacts plus forts sur les nécrophages, vautours et milans ainsi que les aigles à l'espérance de vie plus longue et la faible reproduction) (cf. encadré 2).

« Lorsque des oiseaux comme les aigles et les milans royaux fouillent des carcasses ou mangent des animaux blessés dans lesquels des fragments de plomb toxique provenant de munitions d'armes à feu se sont incrustés, ils peuvent s'empoisonner et subir une mort lente et douloureuse. Il a été démontré que des doses plus faibles modifient le comportement et la physiologie (Rhys Green, 2022) ». Une des mesures préventives est donc de bien veiller à récupérer les gibiers plombés dans l'environnement et de lutter contre les tirs sur des rapaces pour minorer l'impact sur la santé et la démographie de la faune sauvage (cf. encadré 3, page suivante).

En 2021, l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) a présenté, sur demande de la commission européenne, une estimation du nombre d'oiseaux et d'humains risquant d'être tués annuellement par le saturnisme (ECHA, 2021 ; Tableau 1-55). Ces estimations sont principalement basées sur les proportions d'oiseaux sauvages trouvés morts avec des signes cliniques de saturnisme et/ou des concentrations de plomb dans les tissus indiquant que le saturnisme est la cause probable de la mort.

Une proposition visant à restreindre l'utilisation de toutes les munitions au plomb pour la chasse dans l'UE est en préparation afin de protéger les oiseaux sauvages dans les habitats terrestres, la santé humaine et l'environnement (ECHA, 2021). Les impacts sur les oiseaux prédateurs et charognards constituent une part importante de la motivation de cette proposition de restriction.



Encadré 3 : Le gypaète dans la tourmente

Comme évoqué dans l'article, les grands rapaces peuvent tous être nécrophages à l'occasion. Ils savent profiter par exemple des ongules sauvages tirés mais seulement blessés et échappant au tireur. Ces animaux peuvent alors mourir de leurs blessures, ignorés des chasseurs.

L'article donne quelques chiffres publiés concernant les mortalités de grands rapaces dans divers pays de plusieurs continents. On peut retrouver la même situation en France. En témoigne l'avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) relatif aux « mesures à prendre sur les bouquetins pour lutter contre la brucellose sur le massif du Bargy, Haute-Savoie », publié à Maisons-Alfort le 4 septembre 2013 (Saisine n° « 2013-SA-0129 »).

Dans cet avis qui évoque plusieurs scénarios pour maîtriser le foyer de brucellose à *Brucella melitensis* en Haute-Savoie, on peut lire par exemple que « les experts attirent l'attention du gestionnaire sur la nature des munitions utilisées pour l'abattage des bouquetins. En effet, l'utilisation de balles de plomb serait très problématique : le gypaète barbu (*Gypaetus barbatus*) est très sensible au saturnisme. C'est un oiseau nécrophage protégé dont le statut en France est très fragile ».



Crédit : François Moutou



Crédit : François Moutou

« Le Massif du Bargy est une zone pilote pour la réintroduction de cette espèce avec la présence notamment d'un couple reproducteur. Mettre à disposition de cet oiseau des cadavres de bouquetins contenant des fragments de plomb serait très risqué pour la conservation de cette espèce. D'autres espèces d'oiseaux nécrophages protégées sont présentes également sur le massif et sont également sensibles au saturnisme. »



Crédit : Fabrice Jallu

A noter cependant que les auditions ont fait apparaître une contradiction entre l'usage de balles sans plomb, non expansives et augmentant le risque de blesser l'animal sans le tuer et la nécessité de maîtriser le risque de saturnisme chez les oiseaux nécrophages. Un peu plombant ce sujet.

François Moutou

◀ Gypaète sud-africain intégré dans un programme de suivi et de protection, Drakensberg.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET RESSOURCES

Anses, avis relatif au « risque sanitaire lié à la consommation de gibier au regard des contaminants chimiques environnementaux (dioxines, polychlorobiphényles (PCB), cadmium et plomb) » (2018)

Ives, A. M., Brenn-White, M., Buckley, J. Y., Kendall, C. J., Wilton, S., & Deem, S. L. (2022). A global review of causes of morbidity and mortality in free-living vultures. *EcoHealth*, 19(1), 40-54.

D. Avery, in Ingestion of Lead from Spent Ammunition: Implications for Wildlife and Humans (Peregrine Fund, 2009; www.peregrinefund.org/Lead_conference/PDF/0115_Avery.pdf).

ECHA, Annex XV Restriction Report. Proposal for a restriction. Lead in outdoor shooting and fishing EC NUMBER(S): 231-100-4; CAS NUMBER(S): 7439-92-1. VERSION NUMBER: 2.0 DATE: 24 March 2021

M. E. Finkelstein, D. George, S. Scherbinski, R. Gwiazda, M. Johnson, J. Burnett, J. Brandt, S. Lawrey, A. P. Pessier, M. Clark, J. Wynne, J. Grantham, D. R. Smith, Feather lead concentrations and 207Pb/206Pb ratios reveal lead exposure history of California Condors (*Gymnogyps californianus*). *Environ. Sci. Technol.* 44, 2639–2647 (2010).

N. H. Golden, S. E. Warner, M. J. Coffey, A review and assessment of spent lead ammunition and its exposure and effects to scavenging birds in the United States. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 237, 123–191 (2016).

Lambertucci, S. A., Donazar, J. A., Huertas, A. D., Jiménez, B., Sáez, M., Sanchez-Zapata, J. A., & Hiraldo, F. (2011). Widening the problem of lead poisoning to a South-American top scavenger: Lead concentrations in feathers of wild Andean condors. *Biological Conservation*, 144(5), 1464-1471.

Green, R. E., Pain, D. J., & Krone, O. (2022). The impact of lead poisoning from ammunition sources on raptor populations in Europe. *Science of the Total Environment*, 823, 154017.

L. K. Manning, A. Wünschmann, A. G. Armien, M. Willette, K. MacAulay, J. B. Bender, J. P. Buchweitz, P. Redig, Lead intoxication in free-ranging bald eagles (*Haliaeetus leucocephalus*). *Vet. Pathol.* 56, 289–299 (2019).

M. Nadjafzadeh, H. Hofer, O. Krone, The link between feeding ecology and lead poisoning in white-tailed eagles. *J. Wildl. Manage.* 77, 48–57 (2013).

V. A. Slabe, J. T. Anderson, J. Cooper, B. Brown, P. Ortiz, J. Buchweitz, D. McRuer, T. Katzner, Lead in piscivorous raptors during breeding season in the Chesapeake Bay region of Maryland and Virginia, USA. *Environ. Toxicol. Chem.* 38, 862–871 (2019).

Slabe, V. A., Anderson, J. T., Millsap, B. A., Cooper, J. L., Harmata, A. R., Restani, M., ... & Katzner, T. E. (2022). Demographic implications of lead poisoning for eagles across North America. *Science*, 375(6582), 779-782.