



Université de POITIERS

Faculté de Médecine et de Pharmacie

ANNEE 2023

THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE
(arrêté du 8 avril 2013)

présentée et soutenue publiquement
le 05 septembre 2023 à POITIERS
par Monsieur BELLOT Louis
13/03/1995

L'intoxication au plomb induite par les munitions à grenaille

Composition du jury :

Président : Monsieur le Professeur FAUCONNEAU Bernard

Membres : Madame DEBORDE Marie, Maître de conférences
Monsieur NIVET Jean-Edouard, Docteur en Pharmacie

Directeur de thèse : Madame DEBORDE Marie, Maître de conférences



Faculté de Médecine et Pharmacie de Poitiers

LISTE DES ENSEIGNANTS

Année universitaire 2022 – 2023

SECTION PHARMACIE

Professeurs des universités-praticiens hospitaliers

- COUET William, pharmacie clinique
- DUPUIS Antoine, pharmacie clinique – **Assesseur pédagogique pharmacie**
- FOUCHER Yohann, santé publique, biostatistiques et épidémiologie
- MARCHAND Sandrine, pharmacologie, pharmacocinétique
- RAGOT Stéphanie, santé publique

Professeurs des universités

- BODET Charles, microbiologie
- CARATO Pascal, chimie thérapeutique
- FAUCONNEAU Bernard, toxicologie
- GUILLARD Jérôme, pharmacochimie
- IMBERT Christine, parasitologie et mycologie médicale
- OLIVIER Jean-Christophe, pharmacie galénique, biopharmacie et pharmacie industrielle
- PAGE Guylène, biologie cellulaire, biothérapeutiques
- RABOUAN Sylvie, chimie physique, chimie analytique
- SARROUILHE Denis, physiologie humaine – **Directeur de la section pharmacie**

Maîtres de conférences des universités-praticiens hospitaliers

- BARRA Anne, immuno-hématologie
- BINSON Guillaume, pharmacie clinique
- THEVENOT Sarah, hygiène, hydrologie et environnement

Maîtres de conférences

- BARRIER Laurence, biochimie générale et clinique
- BON Delphine, biophysique
- BRILLAULT Julien, pharmacocinétique, biopharmacie
- BUYCK Julien, microbiologie
- CHAUZY Alexia, pharmacologie fondamentale et thérapeutique
- DEBORDE-DELAGE Marie, chimie analytique
- DELAGE Jacques, biomathématiques, biophysique
- FAVOT-LAFORGE Laure, biologie cellulaire et moléculaire (HDR)
- GIRARDOT Marion, biologie végétale et pharmacognosie
- GREGOIRE Nicolas, pharmacologie et pharmacométrie (HDR)
- HUSSAIN Didja, pharmacie galénique (HDR)
- INGRAND Sabrina, toxicologie
- MARIVINGT-MOUNIR Cécile, pharmacochimie (HDR)
- PAIN Stéphanie, toxicologie (HDR)
- PINET Caroline, physiologie, anatomie humaine
- RIOUX-BILAN Agnès, biochimie – **Référente CNAES – Responsable du dispositif COME'in**
- TEWES Frédéric, chimie et pharmacotechnie
- THOREAU Vincent, biologie cellulaire et moléculaire
- WAHL Anne, phytothérapie, herborisation, aromathérapie

Maîtres de conférences associés - officine

- DELOFFRE Clément, pharmacien
- ELIOT Guillaume, pharmacien
- HOUNKANLIN Lydwin, pharmacien

ENSEIGNEMENT DE L'ANGLAIS

- DEBAIL Didier, professeur certifié

Remerciements

Au Professeur Bernard FAUCONNEAU, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse.

A Madame Marie DEBORDE-DELAGE, d'avoir accepté de diriger cette thèse. Merci de votre gentillesse, de votre disponibilité et de vos conseils avisés qui m'ont permis d'en voir la fin.

A Monsieur Jean-Edouard Nivet, de me faire l'honneur de siéger parmi les membres du jury.

A mes parents de m'avoir soutenu, encouragé et d'avoir toujours été présents pour moi.

A ma compagne de me soutenir et m'accompagner au quotidien.

A mes amis, de la faculté et des folklores estudiantins, sans vous et votre concours ces années n'auraient pas eu le même éclat.

A mon Père et à la Mère de ma compagne pour leur contribution à la relecture de ce texte.

Aux équipes des Pharmacies dans lesquelles j'ai exercé : Pharmacie de Vendevre du Poitou, Pharmacie de l'Envigne et Pharmacie de l'Eglise, pour les connaissances et compétences qu'elles m'ont apportées et qui façonnent le professionnel de santé que je suis aujourd'hui.

Préface

Etant jusqu'alors un utilisateur régulier des munitions à grenailles de par ma pratique de la Chasse et du Tir Sportif, ainsi qu'un consommateur régulier de gibier à raison de deux à trois fois par mois. Je me suis lancé dans ce sujet de thèse pour avoir plus d'informations sur la toxicité induite par ces munitions.

Suite à ce travail, j'ai décidé de ma propre initiative de faire doser ma plombémie, mon exposition étant régulière et datant de plusieurs années. Sur le prélèvement sanguin du 31/03/23, ma plombémie était à 41 µg/L (Annexe 1), soit conforme aux valeurs de références dans la population nationale qui préconise < 85 µg/L pour un homme (Annexe 2).

Toutefois, je pense faire évoluer mes pratiques à l'avenir en renouvelant mes stocks par des munitions contenant des substituts au plomb et en essayant de trouver des amorces exemptes de plomb, pour réduire mon exposition et celle de mon entourage proche.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS ET GLOSSAIRE	1
LISTES DES FIGURES	3
LISTES DES TABLEAUX	4
INTRODUCTION	5
I. LA MUNITION A GRENAILLE	6
A. L'HISTORIQUE	8
1. <i>L'origine de la munition</i>	8
2. <i>Les innovations successives</i>	8
a) L'apparition de l'étui	8
b) Une nouvelle poudre	10
c) L'amélioration des projectiles	11
3. <i>De nos jours</i>	13
B. LA COMPOSITION	13
1. <i>La douille ou l'étui</i>	14
a) Le culot	14
b) Le corps	16
c) Les lèvres	17
2. <i>La poudre et l'amorce</i>	18
a) La poudre	18
b) L'amorce	19
3. <i>La grenaille</i>	20
a) Le calibrage des plombs	20
b) La balistique	22
c) Substituts au plomb	24
4. <i>La bourre</i>	25
a) Bourre grasse	25
b) Bourre à jupe	26
C. UTILISATIONS	28
1. <i>Le Ball-Trap</i>	28
a) Histoire	28
b) Pratique en France	28
2. <i>La Chasse</i>	29
a) Histoire de la chasse moderne	29
b) Pratique en France	29
II. LA TOXICITE DU PLOMB CHEZ L'HOMME	33
A. LE SATURNISME	34
1. <i>Définition du Saturnisme</i>	34

2.	<i>L'Intoxication au plomb au fil des âges</i>	35
a)	Le Saturnisme Préhistorique	35
b)	Le Saturnisme Antique	35
c)	Le Saturnisme du Moyen-Âge à la Révolution Française	36
d)	Le saturnisme de l'époque Moderne	37
B.	TOXICITE DU PLOMB	39
1.	<i>Propriétés Physico-Chimiques du plomb</i>	39
a)	Propriétés Physiques	39
b)	Propriétés chimiques	39
2.	<i>Toxicocinétique du Plomb de Chasse inorganique</i>	40
a)	Absorption	40
b)	Distribution	41
c)	Métabolisation	42
d)	Elimination	42
3.	<i>Mécanisme de toxicité du plomb</i>	43
a)	Atteintes cellulaires	43
b)	Atteintes tissulaires	45
4.	<i>Symptômes de l'intoxication au plomb</i>	47
a)	Intoxication aiguë	47
b)	Intoxication chronique	48
C.	DIAGNOSTIC ET TRAITEMENT	50
1.	<i>Diagnostic analytique de l'intoxication au plomb</i>	50
a)	Diagnostic direct	50
b)	Diagnostic indirect	51
2.	<i>Traitement</i>	52
a)	Traitement de l'intoxication aiguë	52
b)	Intoxication chronique	53
III.	EXPOSITIONS ET INTOXICATIONS INDUITES PAR LES MUNITIONS A GRENAILLE	54
A.	L'EXPOSITION A LA GRENAILLE PAR VOIE DIGESTIVE	55
1.	<i>La consommation de gibier</i>	55
a)	Le profil des consommateurs	56
b)	Les modes de consommations	57
c)	Les avantages et inconvénients	57
2.	<i>Etude de la présence de Grenaille dans le gibier</i>	60
a)	Matériel et méthode	60
b)	Résultats	60
c)	Discussion	61
B.	LES AUTRES VOIES D'EXPOSITION AU PLOMB VIA LA GRENAILLE	62
1.	<i>L'exposition au plomb par inhalation</i>	62
a)	Les sources d'exposition	63

b) Les populations exposées	64
c) Les moyens de prévention	65
2. <i>L'exposition suite à un passage transcutané</i>	67
a) Populations ciblées	67
b) Prévention.....	68
c) Surveillance	68
CONCLUSION	69
BIBLIOGRAPHIE	70
ANNEXES	75
RESUME	77
MOT-CLES	77
SERMENT DE GALIEN.....	78

Liste des abréviations et Glossaire

A

acétate de plomb

dérivé du plomb servant à sucrer les boissons 36

ADME

Absorbtion, Distribution, Métabolisation, Elimination 40

ALA

acide delta amino-lévulinique 44

Anses

Agence nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail..... 59

azoture de plomb

constituant des poudres actuelles 20

C

CCPP

Centre de Consultations de Pathologies Professionnelles 64

céruse

Carbonate de plomb..... 35

D

DMSA

chélateur du plomb, acide dimercaptosuccinique 53

ductile

qui peut être étiré sans se rompre 39

E

EDTA

chélateur du plomb aussi nommé calcitracémate 51

F

FFBT

Fédération Française de Ball-Trap..... 28

FFTir

Fédération Française de Tir 28

FNC

Fédération Nationale des Chasseurs..... 29

G

galène

sulfure de plomb 35

H

hème

constituant de l'hémoglobine permettant de fixer le dioxygène 44

I

INRS

Institut National de Recherche Scientifique 66

O

OFB

Office Français de la Biodiversité 67

P

Phasianus colchicus

espèce de faisan la plus représentée sur le sol Français 60

PPZ

protoporphyrine-zinc 52

Protoporphyrine IX

l'un des précurseur de l'hème avec l'ion fer 45

R

RNV3P

Réseau National de Vigilance et de Prévention des Pathologies Professionnels 64

S

Saturnisme

intoxication par le plomb dangereuse pour la santé 5

T

thiols

groupement contenant un atome de soufre et un d'hydrogène 44

Trichinella

un ver appartenant à un genre de Nématode 59

Listes des Figures

Figure 1 Cartouche en papier de la fin du XIII ^{ème} siècle (Marcric 2021)	9
Figure 2 Schéma d'une cartouche à Broche Lefauchaux (Van Mastrigt 2016)	9
Figure 3 Système à percussion centrale (Hmaag 2023)	10
Figure 4 Tour à Plomb de Couëron (François de Dijon 2018)	12
Figure 5 Anatomie des cartouches d'hier et aujourd'hui.....	14
Figure 6 Culot de Cartouche de calibre 12 en vue frontale et latéral.....	15
Figure 7 Différentes tailles de culot sur des cartouches de calibre 12	16
Figure 8 Sertissage à rond sur une cartouche ancienne et sertissage à plis sur une cartouche récente	18
Figure 9 Poudre sous forme de paillettes d'une munition de calibre 12.....	19
Figure 10 Amorce de Cartouche de Calibre 12	20
Figure 11 Plombs de Numéro 5 récupérés dans une cartouche de Calibre 12 de charge 36 g22	
Figure 12 Bourre grasse en feutre vue par la face sèche et la face grasse.....	26
Figure 13 Bourre à jupe en plastique	27
Figure 14 Catégories Socio-Professionnelles des Chasseurs en France (FNC/BIPE 2016)	30
Figure 15 Répartition des chasseurs par classe d'âge (FNC/BIPE 2016)	31
Figure 16 Tuyau de canalisation en plomb Romain(1-300 Après J-C) (Fae 2023).....	36
Figure 17 Formule de l'acétate de plomb	36
Figure 18 Boîte de Peinture à la céruse de Plomb (Thester11 2023)	38
Figure 19 Symbole chimique du plomb (Albedourk 2023)	39
Figure 20 Toxicocinétique du Plomb Inorganique chez l'homme (Bismuth 2000)	43
Figure 21 Action du plomb sur des extraits de la cascade de formation de l'hème (Garnier 2005).....	44
Figure 22 Distribution des fragments selon leur diamètre (Green et al. 2022).....	61

Listes des Tableaux

Tableau 1 Extrait d'un Tableau des Différentes Séries Françaises et Etrangères de Plombs de Chasse (Venner 1979)	21
Tableau 2 Valeurs nutritionnelles de viandes de gibiers face à leurs homologues d'élevage(Ducluzeau 2004)	58

Introduction

La munition à grenaille de plomb est utilisée sur le Territoire Français depuis plusieurs décennies que ce soit pour le tir sportif ou la pratique de la chasse.

Le plomb est quant à lui un matériau dont la toxicité est connue depuis plusieurs siècles.

C'est ainsi qu'une première restriction d'utilisation a été prononcée au 1^{er} Juin 2006, interdisant son utilisation dans les zones humides et dans un rayon de 30 m autour de celles-ci, suite aux relevés de Saturnisme de la Faune aquatique et notamment des Anatidés (*Arrêté du 9 mai 2005*).

Une seconde restriction, imposée par l'Europe et appliquée en Février dernier sur le sol Français, étend la distance de protection à 100 m autour des zones humides (*Règlement UE n°2021/57 2021*). Elle élargit aussi la définition de zone humide. De plus, ce n'est plus seulement l'utilisation mais aussi le transport de ces dites munitions qui est proscrit.

La Fédération des Chasseurs estime à 650.000 le nombre de chasseurs impactés par cette mesure, soit 65% des effectifs. De plus, les armes détenues les plus vétustes ne sont pas éprouvées pour tirer les substituts au plomb.

Le changement de matériel ne serait-il donc pas un bon moyen de mettre le pied à l'étrier pour bon nombre d'utilisateurs de ces munitions afin de changer leurs habitudes et ainsi prendre de l'avance sur les prochaines restrictions, (le texte initial prévoyant un rayon de protection de 400 m autour des zones humides) ?

Si l'effet de la pollution des sols et des zones humides par le plomb est aujourd'hui reconnu et bien décrit dans la littérature scientifique, il n'existe pas beaucoup de données sur les effets de la grenaille de plomb directement sur l'homme.

Ainsi, ce travail s'intéresse à la toxicité que cette munition peut avoir directement chez l'homme.

Dans un premier temps, la grenaille de plomb, de sa création à son utilisation actuelle en passant par sa composition, sera définie. Puis le Saturnisme et les mécanismes de toxicité du plomb ainsi que les moyens de diagnostics et de traitement pour le patient atteint seront expliqués. Enfin, les différentes sources exposition à la grenaille de plomb et les moyens de s'en prémunir seront détaillés.

I. La Munition à grenaille

Le mot « Munition », du latin munitionem qui signifie « munir », est à l'origine l'ensemble des moyens de subsistance et de défense dont on munit une troupe ou une place.

Au XVIIIème siècle, on voyait alors se confronter les munitions de bouches (ou de gueules) et les munitions de guerre (Say 1841).

Les premières se réfèrent au domaine de l'alimentation. Elles donneront naissance à la formulation de « pain de munition », le pain dont on nourrit les soldats; souvent moqué par ceux qui le consomment de par son aspect trop dur, fade et peu digeste (Hugo 1877).

Les munitions de guerres quant à elles n'ont pas encore la signification qu'on leur connaît. Elles comportent l'attirail du soldat dans sa globalité. Il faut patienter près d'une centaine d'années pour que le Dictionnaire de l'Académie Française dans sa 6^{ème} édition de 1832 ajoute la définition de « Fusil de Munition, un fusil de gros calibre, qui est l'arme ordinaire des soldats d'infanterie et auquel s'adapte une baïonnette ».

C'est à la suite de cela que le terme munition va basculer dans le langage courant, de l'arme à feu vers les consommables utilisés dans celle-ci, c'est-à-dire la poudre et la munition.

Une munition est donc aujourd'hui définie comme un ensemble dont on se sert pour charger une arme à feu. Elle se constitue à minima d'une charge explosive (la poudre) et d'un ou plusieurs projectiles(balle, obus, grenaille)

A. L'historique

1. L'origine de la munition

Une munition est composée à minima d'une charge d'explosive et d'un ou plusieurs projectiles.

L'utilisation première des armes à feu apparait dès le début du XIIIème siècle en Asie. Elle se répand ensuite en Europe avec comme projectiles de simples cailloux (Chase 2003). Ces projectiles grossiers laissent ensuite place à la grenaille définie alors au XVIIIè siècle comme étant un « métal réduit en menus grains ».

L'approvisionnement de cette grenaille se fait dans un premier temps avec des déchets de forge. Le matériau utilisé alors était au choix soit du fer, soit de l'acier. Toutefois la dureté de ces matières endommageait gravement les canons pouvant aller jusqu'à blesser le tireur (Grange 2007).

C'est pourquoi, le plomb a peu à peu remplacé le fer et l'acier pour ses caractéristiques.

2. Les innovations successives

Les Munitions à grenaille étaient à ce stade encore peu fonctionnelles. La dispersion était trop importante et la grenaille de plomb récupérée dans les déchets de forge n'était pas calibrée, donnant aux projectiles un comportement imprévisible et dangereux ainsi qu'un manque de puissance certain.

Ainsi, l'amélioration de cette munition passant par différentes innovations technologiques a été réalisée au cours du XIXème siècle pour arriver à la cartouche de chasse à grenaille moderne.

a) L'apparition de l'étui

L'invention de la cartouche à broche de l'armurier Français Casimir Lefaucheur en 1828 fait apparaître un composant nouveau à la munition : l'étui (Van Mastrigt 2016).

Avant, poudre et grenaille étaient enroulées manuellement dans un morceau de papier ou de tissu (Figure1). Il en découlait des inconvénients. Les cartouches étaient fragiles, elles se déchiraient facilement, les rendant peu pratiques et de surcroît elles étaient très sensibles à l'humidité (Le Floc'h et al. 2004).



Figure 1 Cartouche en papier de la fin du XIIIème siècle (Marcric 2021)

La cartouche à broche va incorporer un court culot métallique en cuivre ou laiton continué d'un étui en carton ou laiton qui rendra la cartouche rigide et peu déformable, mais surtout plus étanche (Grange 2007).

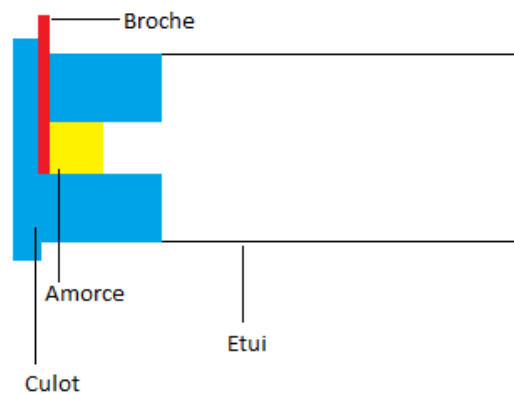


Figure 2 Schéma d'une cartouche à Broche Lefauchaux (Van Mastrigt 2016)

La mise à feu se fait alors grâce à la broche qui a d'ailleurs donné son nom à ce type de munition (Figure 2). Cette broche est saillante à l'angle droit et assez longue pour sortir du canon. Lors du tir, le percuteur (appelé chien) frappe verticalement cette broche et enclenche l'amorce composée de fulminate de mercure.

Cette cartouche bien que révolutionnaire avait cependant certains défauts. Le plus dérangeant était que la broche étant saillante, et qu'un choc accidentel pouvait faire exploser la cartouche.

Elle disparaîtra alors aux profits des cartouches à percussion annulaire puis à percussion centrale développées plus tard au cours du XIX^{ème} siècle.

Les cartouches à percussion annulaire sont inventées par l'armurier Français Louis Nicolas Flobert en 1849. Il réussit à sécuriser le composé d'amorçage contenu dans le bourrelet de la cartouche. Toutefois ces cartouches n'étaient pas adaptées aux fusils de chasse tirant des munitions à grenaille qui avaient un calibre trop important. Elles serviront donc surtout pour les armes de petit calibre. (Jarlier et Buigné 2001; Grange 2007).

Les Cartouches à percussion centrale (Figure 3) dont celles de l'anglais Edward M.Boxer en 1866 constituent aujourd'hui le système de percussion le plus utilisé.

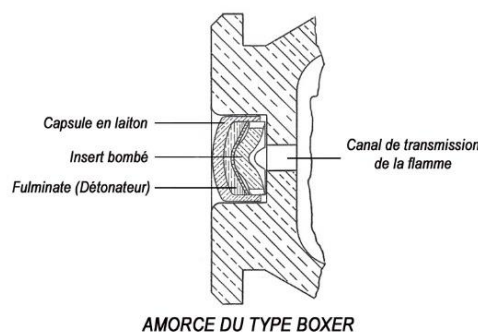


Figure 3 Système à percussion centrale (Hmaag 2023)

b) Une nouvelle poudre

La poudre noire est composée d'un mélange de salpêtre (75 %), charbon de bois (15 %) et soufre (10 %). Cette poudre manquait de puissance et obstruait la visée du tireur après un seul tir. De plus, le nuage de fumée dégagé indiquait la position du tireur (Tortel 1841).

Ce sont les avancées de la chimie en Allemagne dans la moitié du XIXème siècle qui permettent à Christian Friedrich Schönbein de synthétiser un dérivé explosif de la cellulose en 1846, la nitrocellulose (Mauskopf 1999).

Le produit est alors assez naturellement mis en avant comme un substitut de la poudre noire. Toutefois, son instabilité le rend inutilisable tel quel. Il causera même des explosions accidentelles dans des manufactures.

La réponse viendra donc finalement du Laboratoire Central des Poudres et Salpêtres de Paris et de son ingénieur principal Paul Vieille en 1884 lorsqu'il trouve une formule qui utilise la nitrocellulose, non pas comme un explosif destructeur, mais comme un propulseur (Medard 1994).

Sa formule, nommée Poudre Blanche, en opposition à la Poudre Noire est composé de 68.2% de nitrocellulose « insoluble », de 29.8% de nitrocellulose « soluble » et de 2% de paraffine.

Ces différents avantages sont :

- une faible sensibilité à l'humidité,
- une meilleure combustion qui relâche presque exclusivement des gaz et peu de résidus ce qui limite l'encrassement des canons
- une puissance environ six fois supérieure à sa concurrente

Aujourd'hui les poudres utilisées sont toujours des dérivés de la Poudre Blanche de Paul Vieille.

c) L'amélioration des projectiles

L'utilisation du plomb, plus facile que celles des autres matériaux, a été progressivement privilégiée. Toutefois, jusqu'à la première moitié du XIXème siècle, le plomb utilisé était de mauvaise qualité car il venait des rejets de forge (Grange 1987).

Le grain de plomb n'étant pas calibré et pas toujours sphérique, il était alors impossible de reproduire les mêmes performances balistiques d'une cartouche à l'autre. De plus, le plomb est un métal ductile (mou) et selon la puissance de la poudre, les grains se déformaient lors de la propulsion.



Figure 4 Tour à Plomb de Couëron (François de Dijon 2018)

S'en vient alors une production industrielle de grenaille dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle avec l'apparition de tour à plomb (Figure 4). Ainsi, la grenaille devient un produit à part entière, avec un procédé de production reproductible et n'est plus récupérée à droite à gauche, ni ajustée de façon artisanale (Perrin 1974).

La production des grenailles à partir de ces tours repose sur deux lois physiques : la gravité et la tension superficielle.

En haut d'une tour, le plomb sous forme solide est fondu dans un four. Puis le liquide obtenu passe à travers des grilles de différents calibres selon le diamètre désiré. Dans ces conditions, lors de la chute de ce plomb sous forme liquide, des gouttelettes sont formées. Grâce à la pression engendrée par la tension superficielle, elles forment des sphères qui se refroidissent au fur et à mesure de la descente pour finir leur course dans un bassin de refroidissement rempli d'eau (Ville de Coueron; *Le Chasseur Français* 1990).

Avec ces tours, la production de grenaille fournissait ainsi différents diamètres de plomb pour diverses utilisations. Mais le problème de la dureté du projectile n'était toujours pas réglé. Il

fallait durcir le plomb suffisamment pour qu'il ne s'écrase plus, mais pas trop pour qu'il n'endommage pas les canons de l'époque (*Le Chasseur Français* 1990).

Un nouveau mélange apparaît alors sur le marché. L'idée est d'associer au plomb des éléments durcissants.

C'est l'Antimoine associé à l'Arsenic qui va permettre de durcir légèrement le plomb, évitant l'écrasement des grains et assurant plus aisément la transmission de l'énergie cinétique. La balistique des projectiles s'en trouve améliorée (Perrin 1974).

Ce mélange s'effectuera dans les Tours à Plombs au moment de la fonte des lingots de plombs.

3. De nos jours

De nos jours, l'aspect extérieur d'une cartouche est assez semblable à ce qu'elle pouvait être au début du XXème siècle.

Toutefois l'amélioration de la canonnerie, permet aujourd'hui aux canons de soutenir des pressions plus importantes et donc de tirer des substituts au plomb tel que l'acier, le tungstène et autres alliages sans risque de déformation ou explosion du canon.

B. La composition

La Figure 5 présente l'anatomie des cartouches modernes et traditionnelles. Dans les deux cas ces munitions sont composées de :

- une amorce
- un culot
- de la poudre
- une bourre (grasse ou à jupe)
- un étui
- de la grenaille
- un sertissage

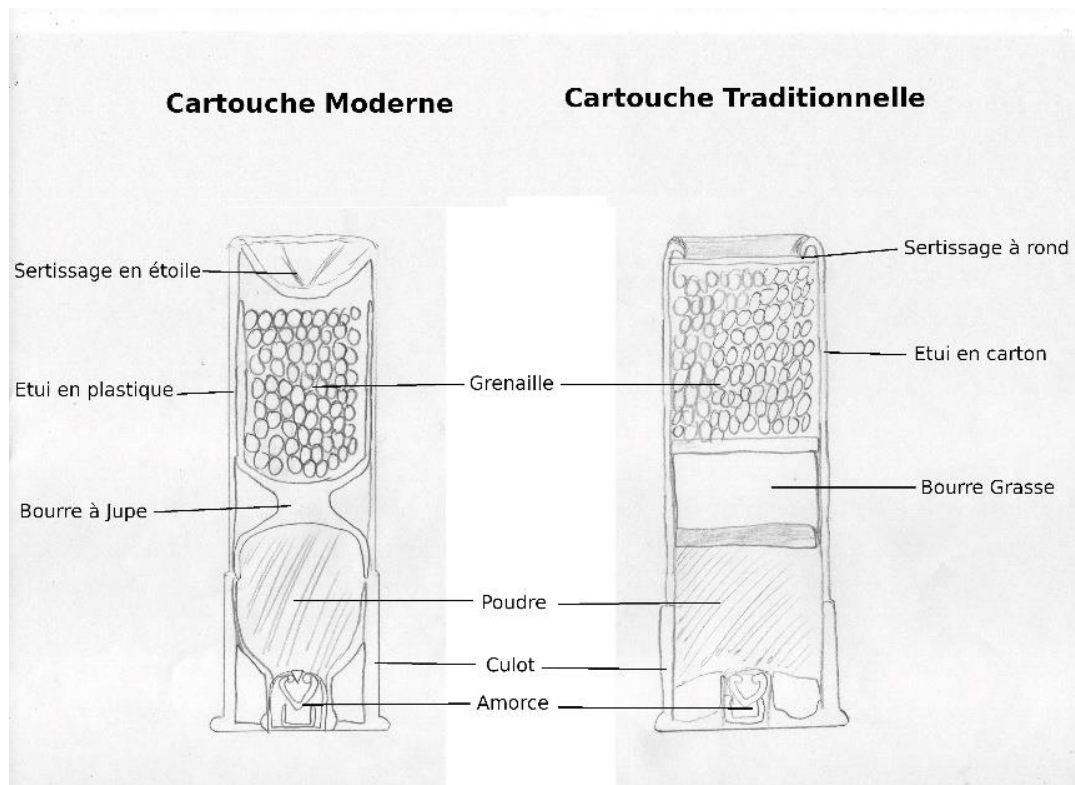


Figure 5 Anatomie des cartouches d'hier et aujourd'hui

1. La douille ou l'étui

Popularisé par la cartouche à broche de Lefauchaux, l'étui se retrouve aujourd'hui dans toutes les munitions à grenaille. Il se décompose en trois parties :

- le culot,
- le corps
- les lèvres.

a) Le culot

Le culot, qui dans ses premières versions pouvait être soit en cuivre, soit en laiton, est aujourd'hui majoritairement en laiton. Des variantes peuvent cependant exister tel que de l'aluminium laitonné ou de l'acier laitonné. Le cuivre n'est pas utilisé pour le culot. Trop malléable, il n'a pas pu satisfaire les conditions requises de solidité et d'élasticité imposées par l'augmentation des pressions des gaz engendrée par les nouvelles poudres. De plus, le culot déformé était difficilement extrait du canon après le tir (Cohen-Potin et Le Gall 1991).



Figure 6 Culot de Cartouche de calibre 12 en vue frontale et latéral

Le culot est massif en son fond. Les armes actuelles étant à percussion centrale, le centre est percé d'un puit, pour l'amorce (figure 6).

Un canal de transmission de la flamme (évent) relie l'amorce à l'intérieur de la douille pour permettre le passage de l'étincelle qui mettra feu à la charge explosive.

Au niveau des cartouches, les parois du culot s'amenuisent vers l'ouverture. Elles peuvent être plus ou moins longues. Un culot plus long va entraîner une meilleure rigidité et tiendra mieux les pressions. Ce type de culot est donc généralement utilisé dans des cartouches ayant des charges de plomb plus importantes, ou alors pour des cartouches à hautes performances (Cohen-Potin et Le Gall 1991).

Toutefois, l'augmentation de la taille du culot entraînant un surcoût dû au prix du laiton, la grande majorité des cartouches est constituée d'un culot d'une taille adaptée à leur usage. Il peut aller de 8 à 25mm.



Figure 7 Différentes tailles de culot sur des cartouches de calibre 12

Enfin, la présence d'une gorge sur le culot permet une plus grande stabilité de la cartouche dans le canon mais aussi facilite l'extraction de la cartouche après le tir et la manipulation générale de celle-ci.

Le culot est adapté au calibre de l'arme dans lequel il est tiré. En France le calibre le plus utilisé est le calibre 12. Pour ce calibre la partie en laiton fera un diamètre de 20.4mm et le rebord du culot 22.3mm.

b) Le corps

Seconde partie de la douille, le corps est la continuité du culot.

Il était historiquement réalisé en carton composé de feuilles de papier enroulées et collées entres elles sur plusieurs couches pour avoir une bonne résistance et élasticité.

Le problème du carton était sa qualité qui pouvait varier d'un fabricant à l'autre. Si le corps était trop rigide, il pouvait se fissurer sous la pression ou alors bloquer le départ des projectiles. Dans les deux cas, cela causait une augmentation importante de la pression dans le canon pouvant provoquer son éclatement (Le Floc'h et al. 2004).

De plus, ces cartouches en carton, bien que présentant une certaine résistance à l'humidité, restaient sensibles aux ruissellements et aux chutes dans l'eau.

Le plastique qui apparait après la seconde Guerre Mondiale réglera ce problème. Il remplace le carton, est plus performant et a un coût inférieur.

C'est l'addition de la longueur du culot et de celle du corps qui nous donne la longueur de la cartouche. Or, pour pouvoir être tirée dans une arme, il faut que cette longueur puisse être acceptée dans la chambre de cette arme.

Actuellement, les longueurs des douilles les plus utilisées varient entre 51 et 70 mm, ce qui est cohérent avec la taille des chambres (le chambrage) des armes en France de 65 à 70 mm. Des longueurs supérieures existent mais sont réservées à des armes avec une chambre agrandie. On parle alors de calibre magnum.

c) Les lèvres

Dernier élément de l'étui et non des moindres, les lèvres vont permettre la fermeture de la cartouche une fois que les autres composants auront été incorporés à la douille (Cohen-Potin et Le Gall 1991).

L'action de fermer une cartouche est appelée le sertissage et il existe plusieurs manières de faire.

Le sertissage à plis, aussi nommé sertissage en étoile de par son aspect, consiste à former des plis successifs au niveau des lèvres de la douille, de façon à fermer celle-ci. Cette méthode ne nécessite pas d'ajout de matériaux (*Le Chasseur Français* 1995).

A l'inverse, le sertissage à rond est une technique utilisant un disque en carton, plastique ou liège, nommé obturateur et maintenu enfoncé dans la douille par le bord replié des lèvres (*Le Chasseur Français* 1995).



Figure 8 Sertissage à rond sur une cartouche ancienne et sertissage à plis sur une cartouche récente

Le sertissage à rond nécessitant moins de pression pour s'ouvrir que le sertissage en étoile, il ne se retrouvera pas dans les mêmes types de cartouches.

2. La poudre et l'amorce

a) La poudre

La poudre anciennement utilisée comme explosif est maintenant employée comme propulseur. Elle permet la propulsion des projectiles.

Au niveau de la cartouche, la poudre vient garnir le fond de la douille. Il en existe aujourd'hui différents types selon l'usage de la munition qu'elle garnit. La quantité et la puissance de la poudre vont être conditionnées par :

- le calibre de l'arme,
- le matériau des grenailles,
- la masse des grenailles,
- le sertissage choisi de la cartouche,
- la vitesse attendue des projectiles.

La vitesse de combustion de cette poudre est fonction de la pression à l'intérieur de la cartouche et de la forme des grains de poudre. Une surface d'échange avec l'extérieur importante permet d'augmenter la vitesse de combustion (paillettes, sphérules) tandis qu'une surface faible rendra la poudre plus lente (« Pesage de poudre » 2023).



Figure 9 Poudre sous forme de paillettes d'une munition de calibre 12

Ainsi, on peut avoir des cartouches dites subsoniques, dont les projectiles ont une vitesse inférieure à celle du son (340 m/s). Elles utilisent une faible quantité de poudre et améliorent le confort acoustique au détriment de la balistique.

Inversement avec une poudre plus puissante et en augmentant la pression, on peut propulser la grenaille plus loin et plus rapidement avec des cartouches pouvant dépasser les 400 m/s.

b) L'amorce

L'amorce vient s'enfoncer dans la partie centrale du culot (le puit d'amorce). Elle permet, grâce à un choc, l'explosion d'une substance et la transmission d'une flamme à la poudre.

L'amorce est constituée d'une coupelle d'amorce, tapissée d'un mélange fulminant lui-même au contact d'une enclume (figure 10).



Figure 10 Amorce de Cartouche de Calibre 12

Au niveau de l'amorce ; lors du tir, la libération du percuteur va provoquer une déformation importante de la coupelle d'amorce, ce qui vient comprimer la charge explosive contre l'enclume. La mise à feu de cette charge produit une flamme, qui passant par l'évent du culot, vient en contact de la charge propulsive placée dans l'étui (Le Floc'h et al. 2004).

Le fulminate de mercure a été utilisé comme procédé d'amorçage avec la poudre noire. La poudre blanche et ses dérivés actuels nécessitent plus de puissance pour initier la combustion et l'azoture de plomb aujourd'hui utilisé est moins sensible aux chocs et plus stable que son prédécesseur. Il est toutefois plus sensible aux frictions.

3. La grenaille

Que serait la cartouche à grenaille sans elle ! Ces projectiles en métal, correspondant le plus couramment à du plomb, peuvent-être mélangés avec de l'arsenic et de l'antimoine. Ils vont être propulsés (grâce à la charge de poudre) à travers le canon qui vient canaliser cette poussée.

A la sortie du canon, la grenaille va se disperser pour former une gerbe dont la taille variera selon la quantité de grains de métal et leur dispersion.

a) Le calibrage des plombs

Pour différencier une cartouche d'une autre, il est noté sur l'étui, ou au niveau du sertissage, un numéro qui détermine la taille du plomb contenu à l'intérieur.

Ce numéro est arbitrairement donné par le fournisseur et peut varier selon l'origine de la cartouche. Il est donc nécessaire de consulter une table de correspondance pour retrouver le diamètre d'un plomb avec ce numéro. Ces tables sont nommées séries et c'est aujourd'hui la série de Paris qui sert de référence pour le territoire Français (Tableau 1) (Cohen-Potin et Le Gall 1991).

Tableau 1 Extrait d'un Tableau des Différentes Séries Françaises et Etrangères de Plombs de Chasse (Venner 1979)

Diamm. en mm	5.50	5.25	5	4.75	4.50	4.25	4.00	3.75	3.50	3.25	3.00	2.75	2.50	2.25	2.00	1.75
Nb de Grains au gramme	1	1.15	1.34	1.55	1.81	2.18	2.62	3.18	3.88	4.88	6.22	8	10.63	14.40	21	31.1
Séries de Paris	6/0	5/0	4/0	3/0	2/0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Séries de Marseille	4/0	3/0	2/0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Séries de Lyon	3/0	2/0	0	1	2	3	4	5	5P	6	7	7P	8	8P	9	10
Séries anglaises	AAAA	AAA	AA	A	BBB	BB	B	1	2	3	4	5	6	8	9	10
Les poids sont évalués pour du plomb pur à la densité 11.20																

Dans cette série, la taille d'un plomb est inversement proportionnelle à la grandeur du chiffre qui la définit.

Ainsi, en considérant qu'une munition standard contient en moyenne une charge de plomb de 36 g, le nombre de plombs sera plus élevé dans une cartouche ayant un numéro plus grand.

Aujourd'hui en France, les cartouches contenant des plombs supérieurs à 4 mm ($n^{\circ} < 1$) ou inférieurs à 2 mm ($n^{\circ} > 9$) ne sont plus autorisées. Les numéros utilisables en France sont donc de 1 à 9.

La figure 11 présente la totalité des grains de plomb contenus dans une cartouche de calibre 12, contenant 36 g de grenaille et ayant le numéro 5 dans la série de Paris.



Figure 11 Plombs de Numéro 5 récupérés dans une cartouche de Calibre 12 de charge 36 g

b) La balistique

Un des premiers facteurs de la balistique va être la masse du plomb. En effet, l'énergie cinétique d'un projectile va être fonction de sa masse et de sa vitesse, car :

$$Ec = \frac{1}{2}mv^2$$

avec E_c : l'énergie cinétique en Joule (J),

m : la masse en kilogramme(kg)

v : la vitesse en m/s

L'énergie cinétique étant fonction de la masse et la masse fonction du volume, on peut considérer, pour des plombs de densités égales (comme dans les cartouches) que l'énergie cinétique dépend aussi du volume d'un plomb puisque :

$$m = \rho . V$$

avec m la masse en kilogramme (kg),

ρ , la densité en kilogramme par mètre cube (kg/m³),

V, le volume en mètre cube (m³)

Or, le volume d'une sphère est lui-même fonction du rayon au cube :

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

Avec : r le rayon en mètre(m)

En considérant que la vitesse initiale des projectiles est la même, on peut ainsi estimer qu'un plomb de numéro 1 aura une énergie cinétique environ 8 fois plus importante qu'un plomb de numéro 9 (ce chiffre étant le rapport des rayons mis au cube).

Un plomb de diamètre supérieur sera donc plus lourd, aura une meilleure énergie cinétique et couvrira plus de distance. Il transmettra une plus grande quantité d'énergie à sa cible.

Un plomb de diamètre inférieur ira moins loin et transmettra moins d'énergie.

Le second facteur balistique est la quantité de plombs par cartouche. Pour une charge de projectiles de 36 g, une cartouche de numéro 1 contiendra en moyenne 95 plombs quand une cartouche de numéro 9 en contiendra en moyenne 760.

En fonction de l'utilisation, on conviendra ainsi de la munition la plus adaptée.

Si lors du tir sportif sur plateaux un seul plomb suffit à endommager le plateau d'argile et peut permettre au tireur d'obtenir le point, les cartouches utilisées doivent permettre d'avoir une

gerbe complète et une vitesse convenable. Ainsi, c'est le plomb numéro 7.5, un plomb certes non référencé dans la série de Paris, mais qui à cheval entre le 7 et le 8 permet une harmonisation au niveau international pour les compétitions.

Pour la chasse, le nombre de plombs atteignant la cible au même titre que la vitesse de la grenaille à l'impact sera choisi au cas par cas selon l'espèce chassée.

Il est de coutume de dire que pour qu'un tir de chasse soit efficace sur un gibier, il doit contenir au minimum 5 plombs. Une oie pesant plusieurs kilogrammes sera plus résistante qu'une grive atteignant difficilement les 100 grammes. L'énergie nécessaire au plomb pour atteindre les zones vitales devra aussi être plus importante (Cohen-Potin et Le Gall 1991).

c) Substituts au plomb

Il est possible grâce à l'amélioration de la canonnerie moderne de tirer des substituts au plomb sans endommager les armes ou blesser le tireur. Ces substituts au plomb ont d'ailleurs été rendus obligatoires le 1^{er} Juin 2006 dans un rayon de trente mètres autour des zones humides, suite à l'interdiction des munitions à grenaille de plomb dans ces zones (*Arrêté du 9 mai 2005*).

Depuis, un nouveau texte de loi porté par l'Europe et appliqué en Février 2023 interdit l'utilisation et la possession des munitions à base de grenaille de plomb à moins de 100 m des zones humides (*Règlement UE n°2021/57 2021*).

Parmi les matériaux pouvant être utilisés comme substituts au plomb, on retrouve (Fédération Nationale des Chasseurs) :

- l'étain,
- le bismuth,
- l'acier,
- le tungstène associé au fer ou à un liant.

Toutefois, le plus couramment employé est l'acier de par son coût réduit par rapport aux autres matériaux.

La densité de l'acier est plus faible que celle du plomb. Les performances balistiques sont donc moins élevées que celle du plomb.

4. La bourre

La bourre est un dispositif dit de calage qui vient s'insérer entre la charge propulsive et les projectiles. Elle permet d'assurer une poussée uniforme, ainsi que de nettoyer, dans une certaine mesure, le canon après le tir (Cohen-Potin et Le Gall 1991).

Elle doit remplir plusieurs conditions :

- être suffisamment étanche et expansive dans le sens perpendiculaire au canon pour éviter au gaz de se disperser dans celui-ci après avoir quitté la douille
- être compressible dans le sens du canon pour transmettre le plus fidèlement possible la force de propulsion sans déformation des projectiles
- être suffisamment légère pour ne pas augmenter la pression des gaz et ainsi éviter l'éclatement du canon

Il existe deux types de bourres: la bourre grasse et la bourre à jupe.

a) Bourre grasse

La bourre dite « grasse » est la première bourre historiquement utilisée. Ce nom lui vient de sa composition, traditionnellement en trois couches (Figure 12) :

- La première couche est grasse car lubrifiée et positionnée coté poudre,
- La seconde est une légère couche de cire
- La troisième couche est sèche. Elle est aussi appelée couche mince.

La bourre grasse est généralement fabriquée à l'aide de matière naturelle telle que du feutre ou du liège.



Figure 12 Bourre grasse en feutre vue par la face sèche et la face grasse

Ce type de bourre va créer un phénomène dispersant. Ainsi, le plomb périphérique en contact avec le canon va être sujet à des frictions plus importantes que le plomb central. Ce frottement va réduire la vitesse de ces grains de plomb. Les plombs périphériques, plus lents seront donc soumis à une force centrifuge à la sortie du canon élargissant ainsi la gerbe (Cohen-Potin et Le Gall 1991).

b) Bourre à jupe

La bourre à jupe (Figure 13) est constituée de plastique et a été pensée pour réduire les frottements à l'intérieur du canon. Pour ce faire, elle comporte un godet qui va canaliser la charge lors de la traversée du canon.



Figure 13 Bourre à jupe en plastique

Le plastique n'ayant pas les caractéristiques expansives et compressives du feutre ou du liège, la bourre à jupe compense ces défauts par son architecture .

La bourre à jupe comporte trois parties :

- Le pied au contact de la poudre est fait de telle manière qu'il se déforme légèrement lors de la poussée pour garantir l'expansion mais surtout la tenue des gaz.
- Le corps, suffisamment souple pour amortir le recul et résister à la poussée, il accueille un dispositif amortisseur.
- Enfin, le godet contient les plombs et limite leurs frottements et leurs déformations.

Par rapport à une bourre dite « grasse », ces bourres garantissent une moindre fuite des gaz, une excellente vitesse initiale des projectiles et limitent la dispersion de la gerbe permettant ainsi de meilleures capacités balistiques (Cohen-Potin et Le Gall 1991).

De plus, la limitation des frottements à l'intérieur du canon combinée à la déformation du pied de la bourre, diminue la quantité de poudre nécessaire.

Enfin, il est à noter que de plus en plus de bourre à jupe, sont aujourd'hui faites avec du plastique biodégradable.

C. Utilisations

1. Le Ball-Trap

Le Ball-Trap, aussi nommé Tir aux Pigeons d'Argile, est un sport d'adresse qui peut être pratiqué comme simple entraînement pour la chasse ou comme activité sportive à part entière.

Le Ball-Trap consiste au tir en vol de plateaux d'argile propulsés en l'air. Dans ce cas le plateau mime le vol d'un pigeon et explose à l'impact de la gerbe.

a) Histoire

Auparavant pratiqué sur balle en verre d'où le nom de Ball-Trap, le plateau d'argile est apparu dans les années 1880 pour aider à l'entraînement des tireurs.

La pratique se démocratise ensuite et apparaît pour la première fois aux Jeux Olympiques dans une discipline nommée Trap (Fosse en Français) au début du XXème siècle.

Aujourd'hui, le Ball-Trap est encore présent aux Jeux Olympiques dans trois disciplines : le Skeet, le Trap et le Double Trap (FFTIR 2023).

b) Pratique en France

Depuis 1985, c'est la Fédération Française de ball-trap (FFBT) qui a pour but de promouvoir les différentes disciplines non-olympiques du ball-trap, d'organiser les compétitions, et d'attribuer les titres fédéraux. Les Disciplines olympiques sont quant à elles gérées par la Fédération Française de Tir(FFTir) (FFBT 2023).

La FFBT regroupe à ce jour 23.000 licenciés et 569 clubs affiliés. La FFTir englobant toutes les disciplines impliquant une arme à feu est plus conséquente avec 228.200 licenciés

2. La Chasse

La grenaille est surtout utilisée pour la chasse au petit gibier regroupant les oiseaux ainsi que de petits mammifères. Ce type de chasse est une pratique traditionnelle Française, pratiquée par plus d'un million de Licenciés selon la Fédération Nationale des Chasseurs.

a) Histoire de la chasse moderne

Avant 1789, la chasse était un privilège féodal et interdite aux roturiers. Toutefois lors de la Révolution Française, avec l'abolition des privilèges féodaux, les choses changent et tout propriétaire est en droit de chasser sur ses terres ou de céder son droit de chasse à une autre personne. La chasse « moderne » apparaît alors. Puis, au siècle suivant Napoléon instaure un permis de port d'arme de chasse payant en 1810. Enfin plus tard en 1844, quiconque souhaitant chasser doit s'acquitter des droits d'un permis de chasse auprès de sa préfecture. Le permis de chasse tel qu'on le connaît encore aujourd'hui apparaît alors et des périodes légales de chasse sont aussi fixées. (FNC/BIPE 2016)

b) Pratique en France

De nos jours, la chasse est pratiquée par 1.03 millions de chasseurs à travers les territoires Français. C'est la Fédération Nationale des Chasseurs (FNC) qui encadre la pratique et distribue les permis.

Elle tient des statistiques sur les pratiques de chasse et les pratiquants.

- Profil socio-professionnel

Les chasseurs sont pour leur majorité des actifs (55%), des retraités (40%) et autres (5%).

Parmi les actifs, des personnes venant de tous horizons sont observées (Figure 14). Ainsi on note :

- 39% de cadres et profession libérale
- 21% d'employés
- 15% d'ouvriers
- 9% d'artisans, commerçants
- 8% d'agriculteurs
- 8% autres

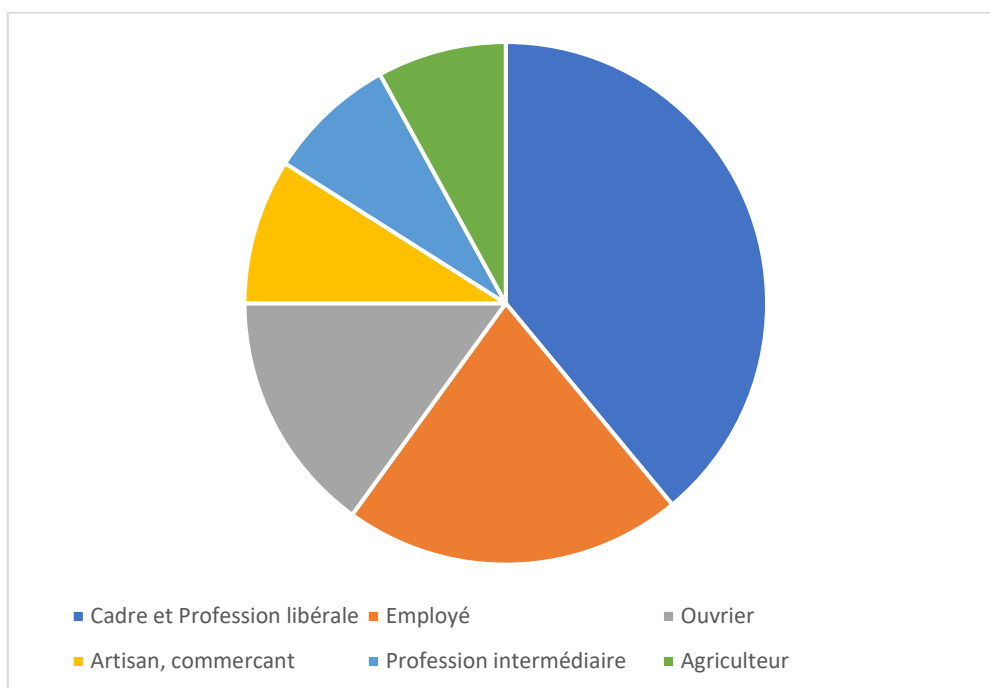


Figure 14 Catégories Socio-Professionnelles des Chasseurs en France (FNC/BIPE 2016)

Dans la pyramide des âges, selon la FNC, 47% des chasseurs ont moins de 55 ans et 71% ont moins de 65 ans (Figure 15).

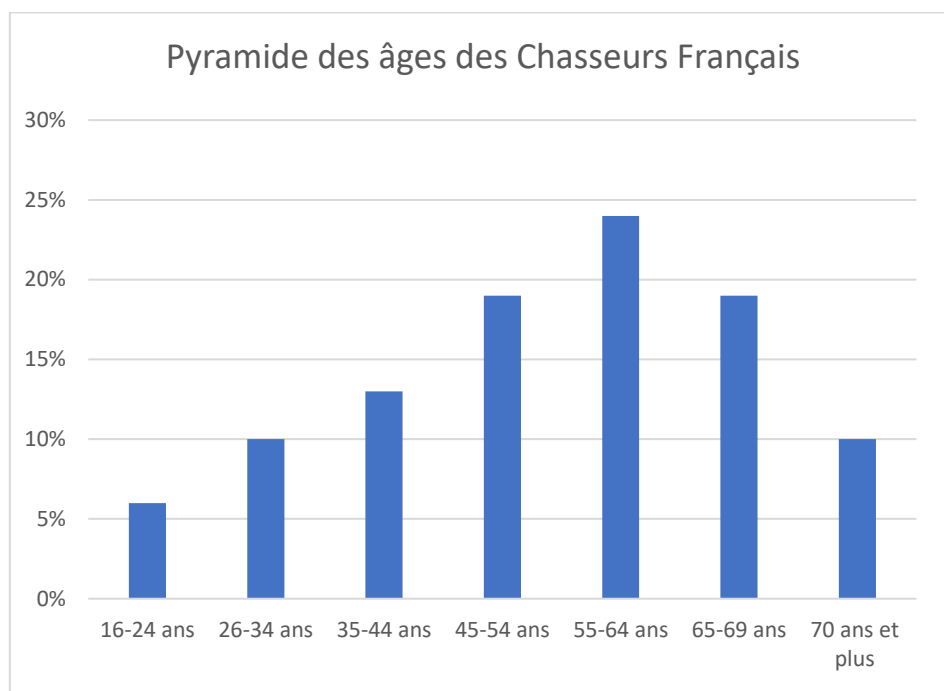


Figure 15 Répartition des chasseurs par classe d'âge (FNC/BIPE 2016)

- Pratiques de chasse

En France, le gibier le plus chassé est le petit gibier à 66%, regroupant :

- Le petit gibier sédentaire (32%)
- Le gibier migrateurs terrestres (20%)
- Le gibier d'eau (13%)
- Le petit gibier de montagne(1%)

Le grand gibier regroupe quant à lui 34% de la pratique.

Ces gibiers sont chassés principalement à tir (muni d'un fusil ou d'une carabine) dans 84% des cas. Toutefois, d'autres pratiques existent, telles que: les chasses traditionnelles (7%), la vénerie (5%), la chasse à l'arc (3%) et la fauconnerie (1%).

Parmi ces pratiques, c'est la chasse à tir qui fait usage de plomb dans ses munitions. Elle peut être subdivisée en différent sous-types :

- 31% de chasse en battue
- 30% de chasse devant soi
- 12% de chasse à l'affût
- 11% de chasse à la passée
- 8% de chasse à l'approche
- 5% autres pratiques
- 3% de chasse à la tonne, hutte ou gabion

II. La toxicité du plomb chez l'Homme

A. Le Saturnisme

1. Définition du Saturnisme

L'appellation Saturnisme vient de l'Alchimie où l'élément plomb est représenté par la Planète Saturne. Le saturnisme est une intoxication aigüe ou chronique liée au plomb ou à ses dérivés.

N'ayant pas d'utilité physiologique, la présence de plomb chez l'Homme est toujours témoin d'une contamination. Il n'a donc pas de valeur seuil, contrairement à d'autres substances.

Dangereux pour la santé, le plomb a toujours des effets toxiques sur l'organisme, même aux plus faibles doses. Le présence de plomb dans l'organisme est mesurée par sa concentration dans le sang, aussi appelée la plombémie.

En France, la plombémie maximale tolérée chez l'enfant et l'adolescent de moins de 18 ans est de 50 µg/L depuis le 17 juin 2015 (Santé.gouv 2015b).

En 1976, la valeur maximale tolérée était de 400 µg/L. En constante baisse, cette valeur suit les recommandations du Haut Conseil de la Santé Publique à la lumière d'études toujours plus récentes à charge contre cette contamination (Santé.gouv 2015b).

Le saturnisme chez l'enfant et l'adolescent de moins de 18 ans est une pathologie à Déclaration Obligatoire aux autorités sanitaires du département. L'environnement du patient est ainsi étudié et des mesures sont prises pour faire cesser l'exposition.

Chez l'adulte, pouvant être contaminé dans le cadre professionnel, les personnes exposées à ce risque disposent d'une surveillance accrue par les services de la médecine du travail.

2. L'Intoxication au plomb au fil des âges

a) Le Saturnisme Préhistorique

De par sa malléabilité et la facilité avec laquelle il peut être transformé, le plomb fait partie des premiers métaux à être transformés par l'homme. On retrouve des traces de son utilisation en Asie Mineure et au Moyen-Orient à l'âge de Bronze entre 6000 et 8000 avant notre ère (Needleman 2004).

L'exposition des Hommes au plomb *via* ces utilisations a donc conduit assez tôt à des intoxications, qui peuvent aujourd'hui être mises en lumière par des archéologues au moyen de techniques modernes lors d'analyse d'ossements et de dents et corrélées à la découverte de bijoux en plomb datant de la même période.

b) Le Saturnisme Antique

A partir de l'Antiquité, bien qu'il soit toujours utilisé, les savants prennent progressivement conscience de la toxicité du plomb.

Ainsi, aux alentours de -370, le père de la Médecine, Hippocrate, décrit pour la première fois les coliques des mineurs des Mines d'argent dont le sulfure de plomb ou galène est produit lors de l'extraction. Il n'avait toutefois pas encore lié les coliques à ce composé (Waldron 1973).

Plus d'un siècle plus tard en -225, un autre Grec, Nicandre de Colophon fait le lien entre ces coliques et l'élément plomb. Il décrit, tel un poison, la céruse ou carbonate de plomb, résultats de l'oxydation du plomb alors utilisé comme pigment blanc. De plus, il décrit dans son œuvre les Alexipharmaka, l'anémie et les coliques induites par le plomb (Needleman 2004).

Toutefois, bien que décrit aussi chez les Romains par Celse dans son encyclopédie médicale, cela n'a pas empêché la population romaine d'utiliser le plomb dans tous les domaines : des pigments de cosmétiques avec la céruse, à l'alimentation avec la vaisselle en plomb et l'alimentation en eau des villes par les tuyaux en plomb (Figure 16) (Retief et Cilliers 2010).



Figure 16 Tuyau de canalisation en plomb Romain(1-300 Après J-C) (Fae 2023)

Le Saturnisme fait partie des hypothèses avancées pour expliquer la chute de l'Empire romain tant la présence du plomb était importante chez l'aristocratie romaine (Needleman 2004).

c) Le Saturnisme du Moyen-Âge à la Révolution Française

La saturnisme est encore présent au Moyen-Âge, principalement par l'exposition des artisans au plomb. C'est le cas des architectes, de la main d'œuvre employée lors de la construction d'édifices, mais aussi des mineurs d'argent, des fondeurs, et des employés de faïenceries (le plomb étant utilisé comme composé de l'émail).

De plus, le plomb est utilisé dans la confection de peintures, d'ustensiles de cuisines, mais aussi de condiments à cause de son goût sucré sous forme d'acétate de plomb (Figure 17), notamment utilisé pour adoucir les boissons alcoolisées comme le vin et le cidre.

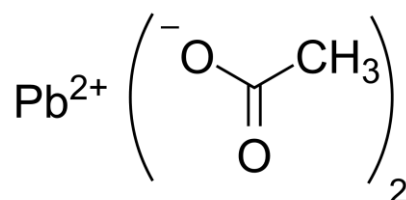


Figure 17 Formule de l'acétate de plomb

Les écrits se faisant l'écho d'intoxication au plomb sont rares lors de cette période.

Toutefois, Paracelse fait au 16^{ème} siècle le lien entre la saturnisme et certains métiers, notamment les mineurs

Au siècle suivant, un médecin Allemand, Eberhard Gockel fait une découverte lors de la visite d'un monastère dans lequel, une partie des moines sont malades. En recoupant les symptômes et les habitudes de chacun, il constate alors que le point commun entre tous les malades est le vin, et que ce vin était « amélioré » par l'ajout d'acétate de plomb aussi nommé sucre de plomb qu'il tiendra pour responsable (Eisinger 1982).

Au 18^{ème} siècle, c'est encore *via* la boisson que le saturnisme est décrit par Sir Georges Baker, le médecin de la cour du Roi d'Angleterre, lors d'une épidémie de coliques dans le Devonshire. Dans ce cas, c'était le cidre qui était contaminé par la presse à pomme qui était en plomb (Sir Baker 1768).

Enfin, pour clôturer cette période, a eu lieu la première démarche de Santé Publique contre le saturnisme dans l'état du Massachussetts aux États-Unis qui condamna le fait de sucrer une boisson avec un dérivé du plomb, et en interdit même la pratique.

d) Le saturnisme de l'époque Moderne

Lors de cette période, l'intoxication au plomb commence à être documentée, et est surtout décrite chez les ouvriers, victimes de l'industrialisation dans les domaines de la peinture, des mines et des fonderies.

En 1831, René Laennec décrit l'anémie provoquée par le plomb (Waldron 1966).

Plus tard, dans la même décennie, Louis Tanquerel des Planches, médecin de Paris publie plusieurs ouvrages dont sa thèse intitulée « Essai sur la paralysie de plomb ou saturnine » en 1834, mais aussi la première description clinique du saturnisme dans son « Traité des maladies de plomb ou saturnines » en 1839 (Walusinski 2022).

Les autorités publiques pourtant alertées, attendront toutefois le 20^{ème} siècle pour prendre des mesures.

Ainsi, à partir de cette époque, on notera en France (Garnier 2005) :

- 1915 : L'interdiction de l'usage de la peinture au plomb pour les peintres
- 1919 : La reconnaissance du saturnisme en tant que Maladie Professionnelle
- 1926 : L'interdiction de l'usage de la céruse de plomb pour les artisans
- 1948 : L'interdiction totale de l'utilisation de la céruse de plomb
- 1950 : L'interdiction du plomb dans les canalisations intérieures des habitations
- 1995 : L'interdiction du plomb dans toutes canalisations intérieures et publiques
- 1996 : L'interdiction du plomb dans les soudures
- 2000 : L'interdiction du plomb dans le Carburant

La Figure 18 présente une boîte de peinture à la Céruse de plomb utilisée en France avant son interdiction en 1948



Figure 18 Boîte de Peinture à la céruse de Plomb (Thester11 2023)

B. Toxicité du Plomb

1. Propriétés Physico-Chimiques du plomb

a) Propriétés Physiques

Le plomb fait partie des métaux lourds. Son aspect à l'œil va du bleuâtre à l'argenté. Il est malléable et ductile. C'est un métal dense avec une masse à 20°C de 11,35 g/cm³, de faible conduction électrique et résistant à la corrosion (Garnier 2005).

Sa température de fusion est de 327°C, il commence à s'évaporer à partir de 500°C et son point d'ébullition est à 1525°C (Garnier 2005).

b) Propriétés chimiques

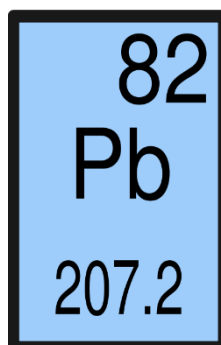


Figure 19 Symbole chimique du plomb (Albedourk 2023)

Dans le tableau périodique des éléments, le plomb se situe à la 6^{ème} ligne (ou période) et 14^{ème} colonnes (ou groupe). Son Numéro atomique est 82 et sa masse atomique est de 207.2 U .

Le plomb existe sous une multitude de formes majoritairement inorganiques, dont certaines ont été citées précédemment.

C'est dans sa forme élémentaire, à l'état solide qu'il est le plus résistant aux acides. Et, c'est dans cette forme qu'il sert à la fabrication de munitions.

Moins résistant dans ses autres formes, le plomb peut former différents sels en fonction du pH. Ainsi, sa solubilité en milieu acide, et donc son absorption dans l'organisme notamment au niveau digestif, peut-être augmentée (Garnier 2005).

Pour ce qui est de ses formes organiques, elles se retrouvent dans l'essence plombée interdite depuis 2000 et dans certaines peintures pour aider à sécher plus rapidement.

2. Toxicocinétique du Plomb de Chasse inorganique

Trois voies d'entrées du plomb de Chasse dans l'organisme sont possibles:

- La voie Digestive → l'ingestion des plombs en même temps que le gibier
- La voie Inhalée → la fumée issue de la mise à feu de l'arme
- La voie Tissulaire → les accidents de chasse

Dans les paragraphes suivants, l'absorption, la distribution, la métabolisation et l'élimination (ADME) du plomb au sein de l'organisme sont décrits.

a) Absorption

- Digestive

Le plomb nécessite d'être sous forme soluble pour être ingéré. Il peut ainsi être avalé directement sous cette forme ou acquérir cette solubilité suite à des transformations chimiques lors de sa progression dans le tube digestif. Dans l'organisme, son lieu d'absorption se situe au niveau du duodénum dans l'intestin grêle. Et l'absorption est âge-dépendant. Ainsi, un adulte absorbera jusqu'à 10% du plomb ingéré quand un enfant en absorbera deux fois plus et un nourrisson jusqu'à cinq fois plus (Bismuth 2000).

Pour être absorbé, le plomb emprunte les voies d'absorption d'autres éléments (le calcium, le fer, le magnésium) et l'absorption peut être modifiée suivant la composition du bol alimentaire (Wani et al. 2015; Bismuth 2000).

Ainsi, les états qui favorisent l'absorption du plomb sont :

- Un bol alimentaire vide (jeûne)
- Un régime riche en lipides, en lactose,
- Un régime pauvre en fibres végétales
- Des carences en calcium, magnésium ou fer par manque de compétition au niveau des récepteurs

- Respiratoire

Au niveau respiratoire, le plomb peut être absorbé sous forme de particules, de gaz ou de vapeurs. La taille des particules est un facteur important dans l'absorption par voie respiratoire car celles mesurant plus de 1 μm ne restent pas dans les poumons, les autres peuvent se déposer au niveau alvéolaire pour être absorbées à hauteur de 20 à 50 %. La demi-vie du plomb dans les poumons est de 6 à 12 heures (Bismuth 2000; Wani et al. 2015).

- Tissulaire

Moins documentée que les deux autres, l'absorption tissulaire est toutefois présente mais variable selon le tissu ciblé.

En intramusculaire, le plomb a tendance à s'enkyster et donc limiter son impact sur le corps, alors que dans les séreuses, les régions intra et périarticulaires, l'absorption est possible.

b) Distribution

Le plomb est transporté dans le sang circulant, majoritairement par les globules rouges suite à sa fixation à l'hémoglobine ou à leurs membranes. Il se retrouve aussi sous forme libre dans le plasma. Le plomb sanguin ne représente qu' 1 à 2% de la quantité présente dans l'organisme (Bismuth 2000).

D'abord transporté dans les tissus mous où il représente 10% de la quantité totale présente, le plomb est ensuite acheminé dans le tissu osseux où environ 90% est stocké. A ce niveau, il peut y rester plusieurs années et être relargué suivant les changements métaboliques de l'individu et la déminéralisation des os (Bismuth 2000).

Le plomb peut aussi être transmis au fœtus *via* la barrière placentaire chez la femme enceinte ou au nouveau-né *via* l'allaitement (Bismuth 2000).

c) Métabolisation

Le plomb de chasse, étant inorganique, il n'est par essence pas possible de parler de métabolisation qui correspond à un processus de dégradation et de synthèse organique.

d) Élimination

Le plomb absorbé par l'organisme et non stocké est excrété *via* différentes voies :

La majorité se fait par la voie urinaire. Le plomb sanguin est en effet éliminé par filtration glomérulaire. Cela représente environ 80% de l'élimination totale (Bismuth 2000).

La deuxième voie d'élimination se fait par les fèces *via* la voie biliaire. Cette voie contribue à environ 15% de l'élimination. Elle permet l'élimination du plomb non absorbé par le tube digestif (Bismuth 2000).

Le restant de l'élimination, négligeable, se fait par les sécrétions (salive, sueur, lait). Cette voie permet l'élimination du plomb qui se retrouve dans le plasma qui peut aussi s'éliminer *via* les phanères. C'est d'ailleurs grâce à cette élimination en particulier que l'on peut étudier le saturnisme, en utilisant des cheveux comme échantillons, notamment en archéologie (Bismuth 2000; Wani et al. 2015).

Avec le stockage du plomb dans les tissus mous et le tissu osseux, cette élimination s'effectue en trois temps, chacun fonction de la demi-vie du plomb dans le tissu (Wani, Ara, et Usmani 2015; INRS 2023b) :

- Demi-vie du plomb dans le sang : 1 mois
- Demi-vie du plomb dans les tissus mous : 2-3 mois
- Demi-vie du plomb dans le tissu osseux : 12,5 ans

La Figure 20 représente les différents devenir du plomb selon la voie d'absorption empruntée. Elle présente aussi les échanges tissulaires ayant lieu.

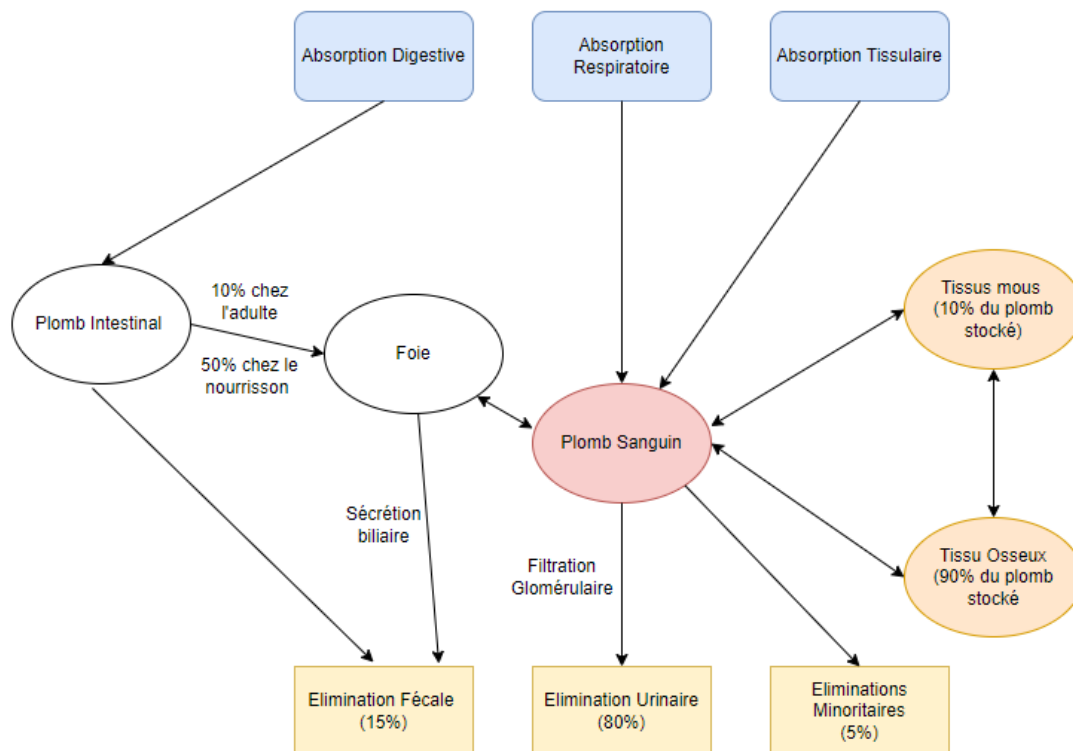


Figure 20 Toxicocinétique du Plomb Inorganique chez l'homme (Bismuth 2000)

3. Mécanisme de toxicité du plomb

a) Atteintes cellulaires

- Mimétisme du calcium

De par son mimétisme avec le calcium, le plomb est en grande partie absorbé dans l'organisme *via* les canaux calciques au niveau intestinal (Duan et al. 2021).

Il peut aussi entrer en compétition avec celui-ci afin de traverser les canaux calciques voltage dépendants des terminaisons nerveuses. Il inhibe de ce fait l'entrée du calcium dans ces cellules et induit un retardement de la réponse nerveuse. Sur le même principe, il inhibe les mécanismes calcium-dépendant de l'organisme (Duan et al. 2021).

- Inhibition de la synthèse de l'hème

Les globules rouges, dont le rôle est l'oxygénation des tissus et le transport des gaz dans le sang, sont tributaires de protéines nommées globines et d'un cofacteur nommé l'hème pour mener à bien leur mission.

Or, ce cofacteur est le produit d'une longue cascade de réactions dont le plomb peut venir perturber le bon déroulement. Une accumulation de précurseurs ne pouvant être correctement transformés est alors observée.

La Figure 21 présente une version résumée de la cascade de formation de l'hème, sur laquelle les inhibitions du plomb sont les plus remarquables.

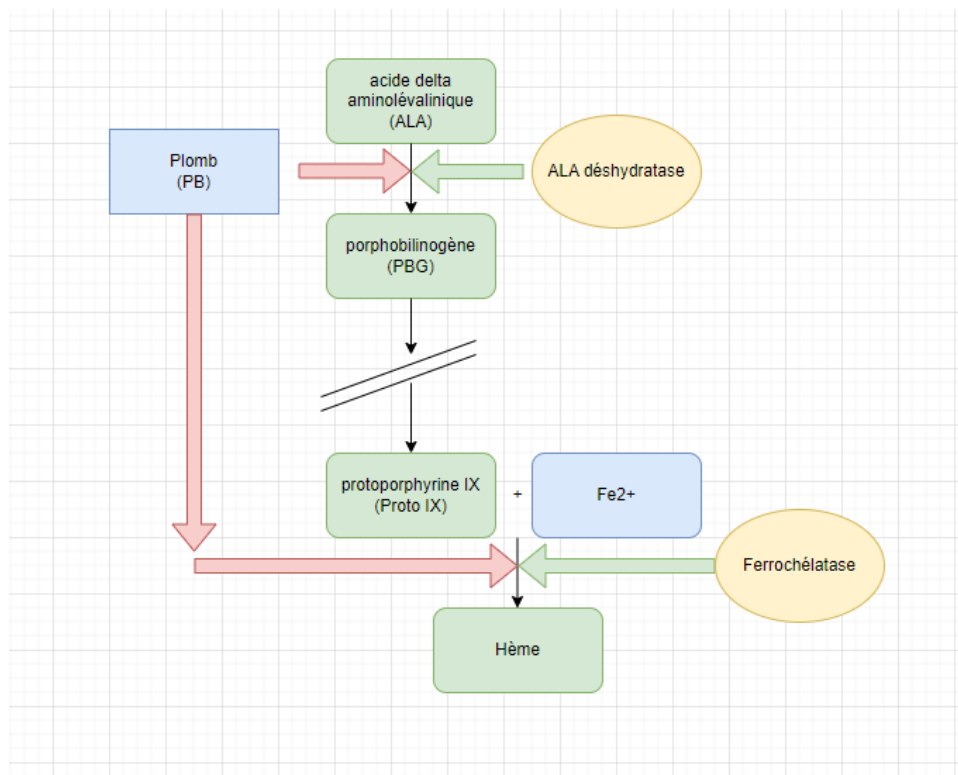


Figure 21 Action du plomb sur des extraits de la cascade de formation de l'hème (Garnier 2005)

En présence de plomb, une première inhibition importante a lieu lors de la déshydratation de l'acide delta amino-lévulinique (ALA) par son enzyme l'ALA déshydrase. Le plomb, attiré par les groupements thiols de cette enzyme (dont le rôle est la captation des métaux lourds), remplace le zinc dans cette réaction. Cette fixation réversible du plomb empêche la réaction d'aboutir et entraîne ainsi une augmentation successive des concentrations cytoplasmiques

sanguines d'ALA. Une augmentation de la concentration d'ALA éliminée par les urines est également observée (Garnier 2005).

Une seconde inhibition a lieu plus tard dans la cascade lors de l'acquisition du Fe^{2+} par la Protoporphyrine IX. A ce niveau, le plomb a une action sur la ferrochélatase, empêchant le bon déroulement de la réaction et provoquant l'accumulation de protoporphyrine-zinc dans les globules rouges (Garnier 2005).

De plus, par un mécanisme similaire à celui observé lors de son entrée dans l'organisme, par mimétisme avec le calcium, le plomb entre en compétition avec le fer pour être absorbé au niveau digestif. Une diminution de l'absorption du fer est donc également observée.

Ces trois mécanismes sont responsables de l'inhibition de la synthèse de l'hème et entraînent une anémie chez le patient contaminé.

b) Atteintes tissulaires

Ce qui se passe au niveau des cellules a une action directe sur les tissus qu'elles constituent. Ainsi une intoxication au plomb peut entraîner diverses atteintes au niveau des tissus :

- Système digestif

Les effets digestifs du plomb sont connues depuis l'antiquité, et correspondent aux fameuses coliques de plomb.

Ces coliques sont dues à l'irritation des muqueuses par le plomb entraînant des symptômes plus ou moins importants selon la quantité de plomb et l'âge de l'individu, pouvant aller de simples douleurs abdominales et crampes, à des nausées- vomissements et des dérèglements du transit (diarrhée ou constipation) (Garnier 2005).

Dans certains cas, l'irritation est telle, qu'elle entraîne des ulcères digestifs et des hémorragies intestinales.

- **Système nerveux**

L'action neurotoxique du plomb est surtout due à son mimétisme avec le calcium et aura des répercussions à plusieurs niveaux selon les plombémies relevées.

Ainsi,

- à des concentrations < 100 µg/L, il peut entraîner des troubles cognitifs et des diminutions de l'acuité auditive ainsi qu'une inhibition du développement staturo-pondéral chez l'enfant
- à partir de 200 µg/L, des diminutions des vitesses de conceptions nerveuses sont observées
- pour des concentrations > 400 µg/L, des troubles mentaux organiques sont avérés chez l'adulte
- des signes de neuropathies périphériques sont décelables dès 700 µg/L et deviennent cliniquement évidents au-delà de 1000 µg/L
- enfin, l'intoxication au plomb peut conduire à des encéphalopathies sévères chez l'enfant à 1000 µg/L et 2000 µg/L pour l'adulte (Santé.gouv 2015)

- **Système Rénal**

Le plomb sanguin étant éliminé par filtration glomérulaire au niveau du rein, il peut en cas d'intoxication aigüe, s'accumuler dans les tubes contournés proximaux et causer des anomalies tubulaires avec glycosurie et amino-acidurie (INRS 2023b).

La baisse du débit de filtration glomérulaire apparaît à faible concentration (< 100 µg/L) chez l'adulte et l'adolescent. Les premiers signes d'atteintes tubulaires rénales commencent à 400 µg/L et, après exposition prolongée au plomb, le risque de néphropathie glomérulaire et tubulo-interstitielle est avéré au-dessus de 500 µg/L (Santé.gouv 2015).

- **Système cardiovasculaire**

Le plomb peut induire chez l'homme une augmentation de la pression artérielle et un risque d'hypertension artérielle même à faibles doses (Gambelunghe et al. 2016).

Les mécanismes d'action ne sont pas encore tout à fait élucidés. Mais, on suppose que le mimétisme du calcium par le plomb pourrait inhiber la relaxation des muscles lisses des vaisseaux sanguins.

- *Système reproductif*

Le plomb est responsable de ralentissements de la maturation sexuelle chez l'enfant mais aussi d'une augmentation du retard pubertaire (Santé.gouv 2015).

Chez l'homme en âge de procréer, il conduit à des altérations du spermogramme et augmente le temps nécessaire pour concevoir (Santé.gouv 2015).

Enfin, chez la femme enceinte, il favorise l'hypertension artérielle gravidique, augmente le risque d'avortement et le risque d'avoir un prématuré. De plus, le plomb est nocif pour tous les stades du développement fœtal et peut causer des malformations chez l'embryon (Santé.gouv 2015).

Le plomb est donc gamétotoxique chez l'adulte et tératogène pour l'embryon. A ce titre, il est classé CMR (cancérogènes, mutagène, reprotoxique) et le centre international de recherche sur le cancer (CIRC) le classe 1A (cancérogène pour l'homme) pour sa toxicité sur la reproduction et entre 2A (probablement cancérogène pour l'homme) et 2B (peut-être cancérogène pour l'homme) selon le dérivé (INRS 2023a).

4. Symptômes de l'intoxication au plomb

Les symptômes pouvant varier et/ou évoluer selon l'exposition au plomb et la fréquence de celle-ci, on distinguera l'intoxication aiguë de l'intoxication chronique.

a) Intoxication aiguë

L'intoxication aiguë reste rare, et est souvent due à une ingestion massive de plomb par le patient.

Dans ces conditions, ce sont les effets digestifs qui sont observés. Dans un premier temps, dès 2h après l'ingestion, apparaissent des crampes, douleurs abdominales, vomissements et diarrhées. Ces effets sont passagers (Bismuth 2000).

D'autres effets se manifestent ensuite, tels que des atteintes sur les lignées rouges (hémolyse) et dans les cas les plus graves, une hépatite cytolytique et/ou une atteinte tubulaire au niveau du rein.

Des troubles neurologiques peuvent également être observés mais restent assez rares.

Ces symptômes sont surtout liés aux mécanismes d'absorption et d'élimination du plomb *via* le tube digestif, les urines et la voie biliaire. La plombémie initiale est toujours forte. Si après 24h elle est toujours supérieure à 1000 µg/L on parle d'intoxication sévère (Bismuth 2000).

b) Intoxication chronique

Contrairement à l'intoxication aiguë, qui est par essence ponctuelle, l'intoxication chronique correspond à une exposition à long-terme au plomb, saturant les mécanismes d'élimination du corps humain.

Dans ces conditions, une colique saturnine peut être observée. La colique saturnine ou colique de plomb correspond à une évolution des troubles digestifs relevées lors d'une intoxication aiguë. Elle est typique d'une forte exposition répétée au plomb. Elle est décrite pour des plombémies très élevées >1000 µg/L, et de ce fait, elle est assez rarement observée de nos jours (Bismuth 2000).

Au niveau hématologique, l'hémolyse évolue en une hyperhémolyse. De concert avec les troubles de la synthèse de l'hème, l'hyperhémolyse conduit à une anémie dans les formes graves et peut être amplifiée lors de carence martiale sous-jacente (Bismuth 2000).

Une augmentation de la pression sanguine pouvant conduire à une hypertension artérielle est observée au niveau cardio-vasculaire.

Pour ce qui est de la fonction rénale, les symptômes observés lors de l'intoxication aiguë progressent, entraînant une augmentation de protéinurie, glycosurie, hypercalciurie, aminoacidurie. Ces effets sont réversibles à l'arrêt de l'exposition. Toutefois, des effets tardifs tels que des insuffisances rénales définitives peuvent intervenir de 10 à 30 ans après celle-ci (Bismuth 2000).

Au niveau neurologique, plusieurs atteintes peuvent être notées :

- Des neuropathies périphériques typiques conduisant à une paralysie de l'avant-bras : Dans ces conditions, dans un premier temps le patient ne peut plus étendre le majeur et l'annulaire. Puis progressivement, il ne peut plus étendre les autres doigts et l'extenseur du poignet. Tout comme les coliques saturnines, ces neuropathies sont cependant rarement observées de nos jours. Les manifestations les plus fréquemment rencontrées sont des ralentissements des réponses motrices et sensitives des membres (Bismuth 2000).
- L'encéphalopathie saturnine. Cet effet est plus fréquent chez l'enfant que chez l'adulte. Il évoque une intoxication grave au plomb car mortelle en quelques heures si non traitée. Le tableau de l'encéphalopathie saturnine est varié suivant les individus et comporte : délire, apathie, céphalées, vomissements, confusion, somnolence, troubles de l'équilibre, coma, convulsions. Et malgré le traitement, des séquelles invalidantes sont fréquemment observées lors d'encéphalopathie saturnine : retard psychomoteur, épilepsie et cécité (Bismuth 2000).

Enfin, dans certains cas, d'autres manifestations typiques d'une intoxication au plomb peuvent apparaître. Elles ne sont toutefois pas systématiques (Bismuth 2000):

- Le Liseré de Burton : liseré gingival de couleur bleu ardoisé au niveau des incisives et des canines dû à l'élimination salivaire du plomb
- Les taches de Gubler : de même couleur et de même origine, elles surviennent sur la face intérieure des joues

- Les semis de Sonkin qui correspondent à une coloration sous forme de points grisâtres du fond d'œil, sans atteinte fonctionnelle
- Les lignes de plombs, sur la métaphyse des os longs chez l'enfant

C. Diagnostic et traitement

1. Diagnostic analytique de l'intoxication au plomb

Le diagnostic peut s'effectuer par des méthodes directes où l'on va rechercher à quantifier directement la présence de plomb dans l'organisme, ou des méthodes indirectes ayant pour objectif de mettre en évidence la présence de plomb dans l'organisme.

a) Diagnostic direct

- La plombémie

Il s'agit de la référence pour fixer un diagnostic d'intoxication au plomb. La plombémie consiste à mesurer la concentration en plomb dans le sang (en μg de plomb par litre de sang). Pour ce faire on utilise le sang veineux que l'on prélève dans un tube contenant un anticoagulant (INRS 2023).

Cette analyse permet d'avoir une vue globale sur l'intoxication et reste la plus pertinente afin de déclencher un traitement en cas d'intoxication aiguë.

Elle a toutefois ses limites. La demi-vie du plomb dans le sang étant assez longue et celui-ci ayant la possibilité d'être stocké et relargué par le tissu osseux et les tissus mous, elle est en effet peu pertinente en cas d'intoxication chronique. En outre, elle ne permet pas de connaître la quantité totale de plomb dans l'organisme.

- La plomburie

La plomburie spontanée permet d'évaluer la quantité de plomb éliminée par filtration glomérulaire. Mais elle n'est pas très fiable pour mesurer l'ampleur de l'exposition et la quantité totale de plomb dans l'organisme n'est pas calculable. S'ajoute à cela un risque important de contamination de l'échantillon (INRS 2023).

L'évolution de la plomburie est plus pertinente et est quant à elle un bon indicateur de la dose interne de plomb. Il s'agit du test de plomburie provoquée. On mesure alors la plomburie, après administration d'un chélateur du plomb le calcitétracémate disodique (ou EDTA calcique) d'élimination exclusivement rénale (INRS 2023).

Elle est utilisée avant traitement chélateur, car elle entraîne de rapides transferts de plomb entre les tissus et peut sur une courte durée faire monter artificiellement la fraction de plomb circulant dans le sang. A ce titre, elle n'est donc à utiliser qu'en cas de suivi dans un centre spécialisé.

- La biopsie

C'est une méthode possible pour obtenir le dosage du plomb dans un organe. Cette méthode est cependant invasive, coûteuse et difficile à mettre en œuvre chez le vivant.

b) Diagnostic indirect

- Les dosages d'acide amino-lévulinique (ALA)

Comme indiqué dans paragraphe IIB.2-d, le plomb en perturbant la synthèse de l'hème entraîne une augmentation de la concentration en ALA par inhibition de l'ALA déshydratase (ALA-D) (Figure 21).

Pour mettre en évidence une intoxication au plomb, il est donc possible de doser cet ALA dans le sang tout comme dans les urines.

Toutefois, l'inhibition de l'ALA déshydratase, qui est dose dépendante, commence pour une concentration dans le sang de 100 µg/L et se termine par le blocage totale de la réaction au-delà de 900 µg/L. Les concentrations en plomb et en ALA dans le sang ne sont ainsi corrélées qu'en cas d'expositions importantes et brèves (INRS 2023).

Concernant le test urinaire, il peut être utilisé en milieu professionnel en cas d'exposition accidentelle ou brève. Mais il n'est pas un test de référence.

- Le dosage des protoporphyrines-zinc

De même que l'ALA, l'accumulation de protoporphyrines-zinc (PPZ) est un résultat de l'inhibition par le plomb d'une étape de la synthèse de l'hème (paragraphe IIB.2-d) (INRS 2023).

Ainsi, un dosage des PPZ dans le sang peut également être réalisé. L'avantage de ce marqueur est que sa concentration augmente assez tardivement par rapport à l'ALA en raison de sa place dans la cascade de réactions de synthèse de l'hème. De ce fait, c'est un bon indicateur d'exposition des mois précédents et il est utile pour évaluer une exposition chronique. Il n'a en revanche pas d'intérêt pour une intoxication aiguë.

- La radiographie

La radiographie est un bon outil pour visualiser le plomb directement sur des parties du corps. En effet, le plomb étant radio-opaque du fait de sa densité, on peut suivre le devenir du plomb dans le tube digestif suite à une ingestion ou dans les tissus suite à un accident, mais aussi sur la métaphyse des os longs des enfants dans certains cas.

2. Traitement

a) Traitement de l'intoxication aiguë

En cas de forte ingestion, on va dans un premier temps utiliser la radiographie, pour localiser le plomb et se faire une idée de la quantité ingérée. Puis on réalise une plombémie pour savoir si le plomb a déjà commencé à être absorbé.

Si le plomb est encore présent dans l'estomac, on peut alors l'éliminer en faisant un simple lavage gastrique.

Si il a déjà progressé dans l'intestin, il convient d'accélérer le transit pour diminuer le temps d'échange entre le plomb et les muqueuses. Un lavement évacuateur peut alors être envisagé dans certains cas.

En cas d'intoxication aiguë, on peut également traiter les symptômes si il y en a.

De même dans certains cas, un traitement antidotique peut être indiqué. Un chélateur capable de fixer le plomb pour former un complexe stable, non toxique et éliminable par les urines est alors administré. Les deux chélateurs utilisés dans ce cas sont l'EDTA et l'acide dimercaptosuccinique (DMSA) (Danel 2017).

Ce traitement s'effectue en cures successives et l'arrêt de traitement sera déclenché lorsque la plombémie et une épreuve de plomburie provoquée seront satisfaisantes.

b) Intoxication chronique

En cas d'exposition et d'intoxication chronique avérée, le traitement va d'abord passer par l'éviction des sources de contamination. Cette investigation est conduite par les autorités sanitaires suite à la Déclaration obligatoire du cas de saturnisme. L'enquête va être menée autour du milieu de vie du patient et de son environnement, elle aboutira à des mesures de protection pour stopper l'exposition.

Dans le cas échéant, un traitement par chélation peut aussi être conduit (Danel 2017).

III. Expositions et Intoxications induites par les munitions à
grenaille

Après avoir décrit la munition à grenaille et la toxicité du plomb chez l'homme, il est temps de mettre en relation ces deux éléments et de réfléchir aux expositions probables que l'homme peut subir au contact et lors de l'utilisation de ces munitions.

Dans ces conditions, trois grands axes peuvent se dessiner.

Les munitions étant historiquement utilisées pour la chasse, la consommation d'une viande de gibier prélevée en utilisant cette grenaille pourrait être une première porte d'entrée du plomb dans l'organisme. Ainsi le risque associé à une éventuelle intoxication digestive au plomb sera discuté dans ce chapitre.

La mise à feu des munitions dégage des vapeurs. Elle se fait par percussion d'une amorce qui comme indiqué précédemment, contient de l'azoture de plomb. Les munitions à grenaille étant tirées majoritairement *via* des armes d'épaule, la proximité des voies respiratoires du tireur lors de la mise à feu induit donc une seconde voie d'entrée possible du plomb dans l'organisme.

Enfin, la composante accidentogène entre aussi en compte lors de l'utilisation de ces produits. Du plomb peut ainsi être tiré en direction d'une personne ou ricocher vers celle-ci et de ce fait pénétrer dans le corps de la victime.

A. L'Exposition à la grenaille par voie digestive

Pour pouvoir quantifier et se faire une idée de l'ampleur de l'exposition à la grenaille de plomb *via* la voie digestive, il faut d'abord s'intéresser à la consommation de viande de gibier.

1. La consommation de gibier

La consommation de gibier concerne environ 1% de la consommation de viande en France selon des données du ministère de l'agriculture. Au niveau Européen, la consommation de viande de gibier représente 0.2% de la consommation totale de viande (Agriculture.gouv 2021) .

La consommation de viande de gibier en France fait partie des plus hautes d'Europe, toutefois cette consommation est inégalement répartie dans la population.

Concernant la fréquence de consommation, 40% de la population Française en consomme de façon exceptionnelle, et près de 50% en consomme moins d'une fois par mois. Ainsi, seulement 10% des personnes en mangeraient au moins une fois par mois (Cazes-Valette 2007).

a) Le profil des consommateurs

La consommation de gibier en France se ferait principalement dans les familles de chasseurs.

En effet, une corrélation a été établie entre l'attitude à l'égard de la chasse et la consommation de gibier. Ainsi, les consommateurs réguliers seraient plus à même d'être en faveur de la chasse. Et, sans surprise, les personnes opposées à cette pratique représenteraient 70% des personnes n'en consommant jamais (Cazes-Valette 2007).

De même, les courbes de consommation de viande de gibier par habitant semblent évoluer avec celles des validations de permis de chasser. Ainsi, en France on consommait 6,6 kg/pers/an en 1990 avec 1.6 millions de permis validés, contre 3.7 kg/pers/an en 2013 avec 1.2 millions de de permis (Schulp et al. 2014).

D'autre part, les consommateurs seraient aussi principalement ruraux (avec une consommation augmentant dans les communes les moins peuplées) et majoritairement des hommes (les hommes représentant 2/3 des consommateurs réguliers quand les femmes représentent de leur côté 2/3 des non consommateurs) (Cazes-Valette 2007).

Enfin, les plus grands consommateurs se retrouvent principalement dans deux catégories socio professionnelles : les agriculteurs et les ouvriers, ces deux catégories représentant 50% des consommateurs réguliers (Cazes-Valette 2007).

b) Les modes de consommations

Selon Cazes-Valette (2007), pour 60% des sondés, le gibier est une viande qui serait consommée principalement lors d'occasions festives. Pour un peu plus de 80% des consommateurs, elle garnit les tables des hôtes et moins de 70% affirment en consommer à leur domicile (Cazes-Valette 2007).

Une étude auprès de chasseurs a montré que 56% de la viande de chasse est autoconsommée et le reste offert/distribué aux proches (FNC/BIPE 2016).

Ainsi, on peut expliquer plus aisément le pourcentage précédant d'agriculteurs consommateurs réguliers, car si il n'est pas en adéquation avec les 8% de détenteurs de permis de cette catégorie socio-professionnelle, de la viande leur est souvent offerte en échange du droit de chasse sur leurs terres.

La France est réputée pour sa gastronomie. Le gibier, mets autrefois réservé à la noblesse, était prisé par celle-ci pour son origine sauvage. Cette viande est réputée comme étant difficile à préparer et nécessite une certaine expertise. Cela pourrait expliquer en partie sa consommation irrégulière pour bon nombre de consommateurs.

Enfin, les dates d'ouverture de la chasse des espèces sont fixées par l'état sur une période donnée. C'est une ressource qui ne peut donc pas se retrouver toute l'année disponible sous sa forme initiale, non transformée. Elle se prête malgré tout relativement bien à la transformation puisque plus de 30% de la viande rapportée au foyer est transformée en divers produits (FNC/BIPE 2016).

c) Les avantages et inconvénients

Après avoir apprécié la population de consommateurs et les modes de consommation de cette matière première, il est temps de voir quels sont les avantages et les inconvénients de cette consommation.

- Avantages

Ce qui transparaît le plus quand on aborde la viande de gibier, ce sont ses prétendues qualités nutritionnelles.

Après analyse de diverses pièces de viande d'espèces sauvages et en comparaison avec des espèces élevées par l'homme, le constat est le suivant. Ces viandes seraient une des meilleures sources de phosphore de l'alimentation et elles surpasseraient les viandes classiques de par leurs teneurs en fer et en potassium. En outre, de par l'exercice quotidien du gibier en pleine nature, ces viandes sont pauvres en lipides (Ducluzeau 2004).

Le Tableau 2 compare les valeurs nutritionnelles de cinq espèces de gibiers à leurs homologues d'élevage. Ainsi, à titre d'exemple :

- la viande de perdrix serait plus de trois fois moins grasse que celle de poulet
- la viande de lièvre serait bien moins grasse que celle de lapin
- la viande de biche serait vingt-cinq fois moins grasse que celle de bœuf
- Et le sanglier, gibier le plus gras, serait quant à lui cinq fois moins gras que son homologue porcin

Tableau 2 Valeurs nutritionnelles de viandes de gibiers face à leurs homologues d'élevage (Ducluzeau 2004)

Valeurs nutritionnelles pour 100g de viande	Energie(en kcal)	Lipides(en g)	Protéines(en g)
Perdrix	115	1,23	<u>24,72</u>
Poulet	<u>124</u>	<u>4</u>	22,2
Faisan	110	0,28	<u>25,61</u>
Lièvre	100	0,39	<u>22,54</u>
Lapin de chair	<u>143</u>	<u>6,25</u>	21
Biche	100	0,48	22,02
Bœuf	<u>148</u>	<u>12,6</u>	<u>29,4</u>
Sanglier	126	4,3	<u>20,62</u>
Porc	<u>285</u>	<u>24,3</u>	16,6

De plus, pour le gibier sauvage, contrairement aux animaux issus d'élevage, aucun antibiotique et antiparasitaire n'est utilisé.

- Inconvénients

En contradiction de ses points positifs, la consommation de cette viande présente aussi quelques aspects négatifs.

En effet, si la viande est exempte de trace d'antibiotique ou antiparasitaire, elle peut en revanche être contaminée par divers organismes qui se retrouvent dans la nature.

La contamination la plus connue et la plus surveillée concerne la viande de sanglier qui peut être contaminée par un microorganisme du genre *Trichinella* pouvant provoquer la Trichine chez son consommateur lorsque la viande est peu ou pas cuite. La cuisson permet cependant la destruction de ce micro-organisme (Anses 2012).

De plus, la viande de gibier est aussi soumise à des contaminants chimiques environnementaux intrinsèques au milieu de vie de l'animal. On retrouve parmi ces contaminants le plomb et le cadmium. Les concentrations de ces contaminants dans la viande peuvent varier d'une région à l'autre. De plus la viande peut aussi se retrouver contaminée par la munition utilisée lors du prélèvement.

Aussi, devant le peu de sources et de données sur ces contaminations, l'Anses (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail), animée par le principe de précaution, pose deux recommandations (Anses 2018) :

- limiter la consommation de gibier sauvage à une fréquence occasionnelle
- éviter la consommation de grand gibier sauvage aux femmes en âge de procréer et aux enfants compte tenu des effets nocifs du plomb sur le développement foeto-embryonnaire et lors de l'enfance

2. Etude de la présence de Grenaille dans le gibier

Si les sources sont rares, il y a tout de même des chercheurs Britanniques qui ont essayé de quantifier la quantité de plomb contenue dans le gibier prélevé avec de la grenaille (Green et al. 2022).

a) Matériel et méthode

Cette étude porte sur des faisans de Colchide «*Phasianus colchicus* » avec un échantillonnage de huit individus prélevés avec des cartouches à grenaille.

Ils ont été achetés frais, chez le boucher, après avoir été préparés pour la vente (c'est à dire plumé, éviscéré avec leur tête, pattes et ailes retirées).

Pour pouvoir mettre en évidence la présence de plomb dans les carcasses, un scanner haute résolution dont les réglages permettent de révéler tout morceau de plomb d'un diamètre supérieur ou égal à 0.1 mm a été utilisé. Le plomb étant radio-opaque, sa présence est révélée sur les clichés par des points lumineux.

Enfin, pour s'assurer de la présence de plomb dans la composition des corps étrangers métalliques, les pièces métalliques récupérées après digestion des carcasses des différents faisans dans un bain-marie contenant une lessive enzymatique pendant plusieurs jours, ont été testées afin de connaître leur composition.

b) Résultats

A partir de ce travail, l'imagerie a permis d'identifier 340 objets métalliques dans les huit carcasses, seulement 29 ont été récupérés à l'issue de la digestion de celles-ci. Ces 29 fragments étaient répartis dans 7 des 8 échantillons et étaient constitués principalement de plomb sous sa forme métallique (Green et al. 2022).

Si l'on tient compte des diamètres des grains de plomb présents dans la cartouche, on peut considérer que tout fragment supérieur à 2 mm de diamètre est un plomb de chasse (Tableau 1), les autres morceaux n'étant que des fragmentations de ceux-ci. Ainsi, dans cette étude

28 des 340 objets métalliques étaient des plombs de chasse. Les 92% restant étaient des fragments inférieurs à 1 mm et aucun objet ne présentait un diamètre entre 1 et 2 mm (Green et al. 2022).

La Figure 22 présente la répartition des fragments en fonction de leur diamètre. Cette répartition suit une courbe décroissante et montre que 86% des fragments ont un diamètre inférieur à 0,3 mm

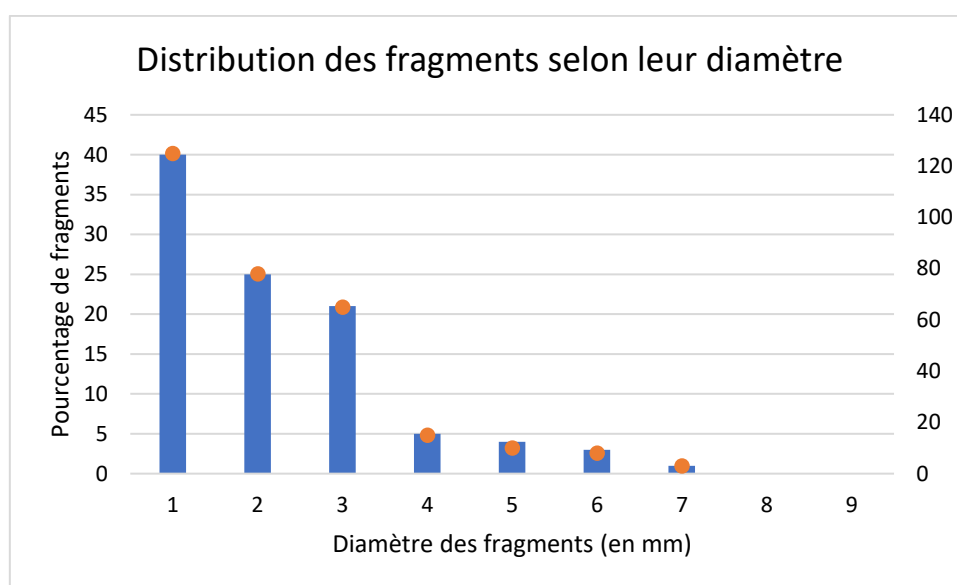


Figure 22 Distribution des fragments selon leur diamètre (Green et al. 2022)

Aussi, la répartition moyenne dans les carcasses serait de 3,5 plombs de chasse et 39 fragments plus petit.

c) Discussion

Cette étude donne à réfléchir, car si les plombs de chasse sont plus susceptibles d'être retirés des carcasses lors de la préparation du plat ou lors de sa consommation du fait de leur grand diamètre, les fragments quant à eux plus petits mais aussi plus nombreux constituent une source d'exposition du consommateur qui peut difficilement être limitée.

L'étude a essayé d'estimer la masse de plomb présente par faisan *via* les fragments inférieurs à 1 mm. Quelques approximations ont été utilisées pour cela car :

- les fragments ont été considérés cylindriques d'une part
- d'autre part, un seul de ces fragments a pu être retrouvé et analysé, et il a été supposé que tous les autres fragments étaient constitués de plomb
- enfin, il a été supposé que tous les fragments présents étaient ingérés par le consommateur.

Mais grâce au diamètre, il a été possible de retrouver le volume des fragments. Et à l'aide de ce volume en s'aidant de la densité du plomb, une masse a été calculée. Ainsi, à partir de cette estimation la masse moyenne de plomb par faisan calculée serait de 3,4 mg.

Le poids des échantillons n'était pas disponible dans cette étude. Cependant au vu des nouvelles réglementations européennes applicables depuis 31 Aout 2021 concernant la teneur maximale de plomb dans les différents produits agro-alimentaires, il n'est pas difficile d'affirmer que ces chiffres sont supérieurs à la teneur maximale autorisée dans la volaille qui est fixée à 0,1 mg/kg, faute de teneur dédiée au gibier (*JO L286/2021 2021*).

B. Les autres voies d'exposition au plomb *via* la grenaille

1. L'exposition au plomb par inhalation

Il a été vu précédemment que les principaux utilisateurs de la grenaille sont les Chasseurs, mais aussi les Tireurs Sportifs.

Si les premiers pratiquent pour la plupart leur activité au grand air, exception faite de rares cas où ils sont dans un environnement fermé (palombière, hutte), les seconds, quant à eux, pour limiter la gêne liée à l'environnement et aux conditions climatiques, sont plus à même de pratiquer leur activité dans des lieux clos ou pour le moins abrités du vent. Cela, ajouté aux débits de munitions utilisées sur une session par le tireur, mais aussi de celles tirées par les autres licenciés à proximité, les tireurs sportifs sont donc plus à même d'inhaler des vapeurs de plomb.

a) Les sources d'exposition

Ces expositions sont induites par la munition à grenaille de plomb, et plus précisément par, la charge de plomb d'une part, mais aussi par l'amorce qui libère du plomb lors de son ignition.

L'utilisation de substituts au plomb tel que l'acier reste donc partiellement inadaptée, puisque l'amorce est indispensable.

- [Le tir et l'après-tir](#)

Lors du tir, les résidus d'amorce, accompagnés de particules de plomb, sont éjectés à des pressions importantes du canon et se retrouvent dans l'air sous forme volatile. Ces particules peuvent alors être inhalées directement par le tireur ou tout autre personne à proximité ou se fixer sur les surfaces environnantes telles que les vêtements et la peau.

Il y aurait donc une exposition directe associée au tir accompagnée d'une seconde exposition indirecte qui serait retardée.

Une fois le tir effectué, une exposition retardée peut en effet subsister. Le tireur (et son équipement ayant été en contact avec les vapeurs du tir) peut à son tour émettre des poussières contenant du plomb dans son environnement et ainsi exposer son entourage.

- [La préparation du matériel](#)

Certaines personnes confectionnent elles-mêmes leurs munitions. Le risque est dans ce cas pour les amateurs (qui font cela à leur domicile, quand les conditions d'aération et ventilation ne sont pas idéales) de contaminer leur habitat *via* des poussières qui naviguent de pièce en pièce par mouvement d'air, mais aussi, par l'utilisation d'appareils électroménagers tels que les aspirateurs si ils sont utilisés pour nettoyer les différentes pièces de l'habitat.

b) Les populations exposées

- Exposition professionnelle

La population la plus à risque de cette exposition par inhalation est celle des professionnels du Tir et de l'Armement. Ils sont en effet fréquemment en contact avec les émissions de vapeurs de plomb, et ce, qu'ils travaillent en Armurerie, ou dans les différents Stands de Tir du territoire. Cette exposition est marquée par sa forte fréquence d'une part, et aussi par son amplitude horaire journalière importante.

Une étude des données du Réseau National de Vigilance et de Prévention des Pathologies Professionnelles (RNV3P) pratiquée par l'ANSES et portant sur les intoxications associées aux stands de tir nous fournit de précieuses données sur cette exposition (Bloch et al. 2020).

Cette étude fait part de toutes les pratiques du tir sportif et non pas exclusivement de celles utilisant de la grenaille de plomb. Elle reste néanmoins pertinente afin de documenter cette exposition puisque le rôle et la composition d'une amorce est sensiblement la même quelle que soit la discipline sportive pratiquée.

Il a été montré à travers ce travail que sur la période allant de janvier 2010 à décembre 2018, il y a eu 21 cas d'expositions professionnelles déclarées par 6 des 30 Centres de Consultations de Pathologies Professionnelles (CCPP). Ces expositions concernent majoritairement des hommes (19 pour 2 femmes) avec un âge médian d'une cinquantaine d'années. La plombémie était disponible pour 60% des cas et variait de 100 µg/l à 1000 µg/l avec une valeur médiane de 445 µg/l. Pour le parcours de soin, la moitié a été envoyée au CCPP par la médecine du travail, un tiers par le médecin généraliste. Parmi les symptômes évoqués, deux hommes se sont présentés pour une difficulté à concevoir (Bloch et al. 2020).

- Exposition due au loisir

Les tireurs sportifs et les chasseurs sont également susceptibles de s'intoxiquer lorsqu'ils pratiquent leur loisir. Pour cette population l'exposition varie d'un profil à l'autre selon le temps accordé à la pratique. Les durées et fréquences d'exposition sont plus faibles que celles des professionnels, mais la quantité de personnes exposées plus importante.

Dans l'étude de l'ANSES évoquée dans le paragraphe précédent, 37 cas d'exposition non professionnelles de personnes pratiquant le tir sportif sont reportées. La répartition des sexes est similaire à la population professionnelle avec 33 hommes sur 37 cas et l'âge médian, un peu abaissé, est à 45 ans. Dans cette population, la plombémie était disponible dans 31 cas avec des mesures allant de 100 µg/L à 750 µg/L, pour une médiane de 300 µg/L. Ces résultats bien qu'en deçà de ceux de la population professionnelle restent tout de même préoccupants. Enfin pour ces personnes, le parcours de soin n'est pas le même non plus avec 40% adressées par le médecin généraliste et 19% venant de leur propre chef (Bloch et al. 2020).

Des alertes sont régulièrement lancées et la fermeture de stands de tir entérinée lorsque plusieurs cas sont décelés. Ce fut le cas en 2019 dans la région Bourgogne-Franche-Comté avec 13 adultes du même club qui présentaient des plombémies élevées allant de 172 à 565 µg/l (Bloch et al. 2020).

Lors de ce genre d'incident, des mesures de particules de plomb dans l'atmosphère sont généralement pratiquées et peuvent se montrer assez importantes. En cas de défaut des systèmes d'évacuation, la pollution environnementale des stands peut atteindre 100.000 µg/m² sur les zones de tir et 10.000 µg/m² en zone de vie. Pour comparaison l'ANSES estime les variations des teneurs de poussières de plomb allant de 4 à 72 µg/m² à l'intérieur des logements et 0 à 562 µg/m² dans les parties communes d'habitations, la valeur 0 faisant référence aux habitations sans parties communes (Anses 2020).

- Exposition rapportée au domicile

La dernière population touchée est celle qui n'est pas en contact direct avec l'univers du tir, mais qui partage le même toit qu'un tireur ou qui fait partie de son entourage. Cette population possède un risque d'exposition moins élevée mais comprend des personnes qui peuvent être plus à risque tels que les enfants ou les femmes enceintes.

c) Les moyens de prévention

Par l'information et en aménageant du mieux possible les structures accueillant le tir, on peut significativement diminuer l'exposition de toutes les populations ciblées, professionnelles ou amateurs. On peut pour cela agir de différentes manières

- La ventilation

Un système de ventilation efficace peut permettre de maintenir un espace sécurisé, en limitant au maximum l'exposition aux différentes vapeurs et poussières. Pour ce faire, la ventilation doit proposer un flux d'air unidirectionnel partant du dos du tireur et allant vers les cibles. Les valeurs de ce flux, établies par l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) doivent être de 0,4 m/s lors des périodes de tir et peuvent être abaissées à 0,2 m/s hors période.

D'autre part, afin d'améliorer la qualité de l'air présent sur place, l'air entrant doit arriver suffisamment loin de l'air expulsé, même si celui-ci est filtré. Le volume entrant doit également être inférieur au volume sortant, pour provoquer une dépression et éviter toute fuite (Serieys et al. 2012).

Enfin, à défaut de ventilation dans les stands d'extérieur, il faudra travailler sur l'aération des surfaces afin d'éliminer les vapeurs.

- Aménagement des structures et des pratiques

Pour diminuer les risques d'expositions et de contaminations, les structures doivent contenir, séparément :

- deux vestiaires (l'un pour les vêtements de ville et l'autre pour les vêtements de travail),
- des sanitaires avec douches,
- des salles adaptées au repos et aux repas.

Aussi, la consommation d'aliments et de boissons est interdite sur le stand.

Dans l'ensemble de la structure, le flux d'air doit être optimisé par la diminution de l'encombrement.

- Entretien et contrôles

Les systèmes de ventilation doivent être contrôlés régulièrement et des mesures doivent être effectuées afin de quantifier l'exposition et prévenir tout défaut.

- L'information

Les différents acteurs doivent être informés des risques d'exposition au plomb et des bonnes pratiques à mettre en œuvre pour s'en prémunir. Aussi, c'est en leur recommandant de faire des dosages de plombémies régulièrement que des mesures pourront être prises. La prise en charge des personnes exposées sera accélérée, de même que l'administration de traitements adaptés.

2. L'exposition suite à un passage transcutané

Toute activité est potentiellement accidentogène, et le tir sportif ainsi que la chasse ne dérogent pas à cette règle. Ainsi, des accidents de tir ou de manipulations d'armes chargées peuvent aboutir à une mise à feu en direction d'un individu. D'autre part, il arrive aussi que ces munitions soient utilisées dans un cadre illégal pour blesser volontairement autrui.

Dans ces cas de figure, le plomb peut se retrouver piégé dans les tissus et va se libérer de façon prolongée. L'extraction chirurgicale de celui-ci n'est souvent pas possible, poussant le patient à vivre avec.

a) Populations ciblées

Cette exposition est assez rare. On dénombre, sur les chiffres de l'Office Français de la Biodiversité (OFB) sur l'année 2021-2022, 90 accidents de chasse, dont 34% qui ont eu lieu au cours de la chasse aux petits gibiers. Sachant que certains accidents ont impliqué des substituts au plomb et que d'autres ont eu lieu au grand gibier, on ne peut pas connaître le nombre exact d'expositions par voie transcutanée. Toutefois, en considérant que 52% des accidents ont été provoqués avec un fusil contre 48% avec une carabine, on peut approximer ce nombre entre 30 et 45 cas par an (OFB 2022).

Les chiffres de la Fédération Française de Ball Trap ne sont pas communiqués, mais semblent anecdotiques, de mêmes que ceux des tentatives d'homicides à la grenaille.

b) Prévention

Les accidents sont dus pour les deux tiers à des infractions aux consignes élémentaires de sécurité. Vient ensuite la maladresse du tireur (soudis de manipulation et chutes pour près d'un quart des accidents). Ainsi, la prévention dans ce genre d'exposition passe par la formation continue et un entraînement régulier des tireurs (OFB 2022).

c) Surveillance

Contrairement aux cas précédents, lors d'une contamination par voie transcutanée, le plomb est prisonnier des tissus et plus ou moins difficile à enlever. On ne peut donc pas toujours limiter l'exposition au plomb. Une surveillance de la plombémie doit alors être réalisée.

Dans un cas d'un accident survenu en Suède, un patient a été admis aux urgences avec une soixantaine de plomb dans le corps. Ce patient n'a pas subi de traitement par chélation et sa plombémie a été relevée régulièrement permettant d'établir la cinétique d'élimination naturelle du plomb. Dans ces conditions, la plombémie a subi d'abord une forte augmentation lors des trois premiers mois pour atteindre 620 µg/L au 81^{ème} jour, malgré le retrait d'une trentaine de plomb lors d'une opération chirurgicale au 54^{ème} jour. La plombémie a ensuite diminué progressivement pour atteindre 300 µg/L au bout d'une année (Gerhardsson et al. 2002).

Ainsi, au vu de cette cinétique, si l'on devait établir un protocole de surveillance, il conviendrait après chaque accident de consigner les plombémies régulièrement les premiers mois à raison d'une fois par mois, puis d'espacer les mesures afin d'avoir une plombémie annuelle.

En cas de symptômes évocateurs de saturnisme, des recherches pourraient être effectuées entre ces dates. De même, en fonction de l'évolution de la plombémie, le patient pourrait se voir prescrire un traitement par chélation afin d'éliminer le plomb sanguin circulant.

Conclusion

Les munitions à grenaille de plomb sont encore aujourd'hui largement répandues dans notre pays que ce soit pour la chasse ou le tir sportif, et ce, malgré les nouvelles restrictions d'usage auxquelles elles font face.

L'intoxication au plomb induite par ces munitions reste faible, mais cette source d'exposition concerne plusieurs millions de personnes sur le territoire dont des personnes à risques, tels que des enfants ou des femmes enceintes.

Une intoxication au plomb, même à faible dose, peut entraîner d'importantes conséquences sur la santé. Il existe toutefois des moyens de se prémunir de cette exposition.

En attendant l'éviction totale de ce type de munitions au profit de substituts au plomb (que peuvent être l'acier ou le tungstène) et la recherche de nouvelles amorces moins nocives pour l'homme, l'éducation des personnes susceptibles de les utiliser passe par la prise de conscience du risque et par l'apprentissage de règles hygiéno-diététiques pour tendre vers le zéro exposition. Ces règles pourraient concerner aussi bien la manipulation des armes et des munitions, que les manières de valoriser le produit de la chasse prélevé à la grenaille de plomb.

Aussi, un suivi biologique des personnes à risque pourrait être mis en place avec des dosages de plombémie en Ville, afin de prendre en charge plus rapidement le patient.

Bibliographie

- Agriculture.gouv. 2021. Rapport de mission d'expertise et de conseil n°21032 Octobre 2021. Consulté le 4 juillet 2023.
<https://agriculture.gouv.fr/valorisation-de-la-venaison-0>.
- Albedourk. 2023. Lead Symbol. Wikimedia commons. Licence C.C BY-SA. Consulté le 4 juillet 2023.
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bc/Lead.svg>.
- Anses. 2012. « La trichinellose », 27 décembre 2012. Consulté le 4 juillet 2023.
<https://www.anses.fr/fr/content/la-trichinellose>.
- Anses. 2018. « Avis relatif au « risque sanitaire lié à la consommation de gibier au regard des contaminants chimiques environnementaux (dioxines, polychlorobiphényles (PCB), cadmium et plomb) » ». Consulté le 4 juillet 2023.
<https://www.anses.fr/fr/system/files/ERCA2015SA0109.pdf>.
- Anses. 2020. « Avis relatif à “la contamination d’espaces publics extérieurs par le plomb” ». Consulté le 4 juillet 2023.
<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2019SA0147.pdf>.
- Arrêté du 9 mai 2005. Consulté le 4 juillet 2023.
<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000808629>.
- Bismuth, C. 2000. Toxicologie clinique. 5e éd. Paris: Médecine-Sciences Flammarion.
- Bloch, J, H Laborde-Casterot, N Paret, et E Puskarczyk. 2020. « Intoxication par le plomb dans les stands de tir : un risque connu mais qui persiste ». Vigil'Anses n°12, 2020. Consulté le 4 juillet 2023.
<https://www.normandie.ars.sante.fr/media/66174/download?inline>.
- Cazes-Valette, G. 2007. « Le rapport à la viande chez le mangeur français contemporain. Rapport de Synthèse ».
- Chase, K.W. 2003. Firearms: a global history to 1700. Cambridge, UK ; New York, NY: Cambridge University Press.
- Cohen-Potin, A., et A. Le Gall. 1991. La Chasse. Le grand livre vert du chasseur. Hatier.
- Danel, V. 2017. « Plomb: Biomarqueurs d'exposition ». Consulté le 4 juillet 2023.
<https://www.sfm.u.org/toxin/PROTOCOL/PB/PB2.HTM>.

- Duan, Y., H. Shi, et Y. Jiang. 2021. « The Blood Lead Levels of Children and the Loss of Ca²⁺ from Neurons Owing to Lead ». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (22): 12051.
<https://doi.org/10.3390/ijerph182212051>.
- Ducluzeau, P.H. 2004. « Chasse et Nutrition ». Consulté le 4 juillet 2023.
<https://www.chasseurdefrance.com/wp-content/uploads/2020/03/Etude-de-Ducluzeau.pdf>.
- Eisinger, J. 1982. « Lead and Wine. Eberhard Gockel and the Colica Pictonum ». *Medical History* 26 (3): 279-302.
<https://doi.org/10.1017/S0025727300041508>.
- Fae. 2023. Lead Roman Pipe. Wikimedia commons. Licence C.C BY-SA. Consulté le 4 juillet 2023.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/56/Lead_water_pipe%2C_Roman%2C_1-300_CE_Wellcome_L0058469.jpg/800px-Lead_water_pipe%2C_Roman%2C_1-300_CE_Wellcome_L0058469.jpg?20141017135913.
- Fédération Nationale des Chasseurs. s. d. « Les munitions sans plomb ». Consulté le 4 juillet 2023.
https://www.fdc54.com/wp-content/uploads/2018/07/munitions_sans_plomb.pdf.
- FFBT. « Présentation Générale ». Consulté le 4 juillet 2023
<https://ffbt.asso.fr/pages/la-federation/organisation-du-ball-trap/presentation-generale/#:~:text=TRADITION%20ET%20HISTORIQUE,la%20F%C3%A9d%C3%A9ratio n%20Fran%C3%A7aise%20de%20Tir>.
- FFTIR. « Plateau ». Consulté le 4 juillet 2023.
<https://www.fftir.org/disciplines/plateau/>.
- FNC/BIPE. 2016. « Impact économique de la Chasse ». Consulté le 4 juillet 2023.
<https://chasse.bipe.fr/#/Sommaire>.
- François de Dijon. 2018. Tour à Plomb Coueron. Wikimedia commons. Licence C.C BY-SA. Consulté le 4 juillet 2023.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/02/Cou%C3%ABron_Tour_%C3%A0_plomb_2018_-_02.jpg/800px-Cou%C3%ABron_Tour_%C3%A0_plomb_2018_-_02.jpg?20180925171835.
- Gambelunghe, A., G. Sallsten, Y. Borné, N. Forsgard, B. Hedblad, P. Nilsson, B. Fagerberg, G. Engström, et L. Barregard. 2016. « Low-Level Exposure to Lead, Blood Pressure, and Hypertension in a Population-Based Cohort ». *Environmental Research* 149 (août): 157-63.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.05.015>.

- Garnier, R. 2005. « Toxicité du plomb et de ses dérivés ». EMC - Toxicologie-Pathologie 2 (2): 67-88.
<https://doi.org/10.1016/j.emctp.2004.10.004>.
- Gerhardsson, L., L. Dahlin, R. Knebel, et A. Schütz. 2002. « Blood Lead Concentration after a Shotgun Accident. » Environmental Health Perspectives 110 (1): 115-17.
<https://doi.org/10.1289/ehp.02110115>.
- Grange, F. 1987. « Fer contre Plomb ». Le Chasseur Français, 1987.
 Grange, F. 2007. « Au début était le bâton à feu ». Le Chasseur Français, 2007.
- Green, R., M. Taggart, D. Pain, et K. Smithson. 2022. « Implications for Food Safety of the Size and Location of Fragments of Lead Shotgun Pellets Embedded in Hunted Carcasses of Small Game Animals Intended for Human Consumption ». Édité par J. Loo. PLOS ONE 17 (8): 1-13.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268089>.
- Hmaag. 2023. Amorce Boxer. Wikimedia commons. Licence C.C BY-SA. Consulté le 4 juillet 2023.
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/67/Boxerz%C3%BCnder.jpg>.
- Hugo, V. 1877. The History of a Crime. Vol. 2. Thomas Y. Crowell & Co.
- INRS. 2023a. « Agents Chimiques CMR ». Consulté le 4 juillet 2023.
<https://www.inrs.fr/risques/cmr-agents-chimiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>.
- INRS. 2023b. « Plomb et composés minéraux ». Fiche toxicologique, n° 59 (avril). Consulté le 4 juillet 2023.
https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox/dosage.html?refINRS=Dosage_52.
- Jarlier, P., et J.J. Buigné. 2001. Le Qui est qui de l'arme en France de 1350 à 1970: répertoire des arquebusiers, armuriers, inventeurs, fourbisseurs, couteliers. La Tour-du-Pin: Éd. du Portail.
- JO L286/2021. 2021.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=OJ%3AL%3A2021%3A286%3AFULL>.
- Le Chasseur Français. 1990. « Du Plombs en Barre », 1990.
- Le Chasseur Français. 1995. « Sertissage: étoiles ou demi-rond », 1995.
- Le Floc'h, Y., M. Durchon, et Y. Ferrand. 2004. Nouvelle Encyclopédie Pratique de la Chasse. Hachette.

- Marcric. 2021. Paper cartridges from Revolutionnary War, 1775-1783. Wikimedia commons. Licence C.C BY-SA. Consulté le 4 juillet 2023.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/54/Paper_cartridges_from_Revolutionary_War%2C_1775-1783.jpg/717px-Paper_cartridges_from_Revolutionary_War%2C_1775-1783.jpg?20210213180055.
- Mauskopf, S.H. 1999. « The 1998 Dexter Award Adress" from an intrument of war to an intrument of the laboratory: The affinities certainly do not change " chemists and the development of. » In Bull.Hist. Chem, 1. Duke University.
- Medard, L. 1994. « L'œuvre scientifique de Paul Vieille (1854-1934)/The scientific work of Paul Vieille (1854-1934) ». Revue d'histoire des sciences 47 (3): 381-404.
<https://doi.org/10.3406/rhs.1994.1211>.
- Needleman, H. 2004. « Lead Poisoning ». Annual Review of Medicine 55 (1): 209-22.
<https://doi.org/10.1146/annurev.med.55.091902.103653>.
- OFB. 2022. « Bilan des Accidents et incidents de chasse. Saison 2021-2022 ». Consulté le 4 juillet 2023.
<https://www.ofb.gouv.fr/sites/default/files/Fichiers/Doc%20strat%C3%A9giques/bilan-accidents-incidents-chasse-2021-2022.pdf>.
- Perrin, J. 1974. « Le plomb de chasse ». Matériaux & Techniques 62 (11): 518-520.
<https://doi.org/10.1051/mattech/197462110518>.
- « Pesage de poudre ». s. d. Rechargement de munitions métalliques (blog). Consulté le 4 juillet 2023.
<https://rechargement.wordpress.com/recharger-comment-pourquoi/introduction-au-rechargement/etapes-de-rechargement/etape-10-pesage-de-poudre/>.
- Règlement UE n°2021/57. 2021.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021R0057&from=EN>.
- Retief, F.P., et L. Cilliers. 2010. « Lead poisoning in ancient Rome ». Acta Theologica 26 (2): 147-164.
<https://doi.org/10.4314/actat.v26i2.52570>.
- Santé.gouv. 2015a. « Effets du plomb sur la santé », 1 avril 2015.
- Santé.gouv. 2015b. « Saturnisme », 17 juin 2015. Consulté le 4 juillet 2023.
<https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/saturnisme>.
- Say, J.B. 1841. Traité d'économie Politique. Vol. 3(7). O. Zeller.

- Schulp, C.J.E., W. Thuiller, et P.H. Verburg. 2014. « Wild Food in Europe: A Synthesis of Knowledge and Data of Terrestrial Wild Food as an Ecosystem Service ». *Ecological Economics* 105 (septembre): 292-305.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.06.018>.
- Serieys, J.C, F Diebold, et J.R Fontaine. 2012. « Mesures de prévention de l'exposition au plomb des salariés des stands de tir ». *Hygiène et Travail*, n° 229 (décembre). Consulté le 4 juillet 2023.
<https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ND%202369>.
- Sir Baker, G. 1768. « An essay concerning the cause of the endemial colic of Devonshire »,. *Med.Trans. Coll. Phys. London*.
- Thester11. 2023. White lead. Wikimedia commons. Licence C.C BY-SA. Consulté le 4 juillet 2023.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9b/Lead_Paint2.JPG/800px-Lead_Paint2.JPG?20100917175221.
- Tortel, J.P.P. 1841. *Le Spectateur Militaire, De l'origine de la poudre à canon et de son premier emploi dans les armes à feu*.
- Van Mastrigt, G. 2016. *La production des modèles d'Eugène Lefaucheux*. Chaumont: Crépin-Leblond éditions.
- Venner, D. 1979. *Les armes à feu françaises. De la Pensée Moderne et Jacques Grancher. Le livre des Armes 7*. Paris.
- Ville de Coueron. « La tour à Plomb ». Consulté le 4 juillet 2023.
<https://www.ville-coueron.fr/culture/decouvrir-le-patrimoine/la-tour-a-plomb/>.
- Waldron, H. 1973. « Hippocrates and lead ». *The Lancet* 302 (7829): 626.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(73\)92467-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(73)92467-7).
- Waldron, H. A. 1966. « The Anaemia of Lead Poisoning: A Review ». *Occupational and Environmental Medicine* 23 (2): 83-100.
<https://doi.org/10.1136/oem.23.2.83>.
- Walusinski, O. 2022. « Louis Tanquerel Des Planches (1810-1862) and the History of Discovering Lead Poisoning in the Nervous System ». *Revue Neurologique* 178 (6): 521-531.
<https://doi.org/10.1016/j.neurol.2021.08.009>.
- Wani, A.L., A. Ara, et J.A. Usmani. 2015. « Lead Toxicity: A Review ». *Interdisciplinary Toxicology* 8 (2): 55-64.
<https://doi.org/10.1515/intox-2015-0009>.

Annexes

Annexe1 : Mesure de la plombémie de l'auteur

Monsieur BELLOT LOUIS

Résultat d'analyse : **Monsieur BELLOT, LOUIS** né BELLOT,

cofrac ACCREDITATION
N° 8-1100
Liste des sites accrédités
et portée disponibles sur
www.cofrac.fr

Seuls les résultats identifiés par le symbole # sont couverts par l'accréditation.

PHARMACOLOGIE – TOXICOLOGIE
Toxicologie

■ **Plomb sanguin (ICP/MS) #**

Résultat	41 µg/L 0,20 µmol/L
Incertitude de mesure	8 µg/L
Conclusion	Concentration dans les valeurs de référence de la population générale.

Page 1/2

Annexe 2 : Valeurs de références dans la population générale

Monsieur BELLOT LOUIS
né BELLOT.

Suite des résultats
Exemplaire destiné au patient

PHARMACOLOGIE – TOXICOLOGIE (suite)

■ Plomb sanguin (ICP/MS) # (suite)

- Valeurs de référence dans la population générale:

- Homme : < 85 µg/L
 < 0,40 µmol/L
- Femme : < 60 µg/L
 < 0,28 µmol/L

Référence INRS : fiche toxicologique plomb - mise à jour septembre 2010 -

- Travailleurs exposés:

Une surveillance médicale particulière doit être engagée si la plombémie est

- Homme : > 200 µg/L
 > 0,97 µmol/L
- Femme : > 100 µg/L
 > 0,48 µmol/L

- Valeur limite biologique à ne pas dépasser :

- Homme : 400 µg/L
 1,93 µmol/L
- Femme : 300 µg/L
 1,45 µmol/L

(selon Décret N° 2003-1254 du 23 décembre 2003: Art.R231-58-6)

Réalisé par Biomnis LYON – Validé par : Dr Gilles PANTEIX

Page 2/2

Résumé

Les munitions à grenaille contenant du plomb sont les munitions les plus utilisées que ce soit pour le Tir Sportif ou la Chasse. L'utilisation d'un métal ductile tel que le plomb permet une meilleure transmission des forces de poussée et ainsi des meilleures performances que leurs homologues à base d'acier.

Toutefois, la prise de conscience croissante sur la toxicité du plomb que ce soit sur les organismes vivants ou l'environnement tend à les faire disparaître avec les nouvelles législations.

La toxicité du plomb est attestée depuis l'ère Romaine, et n'a cessé d'être documentée dans la littérature. Toutefois ce n'est qu'au XXème siècle que des lois limitant l'exposition des hommes à ce toxique sont apparues.

L'utilisation des munitions à grenaille, ainsi que la consommation de venaisons prélevées avec ces munitions est encore aujourd'hui une source d'exposition de faible intensité mais elle concerne un grand nombre de personnes.

Mot-clés

Plomb, intoxication, exposition, grenaille, munition



Faculté de Médecine et Pharmacie

SERMENT DE GALIEN

En présence des Maîtres de la Faculté, je fais le serment:

D'honorer ceux qui m'ont instruit(e) dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle aux principes qui m'ont été enseignés et d'actualiser mes connaissances,

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de Déontologie, de l'honneur, de la probité et du désintéressement,

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers la personne humaine et sa dignité,

De ne dévoiler à personne les secrets qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma profession,

De faire preuve de loyauté et de solidarité envers mes collègues pharmaciens,

De coopérer avec les autres professionnels de santé.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

Que les Hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert(e) d'opprobre et méprisé(e) de mes confrères si j'y manque.

Signature de l'étudiant

du Président du jury

Nom :

Nom :

Prénom :

Prénom :