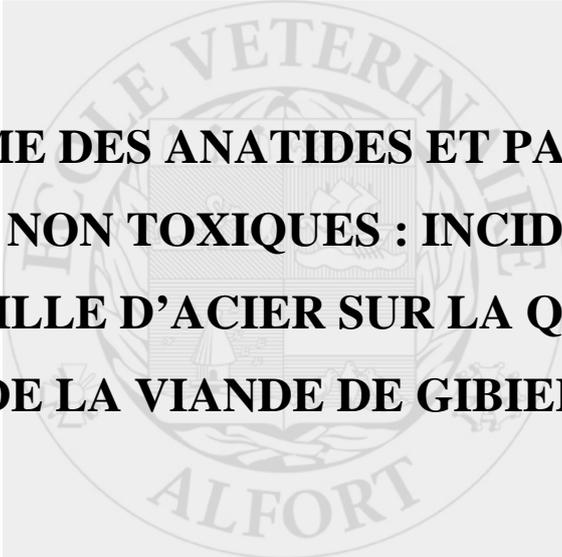


Année 2006



**SATURNISME DES ANATIDES ET PASSAGE AUX
MUNITIONS NON TOXIQUES : INCIDENCE DE LA
GRENAILLE D'ACIER SUR LA QUALITE
DE LA VIANDE DE GIBIER**

THESE

Pour le

DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

Présentée et soutenue publiquement devant

LA FACULTE DE MEDECINE DE CRETEIL

le.....

par

Alice de BESOMBES

Né (e) le 29 août 1981 à Pontoise (Val d'Oise)

JURY

Président : M.

Professeur à la Faculté de Médecine de CRETEIL

Membres

Directeur : Monsieur Vincent CARLIER

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort

Assesseur : Madame Brigitte ENRIQUEZ

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort

Invitée

Madame Charlotte DUNOYER, Docteur Vétérinaire, Fédération Nationale des Chasseurs

LISTE DES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT

Directeur : M. le Professeur COTARD Jean-Pierre

Directeurs honoraires : MM. les Professeurs MORAILLON Robert, PARODI André-Laurent, PILET Charles

Professeurs honoraires: MM. BORDET Roger, BUSSIERAS Jean, LE BARS Henri, MILHAUD Guy, ROZIER Jacques

DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET PHARMACEUTIQUES (DSBP)

Chef du département : M. BOULOUIS Henri-Jean, Professeur - Adjoint : M. DEGUEURCE Christophe, Professeur

<p>-UNITE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES Mme CREVIER-DENOIX Nathalie, Professeur M. DEGUEURCE Christophe, Professeur* Mlle ROBERT Céline, Maître de conférences M. CHATEAU Henri, Maître de conférences</p> <p>-UNITE DE PATHOLOGIE GENERALE , MICROBIOLOGIE, IMMUNOLOGIE Mme QUINTIN-COLONNA Françoise, Professeur* M. BOULOUIS Henri-Jean, Professeur</p> <p>-UNITE DE PHYSIOLOGIE ET THERAPEUTIQUE M. BRUGERE Henri, Professeur Mme COMBRISSEON Hélène, Professeur* M. TIRET Laurent, Maître de conférences</p> <p>-UNITE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE Mme ENRIQUEZ Brigitte, Professeur * M. TISSIER Renaud, Maître de conférences M. PERROT Sébastien, Maître de conférences</p> <p>-DISCIPLINE : BIOCHIMIE M. MICHAUX Jean-Michel, Maître de conférences</p>	<p>- UNITE D'HISTOLOGIE , ANATOMIE PATHOLOGIQUE M. CRESPEAU François, Professeur M. FONTAINE Jean-Jacques, Professeur * Mme BERNEX Florence, Maître de conférences Mme CORDONNIER-LEFORT Nathalie, Maître de conférences</p> <p>- UNITE DE VIROLOGIE M. ELOIT Marc, Professeur * Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences</p> <p>-DISCIPLINE : PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MEDICALES M. MOUTHON Gilbert, Professeur</p> <p>-DISCIPLINE : GENETIQUE MEDICALE ET CLINIQUE Melle ABITBOL Marie, Maître de conférences</p> <p>-DISCIPLINE : ETHOLOGIE M. DEPUTTE Bertrand, Professeur</p> <p>-DISCIPLINE : ANGLAIS Mme CONAN Muriel, Ingénieur Professeur agrégé certifié</p>
--	---

DEPARTEMENT D'ELEVAGE ET DE PATHOLOGIE DES EQUIDES ET DES CARNIVORES (DEPEC)

Chef du département : M. FAYOLLE Pascal, Professeur - Adjoint : M. POUCHELON Jean-Louis , Professeur

<p>- UNITE DE MEDECINE M. POUCHELON Jean-Louis, Professeur* Mme CHETBOUL Valérie, Professeur M. BLOT Stéphane, Maître de conférences M. ROSENBERG Charles, Maître de conférences Mme MAUREY Christelle, Maître de conférences contractuel</p> <p>- UNITE DE CLINIQUE EQUINE M. DENOIX Jean-Marie, Professeur M. AUDIGIE Fabrice, Maître de conférences* Mme GIRAUDET Aude, Professeur contractuel Mme MESPOULHES-RIVIERE Céline, Maître de conférences contractuel Melle VIREVIALLE Hameline, Maître de conférences contractuel</p> <p>-UNITE DE REPRODUCTION ANIMALE Mme CHASTANT-MAILLARD Sylvie, Maître de conférences* (rattachée au DPASP) M. NUDELMANN Nicolas, Maître de conférences M. FONTBONNE Alain, Maître de conférences M. REMY Dominique, Maître de conférences (rattaché au DPASP) M. DESBOIS Christophe, Maître de conférences Melle CONSTANT Fabienne, AERC (rattachée au DPASP) Melle LEDOUX Dorothée, Maître de conférences Contractuel (rattachée au DPASP)</p>	<p>- UNITE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE M. FAYOLLE Pascal, Professeur * M. MAILHAC Jean-Marie, Maître de conférences M. MOISSONNIER Pierre, Professeur Mme VIATEAU-DUVAL Véronique, Maître de conférences Mlle RAVARY Bérangère, Maître de conférences (rattachée au DPASP) M. ZILBERSTEIN Luca, Maître de conférences contractuel M. HIDALGO Antoine, Maître de conférences contractuel</p> <p>- UNITE DE RADIOLOGIE Mme BEGON Dominique, Professeur* Mme STAMBOULI Fouzia, Maître de conférences contractuel</p> <p>-UNITE D'OPHTALMOLOGIE M. CLERC Bernard, Professeur* Melle CHAHORY Sabine, Maître de conférences contractuel</p> <p>- UNITE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES M. CHERMETTE René, Professeur M. POLACK Bruno, Maître de conférences* M. GUILLOT Jacques, Professeur Mme MARIIGNAC Geneviève, Maître de conférences contractuel</p> <p>-UNITE DE NUTRITION-ALIMENTATION M. PARAGON Bernard, Professeur * M. GRANDJEAN Dominique, Professeur Mme BLANCHARD Géraldine, Professeur contractuel</p>
---	--

DEPARTEMENT DES PRODUCTIONS ANIMALES ET DE LA SANTE PUBLIQUE (DPASP)

Chef du département : M. MAILLARD Renaud, Professeur - Adjoint : Mme DUFOUR Barbara, Maître de conférences

<p>-UNITE DES MALADIES CONTAGIEUSES M. BENET Jean-Jacques, Professeur* M. TOMA Bernard, Professeur Mme HADDAD/ H0ANG-XUAN Nadia, Maître de conférences Mme DUFOUR Barbara, Maître de conférences</p> <p>-UNITE D'HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE M. BOLNOT François, Maître de conférences * M. CARLIER Vincent, Professeur M. CERF Olivier, Professeur Mme COLMIN Catherine, Maître de conférences M. AUGUSTIN Jean-Christophe, Maître de conférences</p> <p>- DISCIPLINE : BIOSTATISTIQUES M. SANAA Moez, Maître de conférences</p>	<p>- UNITE DE ZOOTECNIE, ECONOMIE RURALE M. COURREAU Jean-François, Professeur M. BOSSE Philippe, Professeur Mme GRIMARD-BALLIF Bénédicte, Professeur Mme LEROY Isabelle, Maître de conférences M. ARNE Pascal, Maître de conférences M. PONTER Andrew, Maître de conférences*</p> <p>- UNITE DE PATHOLOGIE MEDICALE DU BETAIL ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR M. MILLEMANN Yves, Maître de conférences* Mme BRUGERE-PICOUX Jeanne, Professeur M. MAILLARD Renaud, Maître de conférences M. ADJOU Karim, Maître de conférences</p>
--	---

Mme CALAGUE, Professeur d'Education Physique

* Responsable de l'Unité

AERC : Assistant d'Enseignement et de Recherche Contractuel

Remerciements

A Monsieur le Professeur de la Faculté de Médecine de Créteil,
Qui nous fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse,
Hommage respectueux.

A Monsieur Vincent CARLIER, Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort,
Qui a accepté de diriger notre thèse et nous a guidé tout au long de cet exercice,
Qu'il trouve ici le témoignage de notre sincère reconnaissance.

A Madame Brigitte ENRIQUEZ, Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort,
Qui a eu la gentillesse de porter un regard avisé sur notre travail,
Sincères remerciements

A Madame Charlotte DUNOYER, Docteur Vétérinaire à la Fédération Nationale des
Chasseurs,
Qui nous a proposé ce sujet et nous a soutenu depuis l'élaboration du projet jusqu'à sa
finalisation,
Qu'elle reçoive ici, pour sa disponibilité et sa gentillesse, nos plus chaleureux remerciements.

Je tiens à présenter mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont permis l'élaboration de cette thèse, depuis les expérimentations jusqu'à la rédaction :

Dominique Soyer, du centre éco-toxicologique de l'ONCFS, pour avoir permis la réalisation de l'expérimentation sur le site d'Auffargis.

Françoise Siret, du CTSCCV, pour son enthousiasme lors de l'organisation des dégustations de canards.

La société TUNET, pour nous avoir fourni gracieusement les munitions pour les différentes expérimentations.

Les Etablissements Guellier & Fils pour nous avoir plumé les canards.

Le service de Radiologie de l'ENVA ainsi que les internes présents lors de la séance de radiographie des canards.

Jean-Roch Gaillet, pour avoir toujours su nous orienter vers les bonnes personnes, pour sa gentillesse et sa rapidité de réponse.

Jean-Yves Mondain-Monval, pour nous avoir fourni une grande partie de notre bibliographie et nous avoir fait découvrir la Camargue.

Régis Hargues, pour nous avoir épaulée tout au long de ce périple.

Jean-François Mahé, qui nous a beaucoup soutenue et donné l'envie de bien faire. Cela va au-delà de cette thèse !

Les dégustateurs, famille, amis, ou anonymes, qui ont permis la concrétisation de ce projet : le calme de la dernière séance ne fut pas exemplaire !

A Maman et Papa : L'amour et la confiance dont vous m'avez toujours entourée m'ont permis de réussir.

A Blandine : pour tout ce qui nous lie si fort, et parce que c'est formidable de t'avoir pour grande sœur.

A mon Parrain : en travaillant cette thèse, je me suis plongée dans cet univers de la chasse qui t'est si cher.

A mes Colocs, Cécile, Hameline, Xavier et Charly : merci pour ces années formidables et ces fous rires. Vous êtes devenus mes amis les plus chers.

A Quentin, Clotilde, Lucile, Amélie, Alexandra, Morgane, Laurianne, Marion, Antoine, Marie: il est des rencontres qui changent la vie. Merci pour votre amitié, la mienne vous est acquise.

A mes Anciens, qui m'ont accueillie en Terre d'Alforie : pour cette semaine inoubliable qui a tout changé...

A mes Poulots, Aurélie et Thomas, à mes Poulots de cœur et à tous les Sulcus : vous accueillir a été un vrai bonheur. Et surtout : « en canard, S... !!! »

A mon équipe de rugby : « Pouss'touff' un jour, Pouss'touff' toujours ! »

Et à toutes ces personnes qui ont ensoleillé ma vie Alforienne : Yvonne, Rodolphe, Angélique, PO et Chritou, la TS et tous les autres, si nombreux, et si chaleureux...

Un grand merci à tous...

SATURNISME DES ANATIDES ET PASSAGE AUX MUNITIONS NON TOXIQUES : INCIDENCE DE LA GRENAILLE D'ACIER SUR LA QUALITE DE LA VIANDE DE GIBIER

de BESOMBES Alice

Résumé :

Le saturnisme lié à l'ingestion d'un ou plusieurs grains de plomb issus de cartouches de chasse est à l'origine d'une perte considérable d'oiseaux d'eau chaque année, ce qui a conduit la France à interdire les munitions au plomb pour la chasse en zones humides.

Cette thèse expose les connaissances actuelles sur le saturnisme des oiseaux d'eau et présente les différentes munitions alternatives actuellement disponibles sur le marché français, ainsi que la législation relative à l'interdiction des munitions au plomb.

Puis, l'auteur a déterminé, à travers deux travaux expérimentaux, les modifications gustatives et visuelles de viande de canard tué par des munitions en acier :

⇒ une évaluation hédonique, par 102 consommateurs, de filets de canards colverts tués avec des munitions en acier, des munitions en plomb, et des filets témoins, ayant subi une période de congélation, a montré l'absence de préférence significative des consommateurs pour un type de filet.

⇒ des grains d'acier incrustés dans des filets de canards, congelés pendant 25 semaines, sont observés à la loupe binoculaire : ils ne montrent aucun signe de corrosion et la viande ne présente aucune dégradation au contact de ces grains.

L'auteur conclut à l'absence d'altération des carcasses de gibier lors de l'utilisation de grenaille d'acier.

Mots clés : Saturnisme, chasse, plomb, munition de substitution, acier, fer doux, gibier d'eau, Anatidés, viande, hédonisme.

Jury :

Président : Pr.

Directeur : Pr. Vincent CARLIER

Assesseur : Pr. Brigitte ENRIQUEZ

Invitée : Dr. Charlotte DUNOYER

Adresse de l'auteur :

Mlle Alice de BESOMBES

Ferme de Cravançon

02200 CHAUDUN

WATERFOWL LEAD POISONING AND NON TOXIC SHOT: IMPACT OF STEEL SHOT ON GAME MEAT

de BESOMBES Alice

Summary

Every year, a large amount of waterfowl died of lead poisoning, due to the ingestion of one or several lead bullets, shot by hunters. That is the reason why the French Authorities have decided to forbid hunters to use lead shot in wetlands.

This dissertation deals with the current findings related to lead poisoning. Besides, it describes the various non toxic shot that are available in France.

The author aims at showing whether steel shot can alter the taste of game meat.

A survey was conducted among 102 eaters after they had eaten mallards shot with lead shot and steel shot: it turned out that the consumers showed no significant preference.

Besides, steel shot were embedded in duck fillets which were subsequently frozen for 25 weeks. After being examined under binocular magnifying glass, it turned out that no trace of rust could be noticed. Moreover, the meat remained unspoiled.

Therefore, we conclude that the use of steel shot does not alter game meat.

Keywords: lead poisoning, game, lead, non toxic shot, steel, iron, waterfowl, Anatidae, meat, hedonism.

Jury :

President: Pr.

Director: Pr. Vincent CARLIER

Assessor: Pr. Brigitte ENRIQUEZ

Guest: Dr. Charlotte DUNOYER

Author's address:

Alice de BESOMBES

Ferme de Cravançon

02200 CHAUDUN

SOMMAIRE

INDEX DES TABLEAUX.....	4
INDEX DES FIGURES	5
INTRODUCTION.....	6
I. PREMIERE PARTIE : LE SATURNISME DES OISEAUX ET PLUS PARTICULIEREMENT DES ANATIDES	7
1. ORIGINE DE L'INTOXICATION SATURNINE ET REPARTITION GEOGRAPHIQUE.....	7
2. QUANTITE ET DEVENIR DES PLOMBS DE CHASSE DEPOSES DANS L'ENVIRONNEMENT	8
a. <i>Quantification du plomb déposé dans l'environnement par l'action de chasse.....</i>	8
b. <i>Facteurs de dégradation du plomb</i>	9
3. EXPOSITION AU PLOMB.....	9
a. <i>Taux d'ingestion.....</i>	10
b. <i>Facteurs influençant le taux d'ingestion.....</i>	11
i. Pression de chasse sur les zones considérées	11
ii. Nature du sol.....	11
iii. Comportement alimentaire des oiseaux	12
4. AUTRES OISEAUX TOUCHES PAR L'INTOXICATION AU PLOMB	13
a. <i>Intoxication primaire</i>	13
b. <i>Intoxication secondaire.....</i>	14
5. FACTEURS LIMITANTS OU FAVORISANT LA BIODISPONIBILITE DU PLOMB CHEZ LES OISEAUX	14
a. <i>Facteurs exogènes d'absorption et de toxicité du plomb.....</i>	14
i. Alimentation	14
ii. Sol et grit.....	15
b. <i>Facteurs endogènes d'absorption et de toxicité du plomb.....</i>	16
i. Taille de l'individu.....	16
ii. Etat physiologique	16
6. PHARMACOCINETIQUE DE L'INTOXICATION SATURNINE	16
a. <i>Distribution du plomb dans l'organisme</i>	16
b. <i>Elimination.....</i>	16
c. <i>Doses létales</i>	17
7. PATHOGENIE.....	17
a. <i>Toxicité cellulaire</i>	17
i. Action sur les cellules sanguines et les cellules nerveuses.....	17
ii. Interaction avec le calcium.....	19
iii. Action sur les acides nucléiques	19
iv. Inhibition de la pompe Na ⁺ /K ⁺ ATPase membranaire	19
b. <i>Toxicité tissulaire et lésions microscopiques.....</i>	19
i. Action locale des billes de plomb	19
ii. Action sur les lignées sanguines	20
iii. Action sur le système cardio-vasculaire et musculaire.....	20
iv. Action sur le système digestif.....	20
v. Action sur le système nerveux	20
vi. Action sur le métabolisme osseux.....	21
vii. Lésions rénales et hépatiques	21
viii. Action sur le système reproducteur et sur la croissance.....	21
8. SIGNES CLINIQUES ET TABLEAU NECROPSIQUE	21
a. <i>Signes cliniques.....</i>	21
i. Intoxication aiguë	21
ii. Intoxication chronique	21
b. <i>Lésions macroscopiques</i>	22
9. DIAGNOSTIC DU SATURNISME.....	23
a. <i>Sur animal vivant.....</i>	23
i. Examen radiographique	23
ii. Hématocrite et hémoglobulinémie	24
iii. Protoporphyrinémie	24
iv. Plombémie	24
v. Dosage de l'acide amino-lévulinique déshydratase.....	24
b. <i>Sur animal mort</i>	24

i.	Examen nécropsique	24
ii.	Examen du contenu du gésier	25
iii.	Dosage des concentrations tissulaires en plomb	25
c.	<i>Valeurs seuils de toxicité</i>	25
10.	CONSEQUENCES DU SATURNISME A LONG TERME	27
a.	<i>Perte directe d'individus</i>	27
b.	<i>Vulnérabilité face à la chasse et aux prédateurs</i>	28
c.	<i>Discrétion des pertes dues au saturnisme</i>	28
d.	<i>Impact sur la migration</i>	29
e.	<i>Impact sur la reproduction</i>	29
f.	<i>Impact sur le comportement alimentaire et sur la condition corporelle hivernale</i>	29
g.	<i>Risques pour le consommateur de gibier atteint de saturnisme</i>	31
11.	ZONES DE RISQUE IMPORTANT DE SATURNISME POUR LA FAUNE	32
II. DEUXIEME PARTIE : LES MUNITIONS DE SUBSTITUTION AU PLOMB		33
1.	MOYENS DE LUTTE CONTRE LE SATURNISME	33
a.	<i>Aménagement de l'habitat</i>	33
b.	<i>Modification des plombs pour en réduire la toxicité</i>	34
c.	<i>Traitement des oiseaux atteints de saturnisme</i>	34
d.	<i>Utilisation de munitions non toxiques</i>	34
2.	CRITERES DE SELECTION D'UNE MUNITION NON TOXIQUE	35
a.	<i>Absence de toxicité</i>	35
b.	<i>Performances balistiques</i>	35
c.	<i>Coût des munitions non toxiques</i>	36
3.	LES DIFFERENTES MUNITIONS DE SUBSTITUTION	36
a.	<i>Acier</i>	36
i.	Caractéristiques physiques	36
ii.	Implications balistiques.....	37
iii.	Impact sur les armes.....	37
iv.	Impact sur le gibier	38
v.	Toxicité environnementale.....	41
vi.	Toxicité animale	41
vii.	Coût	42
viii.	Risques pour les humains	42
b.	<i>Bismuth et alliages</i>	43
c.	<i>Etain</i>	43
d.	<i>Zinc</i>	44
e.	<i>Polymères</i>	44
f.	<i>Formation des chasseurs : l'approche Nord-américaine</i>	45
g.	<i>Conclusion</i>	46
4.	AMELIORATIONS AMENEES PAR L'UTILISATION DE MUNITIONS NON TOXIQUES.....	46
5.	CONTEXTE INTERNATIONAL	47
a.	<i>Convention de Ramsar</i>	47
b.	<i>La Convention de Bonn</i>	48
c.	<i>Accords AEWA</i>	49
d.	<i>Options pour restreindre l'usage du plomb</i>	49
i.	Le passage volontaire à la grenaille non toxique.....	49
ii.	La mise en place d'une législation	50
e.	<i>Etat des lieux réglementaire au niveau mondial</i>	50
6.	REGLEMENTATION FRANÇAISE	53
III. TROISIEME PARTIE : IMPACT DES MUNITIONS D'ACIER SUR LES QUALITES GUSTATIVES DE LA VIANDE DE CANARD		55
1.	OBJECTIF DE L'ETUDE.....	55
2.	POTENTIELLE CORROSION DU FER DOUX.....	55
3.	EXPERIENCE INTERNATIONALE.....	55
4.	EVALUATION HEDONIQUE DE FILETS DE CANARDS ABATTUS SELON TROIS PROTOCOLES DIFFERENTS : ACIER, PLOMB ET ELECTROCUTION.....	56
a.	<i>Matériel et méthodes</i>	56
i.	Produits	56
ii.	Panel	58
iii.	Epreuve	59

iv.	Organisation des séances	59
b.	<i>Résultats</i>	60
c.	<i>Conclusion</i>	65
5.	VISUALISATION DIRECTE D'UNE CORROSION POTENTIELLE PAR CONGELATION DE FILETS INCRUSTES	66
i.	Matériel :.....	66
ii.	Méthode :.....	66
iii.	Observations :.....	66
iv.	Conclusion :.....	67
6.	DISCUSSION.....	67
a.	<i>Absence de différence de goût</i>	67
b.	<i>Temps de congélation</i>	67
c.	<i>Contact chair–grenaille</i> :.....	68
	CONCLUSION	69
	BIBLIOGRAPHIE	70
	ANNEXES	77

INDEX DES TABLEAUX

Tableau I. Composition moyenne de la grenaille de plomb – Fabrication Vouzelaud	7
Tableau II. Etude des taux d'ingestion chez deux espèces d'Anatidés en France.	10
Tableau III. Densité du dépôt de grain de plomb selon plusieurs études.	11
Tableau IV. Taux moyen d'ingestion de plomb parmi les canards herbivores de surface et plongeurs aux USA, en Europe et en France.	12
Tableau V. Relation entre la granulométrie du grit sélectionné par une espèce et le taux d'ingestion observé chez celle-ci.	12
Tableau VI. Saturnisme avéré dans des espèce aviaires non aquatiques.	13
Tableau VII. Taux de mortalité chez des colverts après administration orale d'une dose unique de 4 plombs de chasse n°4 (721 mg/kg).	14
Tableau VIII. Taux de mortalité des canards en fonction du nombre de plombs ingérés.	17
Tableau IX. Evolution des symptômes lors de saturnisme chronique chez le Canard colvert.	22
Tableau X. Fréquence des lésions chez des anatidés trouvés morts ou moribonds en fonction de l'étiologie (saturnisme ou autres causes).	23
Tableau XI. Concentrations en plomb dans les tissus proposées comme valeurs seuils indiquant une exposition et/ou une intoxication au plomb chez les Anatidés : Synthèse bibliographique.	26
Tableau XII. Concentration en plomb dans les tissus permettant la détermination d'un stade d'intoxication.	27
Tableau XIII. Risque relatif d'un canard intoxiqué au plomb d'être tué par un chasseur par rapport à un canard sain.	28
Tableau XIV. Teneurs en plomb de différents organes chez des Canards colverts.	31
Tableau XV. Composition moyenne des billes d'acier - fabrication Rottweil.	37
Tableau XVI. Comparaison de différentes munitions de substitution au plomb disponibles sur le marché français.	46
Tableau XVII. Prévalence des grains ingérés par des canards lors de la saison de chasse 1996/97, au Mississipi.	47
Tableau XVIII. Législation concernant l'usage de la grenaille de plomb et appartenance aux conventions de quelques pays, par catégorie, en l'an 2000.	50
Tableau XIX. Total de chaque catégorie par année de questionnaire.	52
Tableau XX. Appréciation comparée des différents produits.	60
Tableau XXI. Synthèse des commentaires des consommateurs concernant les filets de canards témoins (électrocution + décérébration).	62
Tableau XXII. Synthèse des commentaires des consommateurs concernant les filets de canards tirés au plomb.	63
Tableau XXIII. Synthèse des commentaires des consommateurs concernant les filets de canards tirés à l'acier.	64

INDEX DES FIGURES

Figure 1. Grains de plomb issus de gésiers de Canards tués par des chasseurs. Le grain A est entré dans le gésier lors de l'impact qui a tué l'oiseau – Le grain B est érodé par frottements dans le gésier – Le grain C est érodé par les attaques acides des sucs gastriques. . 9	9
Figure 2. Aspect de grains de plomb ayant passé des durées variables dans des gésiers de canards..... 15	15
Figure 3. Sites enzymatiques de l'action du plomb dans la chaîne de biosynthèse de l'hème. 18	18
Figure 4. Corps de Heinz en périphérie du globule rouge. Coloration de Wright, 500x 19	19
Figure 5. Gésiers ouverts avec les grains de plombs qu'ils contenaient..... 19	19
Figure 6. Deux gésiers de canard: en haut, issu d'un canard atteint de saturnisme, en bas, issu d'un canard sain. 20	20
Figure 7. Dangers du saturnisme pour les populations d'Anatidés. 30	30
Figure 8. Poinçon "fleur de lys" attestant l'aptitude d'un fusil à tirer des billes d'acier 38	38
Figure 9. Pourcentages de canards « probablement au tableau de chasse » et « blessés ou perdus » suite au tir de canards colverts, avec trois munitions différentes, à des distances de tir de 30 à 60 yards. 39	39
Figure 10. Evolution du taux d'oiseaux touchés et perdus (TOP) dans le tableau de chasse Américain. 40	40
Figure 11. Illustration de la « bande des trente mètres »..... 54	54
Figure 12. Radiographie face et profil du canard n°45, tué à l'acier. 58	58
Figure 13. Histogrammes des notes d'appréciation globale des consommateurs pour les filets témoins. 61	61
Figure 14. Histogrammes des notes d'appréciation globale des consommateurs pour les filets issus de canards tirés au plomb. 61	61
Figure 15. Histogrammes des notes d'appréciation globale des consommateurs pour les filets issus de canards tirés à l'acier. 61	61
Figure 16. Gauche: filet incrusté de grains d'acier. Droite: filet reconstitué..... 66 bis	66 bis
Figure 17. Aspect macroscopique des billes d'acier après congélation..... 66 bis	66 bis
Figure 18. Aspect macroscopique d'une bille d'acier après congélation 66 bis	66 bis
Figure 19. Aspect sous loupe binoculaire X16 d'une bille d'acier après congélation 66 bis	66 bis
Figure 20. Aspect sous loupe binoculaire X40 d'une bille d'acier après congélation 66 bis	66 bis
Figure 21. Aspect sous loupe binoculaire X16 d'une bille d'acier témoin 66 bis	66 bis

INTRODUCTION

Chaque année, par l'activité de la chasse, des grains de plomb sont déposés dans l'environnement, susceptibles d'être en contact avec la faune sauvage. Particulièrement dans les zones humides, où la vase accumule ces grains de plomb, les animaux filtrant la vase, tels les oiseaux d'eau, conservent dans leur gésier les grains de plomb. Le plomb peut alors exercer un effet toxique sur les organismes vivants : le saturnisme.

Fort de ce constat, et conformément aux accords de protection des zones humides signés par la France, le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, a interdit l'utilisation de la grenaille de plomb dans les zones humides à compter de l'ouverture de la chasse en juin 2006.

Cette interdiction encourage l'utilisation de munitions alternatives, sans plomb, dont la plus répandue est la grenaille d'acier. Les nouvelles munitions modifient les habitudes de chasse et nécessitent une évolution tant du matériel que des mentalités.

Ainsi, la transition à l'acier ne se fait pas sans inquiétudes de la part de chasseurs. Afin de rassurer les utilisateurs de ces munitions, diverses études ont été menées sur les qualités balistiques et l'efficacité des nouvelles munitions.

Mais récemment, les critiques se sont également portées sur l'éventuelle dégradation des qualités gustatives des carcasses de gibier tuées à l'acier, qui serait consécutive à une corrosion des grains d'acier lors de la congélation du gibier.

Sous l'impulsion de la Fédération Nationale des Chasseurs, notre étude souhaite ainsi faire la lumière sur l'impact potentiel des munitions d'acier sur les qualités organoleptiques des carcasses de canard colvert.

Après avoir fait la synthèse des connaissances sur le saturnisme des oiseaux d'eau, nous présenterons les différentes munitions de substitution actuellement disponibles en France, ainsi que la réglementation qui entoure cette transition au « sans plomb ».

Ensuite, nous nous efforcerons d'objectiver l'évolution gustative que pourraient subir la viande de Canard colvert au contact des munitions en acier, et l'éventuelle corrosion que pourraient subir les grains d'acier lors d'une période de congélation, à travers une étude expérimentale, menée conjointement avec l'Office National de la Chasse et de la Faune sauvage et un essai in vitro mené par nous-même.

I. Première partie : le saturnisme des oiseaux et plus particulièrement des Anatidés¹

La chasse au tir est une activité sportive ancestrale, pratiquée sur l'ensemble du territoire français.

Le nombre de chasseurs de gibier d'eau avoisine en France les 160 000 chasseurs, sur un nombre de porteurs de permis, de 1 200 000 (ONCFS, 2006).

Pour la chasse au petit gibier, les munitions utilisées jusqu'alors étaient de la grenaille de plomb, dont la composition est transcrite dans le Tableau I.

Tableau I. Composition moyenne de la grenaille de plomb – Fabrication Vouzelaud
D'après Vouzelaud (2006)

<i>Éléments présents dans la grenaille de plomb</i>	<i>Teneur des grains de plomb (en %)</i>
Plomb (Pb)	Min 96.4
Antimoine (Sb)	3.2
Arsenic (As)	0.323
Bismuth (Bi)	0.016
Argent (Ag)	0.0034
Soufre (S)	0.0015
Cuivre (Cu)	0.0002
Étain (Sn)	Max 0.0002

La campagne 2006/2007 annonce, pour le monde cynégétique, en particulier les chasseurs de gibier d'eau, le passage aux munitions « sans plomb ».

1. Origine de l'intoxication saturnine et répartition géographique

Le saturnisme est l'intoxication provoquée par l'exposition réitérée d'un organisme au plomb.

Il est maintenant admis que les plombs de chasse sont à l'origine de la quasi-totalité des cas de saturnisme chez les Anatidés (sauf les cygnes, souvent intoxiqués par ingestion de plomb de pêche) (Forbes et Sanderson, 1978 – Baron, 2001)

La grenaille de plomb est utilisée pour deux activités sportives essentielles : la chasse et le tir au pigeon d'argile. Nous nous limiterons à l'impact de la chasse.

On sait depuis la fin du XIXe siècle (Grinnell, 1894) que les Anatidés ingèrent la grenaille qui se dépose au fond des lacs et marais, la confondant avec des éléments nutritifs (petits crustacés, graines végétales...) ou du grit², et ce phénomène a depuis été signalé dans 21 pays : Canada, Australie, Grande Bretagne, France, Pays bas, Japon... (Bana, 2004 – AEWA, 2002 – Scheuhammer et Norris, 1995 – Pain, 1992a – Bellrose, 1959 – Sanderson 1992 b)

¹ Anatidés (*Anatidae*): famille d'oiseaux palmipèdes, aquatiques, de l'ordre des Ansériformes, et à laquelle appartiennent les *Anatinae* (canards) et les *Anserinae* (cygnes, oies et bernaches).

² Grit: gravillons ingérés par certains oiseaux, retenus dans le gésier et qui améliorent l'action mécanique de celui-ci sur les aliments.

Des taux moyens, par pays, d'animaux atteints de saturnisme ont été avancés, cependant, il convient de distinguer les sites à forte pression de chasse des autres lieux (cf. I.3.a.)

La question de l'intoxication saturnine doit donc être étudiée et gérée à un niveau international du fait des espèces affectées : des oiseaux d'eau migrateurs, donc franchissant plusieurs frontières durant leur migration.

Une fois ingérés, les grains de plomb peuvent soit être évacués soit se loger dans le gésier où le grain sera érodé par action mécanique et chimique, libérant du plomb ionique dans l'organisme. (cf.I.2.b.) (Duranel, 1999)

A la suite de l'assimilation des sels de plomb, l'oiseau peut souffrir d'une intoxication sublétales et survivre, ou bien présenter une crise aiguë due à un relargage important de plomb, conduisant à la mort. (Pain, 1992)

Le saturnisme de la plupart des oiseaux d'eau est avéré, et le principal responsable est l'utilisation de la grenaille de plomb lors de la chasse. (Baron, 2001)

La gravité de l'intoxication varie selon la quantité de plomb absorbée, et de l'influence de divers facteurs qui seront développés ci-dessous.

2. Quantité et devenir des plombs de chasse déposés dans l'environnement

a. Quantification du plomb déposé dans l'environnement par l'action de chasse

En 1985, les services canadiens évaluent le taux de dépôt de grenaille de plomb dans l'environnement canadien à environ 1 500 tonnes par an, avec des fluctuations importantes selon l'intensité locale de chasse. (Scheuhammer et Norris, 1995)

En 1998, la quantité de plomb servant à la fabrication de grenaille de plomb dans les 15 pays de l'UE atteignait 59 kilotonnes (4% de la consommation totale en plomb de l'UE). 80% de la grenaille de plomb sert à la fabrication de munitions dont environ 32% sont utilisés à la chasse à la sauvagine.

En France, la production annuelle de grenaille et de munitions au plomb avoisine 7.5 kilotonnes. (Bana, 2004)

La quantification du dépôt de grenaille de plomb dans l'environnement peut se faire à partir des données relatives aux prises de gibier et du nombre moyen de coups de feu tirés par animal capturé ou encore à partir des chiffres de vente des cartouches au plomb.

Ainsi, il a été évalué à 540 millions minimum le nombre annuel de grains de plomb de chasse dispersés en France dans les années 90 (Mauvais, 1991), et on estime à 2 tonnes de plombs ce qui est tiré en 20 jours de chasse sur les étangs de la Dombes (Pain, 1991a).

Cependant la disponibilité de la grenaille est à prendre en compte : en effet, nous pouvons raisonnablement conclure que la quantité de plomb accessible aux oiseaux est plus faible que la quantité totale de grenaille de plomb déposée (enfouissement profond dans un sol meuble, présence de végétation masquante...).

Des tests menés en 1991 par D. Pain en Camargue concluent à une densité de 2.000.000 grains/Ha, c'est-à-dire 0.23 tonnes de plomb à l'hectare (Pain, 1992)

b. Facteurs de dégradation du plomb

Diverses études chimiques ont permis de montrer le comportement du plomb dans l'environnement.

Les grains de plomb déposés sur le sol et les sédiments aquatiques ne sont pas inertes chimiquement, bien qu'il faille 30 à 200 années pour qu'ils se décomposent et se dissolvent. (Miquel, 2001)

Les taux d'érosion, d'oxydation et de dissolution de la grenaille de plomb dépendent de différents facteurs chimiques, qui sont les mêmes dans le biotope que dans un organisme aviaire : des conditions aérobies acides favorisent la décomposition, ainsi qu'un contact continu avec l'eau. (Scheuhammer et Norris, 1995).

Le plomb est donc facilement soluble dans les acides organiques, même à faible concentration.

3. Exposition au plomb

Au Canada, il a été démontré que plus de 250 000 oiseaux aquatiques mouraient chaque année d'intoxication au plomb. (Scheuhammer et Norris, 1995)

A l'origine, Bellrose évaluait la perte consécutive au saturnisme par ingestion de grenaille à 2-3% de la population d'Anatidés du continent, soit 1.5 à 4 millions d'individus par an (Bellrose, 1959) et les récentes études corroborent ces chiffres. (Pain, 1991a)

Cependant, Bellrose affirme qu'un tiers des canards aux USA ingèreraient au moins un plomb en un an, ce qui ne les conduit pas tous à la mort bien entendu. (Bellrose, 1959)

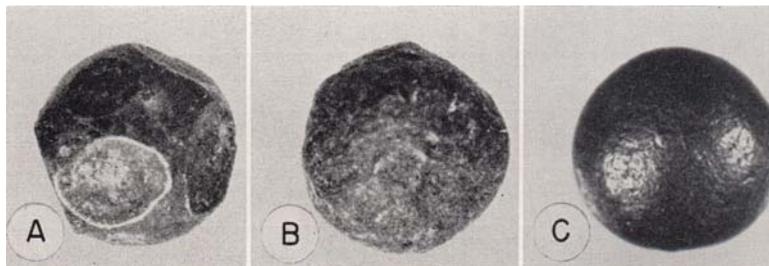
La mise en évidence de l'exposition et de l'intoxication au plomb se fait par différentes méthodes : l'analyse visuelle ou par rayons X, des gésiers d'oiseaux tués à la chasse pour détecter la présence de plombs ingérés est une méthode largement utilisée (Bellrose, 1959 – Sanderson-Bellrose, 1986)

Cela permet de déterminer le taux d'ingestion, qui est uniquement un indicateur de l'exposition au danger d'une population (Friend 1978).

Les plombs ingérés (surface brillante et érodée, ou à l'inverse piquée par les attaques acides des sucs digestifs) se distinguent facilement des plombs entrés par voie balistique (gros, ronds et gris avec des facettes creusées au contact des autres plombs dans le canon), comme le montre la Figure 1. (Bellrose, 1959)

Figure 1. Grains de plomb issus de gésiers de Canards tués par des chasseurs. Le grain A est entré dans le gésier lors de l'impact qui a tué l'oiseau – Le grain B est érodé par frottements dans le gésier – Le grain C est érodé par les attaques acides des sucs gastriques.

(Bellrose, 1959)



a. Taux d'ingestion

Cet indicateur de l'exposition au danger d'une population est égal à la proportion d'oiseaux présentant au moins un plomb dans le gésier. (Duranel, 1999 b)

Un rapport sénatorial fait état d'une moyenne de 22% des canards retrouvés avec au moins un plomb dans le gésier (fourchette entre 0 et 53 % selon les études) et estime que le nombre d'oiseaux présentant de fortes concentrations en plomb dans les tissus est trois fois supérieure au nombre d'oiseaux trouvés avec du plomb dans le gésier (Miquel, 2001)

Nous présentons ici une synthèse bibliographique des taux d'ingestion collectés en France.

Tableau II. Etude des taux d'ingestion chez deux espèces d'Anatidés en France.

D'après Baron (2001)

Région	Année de l'étude	Etude de référence	Nombre d'oiseaux examinés	% d'oiseaux ayant ingéré des grains de plomb	Nombre d'oiseaux examinés	% d'oiseaux ayant ingéré des grains de plomb
			Sarcelle d'hiver		Canard Colvert	
Camargue	1960	Hoffmann, 1960	7252	4.2	533	24
	1957-71	Hovette, 1974	39 438	4.7	8 929	17.7
	1964-66	Pirot et Taxis, 1987	313	10	101	20.8
	1979-81	Pirot et Taxis, 1987			78	17.9
	1988-89	Pain, 1990	100	9	159	45
	1988-89	Pain et al., 1992	27	7	30	53
	1997-98	Mondain-Monval et al., 1998	37	8	15	33
	1998-2000	Mondain-Monval et al., 1998	213	10.8	135	33.3
Grand-Lieu	1983-88	Aubrais-lançon			138	14
	1984-90	Mauvais et Pinault, 1993	6	0	156	12.8
	1992-93	Schricke et Lefranc, 1994			50	12
	1992-95	Pinault, 1996			169	14
Dombes	1979-81	Cordel-Boudard, 1983	21	0	51	10
Cours du Rhin	1989-90	Pain, 1991a			19	0
Mont Saint-Michel	1992-95	Pinault, 1996	325	7.4		
Somme	1993-94	Lefranc, 1993	78	3.8	9	22.2
	1994-95	Lamberet, 1995	105	0	2	0
	1992-95	Pinault, 1996	206	3.4		
Brenne	1992-95	Pinault 1996			52	7.7
France	1992-93	Schricke et Lefranc, 1994	789	3.2	841	8.5
	1993-94	Lamberet, 1995	857	4	1075	8.8

La plus part de ces oiseaux ont ingéré un faible nombre de plombs : pour Lefranc (1993), ces proportions sont : 75% pour 1 plomb, 11% pour deux et 5.5 % pour trois plombs ingérés.

Toutefois ces chiffres ne reflètent pas totalement les taux d'ingestion d'une population : de par leur affaiblissement, les oiseaux intoxiqués ont 1.65 fois plus de risques d'être tués par les chasseurs. A l'inverse, les oiseaux moribonds ne volent plus et ne seront donc pas tirés. (Bellrose, 1959)

Finalement, l'existence d'une intoxication saturnine est confirmée par les analyses chimiques du plomb dans différents tissus (foie, os des ailes, sang...).

En effet, les plombs peuvent s'évacuer immédiatement après leur ingestion ou bien rester jusqu'à 6 semaines en s'érodant progressivement. La moyenne du temps de séjour d'un grain de plomb dans le gésier d'un canard est de 18 jours.

Dans la plupart des études où l'on effectue à la fois une analyse du contenu des gésiers et un dosage du plomb hépatique, un nombre supérieur d'oiseaux présente des teneurs élevées en plomb dans le foie que de grains dans le gésier. (Pain, 1992)

Cependant, le taux d'ingestion varie selon le mode d'alimentation, la disponibilité des grains, la méthode de détermination, la technique de prélèvement de l'échantillon...

Dans l'étude américaine de Sanderson & Bellrose (1986), il apparaît que le canard colvert est particulièrement vulnérable (25.7% des oiseaux concernés)

b. Facteurs influençant le taux d'ingestion

Le risque d'ingestion dépend de nombreux facteurs agissant sur la disponibilité des grains pour les oiseaux : pression de chasse, disponibilité du grit, hauteur d'eau, superposition des zones de chasse et d'alimentation... (Duranel, 1999 b)

i. Pression de chasse sur les zones considérées

La quantité de plomb déposée dans le milieu représente la quantité maximum de plombs disponibles pour la faune sauvage.

Le Tableau III présente cette concentration en grains de plomb selon les pays.

Tableau III. Densité du dépôt de grain de plomb selon plusieurs études.

D'après Pain (1991a) et Bana (2004)

<i>Pays</i> <i>Habitat = marécages</i>	<i>Nbre maxi de grains par hectare</i>	<i>Etude de référence</i>
Australie Chasse peu intense	3 400	Sharley et al. 1992
Australie Chasse très intense	1 060 000	
France (Camargue)	2 000 000	Pain 1991a
Canada	125 970	Bellrose 1959
UK	300 000	Mudge 1984
Pays bas	435 000	Smit et al. 1988
Danemark	1 840 000	Peterson et Meltofte 1979
USA	1 676 300	Fisher et al. 1986

Comme le montre l'exemple de l'Australie, la densité des grains de plomb est fonction de la pression de chasse sur les zones considérées.

Ces quantités sont les plus importantes au niveau des marais, des zones humides et des sites de ball-trap (Sanderson, 1992).

ii. Nature du sol

La disponibilité des grains de plomb pour la faune sauvage dépend du type de substrat sur lequel ils sont déposés : Ainsi, dans certains marécages, les grains s'enfoncent lentement dans le sol et sont alors de moins en moins disponibles. Cependant, dans la majorité des lieux (Camargue..), les plombs n'évoluent pas et la quantité disponible ne fait qu'augmenter de saison de chasse en saison de chasse.

Une augmentation de plus de 35% du taux d'ingestion chez le canard pilet en Camargue a ainsi été noté entre 1965 et 1980 (Piro et Taxis, 1987) de même qu'une élévation significative du taux d'ingestion chez le colvert en l'espace de 10 ans (Pain, 1991a – Mondain-Monval, 2002).

iii. Comportement alimentaire des oiseaux

Le comportement alimentaire est le facteur le mieux corrélé au risque d'exposition d'une espèce, comme le montre le Tableau IV (Bellrose, 1959).

Tableau IV. Taux moyen d'ingestion de plomb parmi les canards herbivores de surface et plongeurs aux USA, en Europe et en France.

D'après Schricke et Lefranc (1993)

<i>Groupe</i>	<i>Europe*</i> <i>excepté la France</i>		<i>USA</i>	<i>France (1992-93)</i>	
Canards herbivores	1.1	(1 351)	1.5	(11 375)	9.5 (136)
Autres canards de surface	3.7	(80 678)	7.7	(169 940)	5.8 (1 960)
Canards plongeurs	15.2	(643)	16.7	(22 238)	12.0 (240)
Toutes catégories	4.0	(10 672)	2.5	(203 553)	6.6 (2 336)

Europe* = Royaume uni, Danemark, Suède, Finlande, Norvège, Suisse, Pays-bas et Grèce

Ainsi, les canards plongeurs tels les fuligules qui se nourrissent au fond des plans d'eau et les canards de surface tels le colvert sont plus exposés à l'ingestion des grains reposant sur leur aire d'alimentation que les barboteurs, qui se nourrissent de végétaux et d'invertébrés à la surface. (Pain, 1992a)

Les oiseaux d'eau ingèrent les grains de plomb, comme s'il s'agissait de grit : la taille du grit ingéré par une espèce donnée va ainsi prédisposer certaines espèces à l'ingestion de plombs. (Mézières, 1999 – Tableau V)

Tableau V. Relation entre la granulométrie du grit sélectionné par une espèce et le taux d'ingestion observé chez celle-ci.

D'après Mézières (1999)

<i>Espèce</i>	<i>Taille du grit</i>	<i>Taux d'ingestion (%)^a</i>	<i>Taux d'ingestion (%)^b</i>
Canard chipeau	0,1 à 0,5 mm	-	7,4
Canard siffleur	0,1 à 0,5 mm	-	5,1
Sarcelle d'hiver	0,5 à 1mm	3,2	4
Canard souchet	0,5 à 1mm	4,6	5,1
Canard pilet	1mm	5,2	0,9
Canard colvert	> 1 mm	8,5	8,8
Fuligule morillon	> 2 mm	7,3	8,4
Fuligule milouin	> 2 mm	13,9	14,6

^a taux d'ingestion relevés en France en 1993-94. Corrélation étroite et significative ($r = +0,90$)

^b taux d'ingestion relevés en France en 1994-95. Corrélation assez élevée ($r = +0,67$)

Rappelons que les cartouches de plomb habituellement utilisées pour la chasse au canard sont du n°6, donc contenant des grains de plombs d'un diamètre de 2.75 mm. (Pinault, 1996)

Hovette (1973) a montré que les grains de plomb ont un diamètre similaire au grit usuellement recherché par les colverts. Ainsi, dans un sédiment présentant peu de grit et beaucoup de grenaille, le risque d'ingestion chez le colvert est très important.

4. Autres oiseaux touchés par l'intoxication au plomb

Les Anatidés ne sont pas les seules espèces touchées. En effet, les espèces non aquatiques sont aussi exposées à la grenaille et en ingèrent. L'ingestion et l'intoxication se produisent sous une des deux grandes formes suivantes : certaines espèces, comme les anatidés, prennent la grenaille pour des aliments ou du grit et l'avalent (= intoxication primaire) et d'autres espèces, comme les rapaces ou les détritviores, en avalent en consommant des proies qui portent de la grenaille de plomb incrustée dans les muscles (tirés par des chasseurs) ou porteurs de grains de plomb dans le tube digestif (= intoxication secondaire) (Scheuhammer et Norris, 1995)

a. Intoxication primaire

Le **Tableau VI** présente une partie de la trentaine d'espèces d'oiseaux à l'état sauvage dans lesquelles cette ingestion de grenaille de plomb a été établie. (Bana, 2004 – Locke et Friend, 1992 – Scheuhammer et Norris, 1995 – Beck et Grandval, 1997)

Tableau VI. Saturnisme avéré dans des espèce aviaires non aquatiques.
D'après Locke et Friend (1992)

<i>espèce</i>	<i>Nom scientifique</i>	<i>pays</i>
Plongeon imbrin	<i>Gavia immer</i>	USA
Flamand rose	<i>Phoenicopterus ruber</i>	France, Mexique
Condor de Californie	<i>Gymnogyps californianus</i>	USA
Pygargue à tête blanche	<i>Haliaeetus leucocephalus</i>	USA
Aigle royal	<i>Aquila chrysaetos</i>	USA
Buse à queue rousse	<i>Buteo jamaicensis</i>	USA
Buse pattue	<i>Buteo lagopus</i>	USA
Bondrée apivore	<i>Pernis apivorus</i>	Pays bas
Faucon des prairies	<i>Falco mexicanus</i>	USA
Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>	USA
Faisan de Colchide	<i>Phasianus colchicus</i>	Royaume-Uni
Perdrix grise	<i>Perdrix perdrix</i>	Danemark, Royaume-Uni
Colin de Virginie	<i>Colinus virginianus</i>	USA
Colin écaillé	<i>Callipepla squamata</i>	USA
Dindon sauvage	<i>Meleagris gallopavo</i>	USA
Grue du Canada	<i>Grus canadensis</i>	USA
Foulque d'Amérique	<i>Fulica americana</i>	USA
Marouette de Caroline	<i>Porzana carolina</i>	USA
Mouette tridactyle	<i>Recurvirostra americana</i>	USA
Echasse blanche	<i>Himantopus mexicanus</i>	USA
Barge marbrée	<i>Limosa fedoa</i>	USA
Bécasseau tacheté	<i>Calidris melanotos</i>	USA
Bécasseau d'Alaska	<i>Calidris mauri</i>	USA
Bécassine à long bec	<i>Limnodromus scolopaceus</i>	USA
Goéland argenté	<i>Larus argentatus</i>	USA
Goéland à ailes grises	<i>Larus glaucescens</i>	USA
Tourterelle triste	<i>Zenaida macroura</i>	USA
Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	Danemark

Locke et Friend (1992) ont conclu que le saturnisme était suffisamment documenté chez une variété suffisante d'oiseaux pour envisager que tous les oiseaux soient susceptibles d'intoxication par la grenaille de plomb.

Sporadiquement, des troupeaux de bovins ont aussi manifesté des troubles saturnins suite à l'ingestion de fourrage issu de parcelles servant à des ball-traps (Frape et Pringle, 1984).

b. Intoxication secondaire

Ce type d'intoxication survient quand un prédateur ou un détritivore consomme un animal dont la chair ou le tube digestif contient des grains de plomb. En Amérique du Nord, le Pygargue à tête blanche est régulièrement exposé dans certaines zones. De même, les aigles, royaux, les éperviers d'Europe, les buses et busards des roseaux en France et le faucon pèlerin sont concernés. (Bana, 2004)

Enfin, la consommation de gibier tué à la grenaille de plomb peut être à l'origine de saturnisme chez les humains : par ingestion de viandes intoxiquées ou par ingestion de particules ou grains de plomb. (Cas d'appendicites aiguës compliquées de saturnisme (Scheuhammer et Norris, 1995))

L'intoxication saturnine du fait des grains de plomb de chasse est donc un souci international, et interspécifique.

5. Facteurs limitants ou favorisant la biodisponibilité du plomb chez les oiseaux

a. Facteurs exogènes d'absorption et de toxicité du plomb

i. Alimentation

Le régime alimentaire intervient dans le degré de toxicité du plomb chez un individu : un régime à base de céréales prédispose au saturnisme, alors qu'un régime riche en protéines (acides aminés soufrés (Duranel, 1999a), en calcium et en phosphore semble diminuer l'impact de la plombémie (Sanderson & Bellrose, 1986). Le calcium permettrait en effet de diminuer la perméabilité des membranes cellulaires aux ions des métaux lourds. (Mézières, 1999)

Les résultats d'une expérimentation mettant en évidence l'importance de l'alimentation sont rapportés dans le Tableau VII.

Tableau VII. Taux de mortalité chez des colverts après administration orale d'une dose unique de 4 plombs de chasse n°4 (721 mg/kg).

D'après Carlson (1985) cité par Pinault (1996)

<i>Lot</i>	<i>Ration alimentaire</i>	<i>Taux de mortalité</i>	<i>Variation de poids (en 60 j)</i>
Lot 1	Blé concassé à 0.03% Ca	100 %	
Lot 2	Blé + supplément à 1.2% Ca	50 %	-17,6 %
Lot 3	Aliment commercial équilibré	0 %	+1.7 %

Les canards colverts ayant un régime alimentaire essentiellement basé sur les céréales, et contenant peu de protéines, cela les rend d'autant plus sensibles au saturnisme. (Sanderson, 1992)

Par ailleurs, le volume de nourriture ingéré et son passage dans le tractus digestif préviennent l'absorption intestinale du plomb.

La consommation de certains végétaux aquatiques, de chair de coquillages tels la palourde ou de coquilles d'huîtres pourraient annihiler les symptômes toxiques. (Sanderson & Bellrose, 1986)

Enfin la dureté de l'alimentation peut influencer sur l'abrasion et donc la résorption du plomb : l'érosion des grains de plomb dans le gésier sera donc d'autant plus rapide que les particules alimentaires sont dures (granivores) (Mézières, 1999)

ii. Sol et grit

La densité en grain de plomb du sol a évidemment un impact direct sur l'absorption, mais la texture du sol a aussi un intérêt.

L'action mécanique du grit à l'intérieur de cet organe musculaire permet une érosion rapide des plombs mous, qui sont alors dissous par les sucs gastriques en sels de plomb, seule forme toxique pour l'organisme. La Figure 2 montre l'évolution de cette érosion.

Figure 2. Aspect de grains de plomb ayant passé des durées variables dans des gésiers de canards.

(Bellrose, 1959)



Selon Sanderson & Bellrose (1986), un grain de plomb met environ 20 jours pour s'éroder complètement, et selon Schricke et Lefranc (1993) il faut 9 jours pour qu'un plomb de 2.75 mm donne un plomb de 1.75 mm de diamètre

Cependant, seule une petite fraction (2 à 10%) sera résorbée dans le sang, essentiellement sous forme de chlorures (Duranel, 1999b). En jouant sur la vitesse de transit et de rejet des plombs, sur l'érosion, et sur les mécanismes d'absorption eux-mêmes, la quantité de plomb passant réellement la barrière intestinale sera modifiée, et donc la toxicité du plomb sera variable.

En effet, on a constaté en conditions expérimentales qu'un animal élevé sur grillage (donc privé de grit) succombe rapidement par intoxication aiguë alors que des canards ayant du grit à disposition (pour le même degré d'exposition en plomb) présentent des signes cliniques subaigus à chroniques. Cela s'explique car le grit favorise la fragmentation du plomb, mais aussi son élimination. (Mézières, 1999)

Remarque : Un plomb enkysté dans un muscle suite à une blessure de chasse ne s'accompagne généralement pas de diffusion toxique. (Sanderson, 1992)

b. Facteurs endogènes d'absorption et de toxicité du plomb

i. Taille de l'individu

Plus un animal est de grande taille, plus la quantité totale de plomb absorbé doit être importante pour avoir des effets toxiques. Ce qui explique en partie la moins grande sensibilité des oies et des cygnes par rapport aux canards. (Sanderson & Bellrose, 1986)

ii. Etat physiologique

Le métabolisme calcique joue un rôle important dans la sensibilité d'un individu, surtout en cas d'intoxication chronique. En effet, il existe un mécanisme de compétition entre le calcium et le plomb, par l'intermédiaire d'une protéine de transport.

Ainsi, en période de ponte, les femelles sont plus résistantes que les mâles, tout en ayant une concentration de plomb dans les os plus importante : la mobilisation du calcium osseux pour la production d'œufs et la fixation du plomb à sa place permettrait ainsi de diminuer la plombémie des femelles.

De même, les jeunes déposent plus facilement le plomb dans leurs os du fait de leur croissance osseuse, ce qui diminue la plombémie sanguine et des tissus mous. (Sanderson & Bellrose, 1986 – Duranel, 1999b)

6. Pharmacocinétique de l'intoxication saturnine

a. Distribution du plomb dans l'organisme

Le plomb des billes de plomb n'exerce pas sa toxicité spécifique tant qu'il reste dans le gésier (effets locaux non spécifiques et secondaires) mais après sa dissolution et son passage au travers de la paroi digestive. Il est alors véhiculé dans le sang, puis redistribué aux différents tissus de l'organisme, y compris la moelle osseuse.

Le foie est le premier organe de concentration du plomb après sa résorption digestive. Le rein, richement irrigué, est aussi un organe d'accumulation (néphrons), puis l'os et finalement les phanères. (Pinault, 1996)

Du fait de son affinité pour les groupements thiols et de son comportement voisin de celui du calcium (cf. I.7.a.ii.), le plomb va se concentrer préférentiellement dans certains tissus : (Duranel, 1999b)

- Le sang, et plus précisément les protéines soufrées de la membrane des hématies
- Les reins et le foie, riches en protéines soufrées
- Puis la rate, les poumons, le cœur et l'encéphale
- Le tissu osseux : une forte redistribution du plomb vers les os se met en place lors d'intoxication chronique, par compétition avec le calcium et fixation à sa place sur les cristaux d'hydroxyapatite. (Kaminsky et al, 1993)

b. Elimination

La plus grande partie des sels de plomb n'est pas absorbée au niveau de la muqueuse digestive et se trouve éliminée dans les fèces, de même que le reste de grenaille lorsque le plomb est suffisamment érodé. L'élimination de la fraction absorbée est, de par son accumulation, très lente et incomplète. Elle se fait essentiellement par voie rénale sur

plusieurs semaines : la plombémie redevient normale en 5 à 7 semaines chez le canard. (Roscoe et al, 1979)

Une grande quantité de plomb peut être éliminée par incorporation dans la coquille d'œuf, lors de la ponte, (Finley et al, 1976a) et lors de la mue, par fixation aux protéines soufrées des plumes. (Mauvais, 1991).

c. Doses létales

Une approche simplifiée donne les chiffres suivants (Tableau VIII)

Tableau VIII. Taux de mortalité des canards en fonction du nombre de plombs ingérés.
D'après Miquel (2001)

<i>Nombre de plombs ingérés</i>	<i>Taux de mortalité dans les 20 jours</i>
1 plomb	9 %
2 plombs	25%
3 plombs	67%
4 plombs	99%

Mais les différents facteurs développés précédemment modulent la létalité consécutive à l'ingestion de plombs de chasse, ce qui rend difficile la détermination d'une dose létale précise.

Il ne faut pas oublier non plus que le plomb est un toxique cumulatif. Les doses létales (exprimées en mg/kg/j) lors d'administrations répétées sont donc nettement inférieures à celles résultant d'une administration unique (Mauvais 1991)

Enfin, il est hasardeux d'extrapoler ces résultats à la mortalité observée en milieu naturel, dans des conditions de compétition entre individus et espèces, et de prédation.

Bellrose (1959) a néanmoins montré qu'un faible nombre de grains de plomb, voire même un seul dans certaines conditions, peut entraîner une mortalité non négligeable.

7. *Pathogénie*

Comme la plupart des toxiques, l'élément plomb n'est toxique qu'en fonction de sa capacité à pénétrer dans les tissus de l'organisme au sein desquels il exercera ses effets nocifs sur des cibles particulières.

a. Toxicité cellulaire

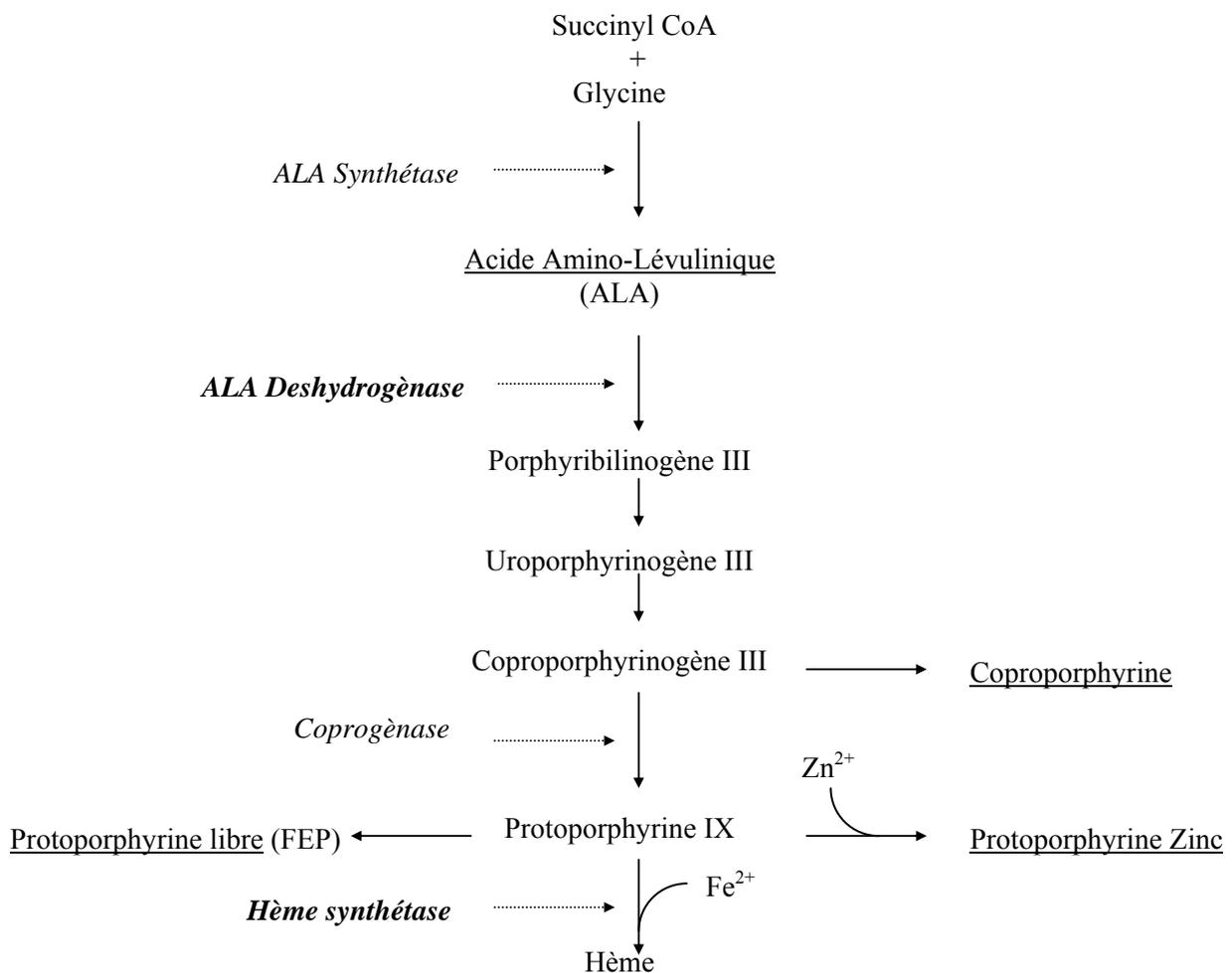
i. Action sur les cellules sanguines et les cellules

nerveuses

L'ion Pb^{2+} possède une affinité importante pour les groupements thiols. En se liant aux acides aminés soufrés, il entraîne notamment l'inhibition de l'activité d'enzymes intervenant dans la synthèse de l'hémoglobine. (cf. Figure 3)

Figure 3. Sites enzymatiques de l'action du plomb dans la chaîne de biosynthèse de l'hème.

D'après Mauvais (1991) et Duranel (1999b)



En italique : principales enzymes intervenant dans la synthèse de l'hème

En gras : enzymes inhibées par le plomb.

Soulignés : substrats intermédiaires qui s'accumulent alors dans l'organisme

La baisse d'activité de l'ALAD (Amino-Levulinic Acid Deshydrogenase) est l'une des altérations les plus précoces et les plus sensibles de l'intoxication au plomb (Finley et al, 1976b)

En conséquence,

- L'inhibition de l'ALAD et de l'hème synthétase provoque une diminution de la synthèse de l'hème et une accumulation de substrats intermédiaires (protoporphyrines) (Finley et al, 1976b)
- L'inhibition des activités enzymatiques provoque la perturbation du métabolisme glucidique dans la cellule nerveuse, à l'origine de son dysfonctionnement, et d'une baisse de l'hématopoïèse. (Kaminsky et al, 1993)

ii. Interaction avec le calcium

Le cation Ca^{2+} joue un rôle fondamental dans les mécanismes de transduction du signal hormonal et nerveux au niveau cellulaire (ouverture des canaux calciques) Le plomb, en entrant en compétition avec le calcium, inhibe notamment la progression du signal nerveux et la contraction musculaire. (Kaminsky et al, 1993)

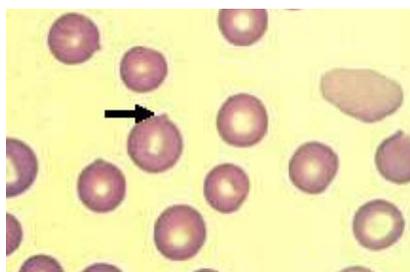
L'interaction avec le calcium permet aussi un stockage du plomb au niveau osseux (cf. I.7.b.iii.)

iii. Action sur les acides nucléiques

Le plomb agit sur les systèmes promoteurs et régulateurs de l'ADN. Ce phénomène entraîne l'expression anormale de certains gènes susceptibles de se traduire par des effets cancérigènes ou immunodépresseurs encore mal connus. (Kaminsky et al, 1993)

Par ailleurs, il gêne la dégradation dans les hématies de l'ARN ribosomal, dont l'accumulation génère les corps de Heinz (Figure 4), caractéristiques du saturnisme (Moore et Meredith, 1979, cité par Mauvais, 1991)

Figure 4. Corps de Heinz en périphérie du globule rouge. Coloration de Wright, 500x



iv. Inhibition de la pompe Na^+/K^+ ATPase membranaire

Cette pompe protéique, essentielle à la vie cellulaire, est inhibée par le plomb, ce qui entraîne une hémolyse et une perturbation de la transmission synaptique par rupture de l'homéostasie ionique (déficience en potassium cellulaire) (Kaminsky et al, 1993)

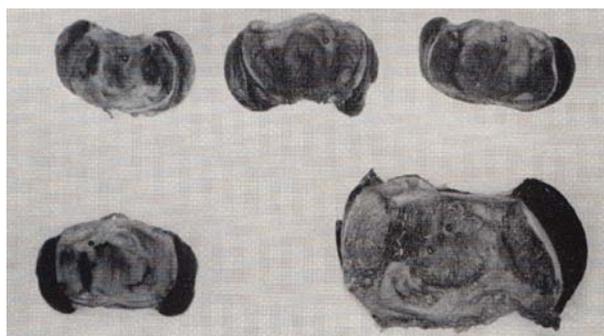
b. Toxicité tissulaire et lésions microscopiques

i. Action locale des billes de plomb

Lors de l'érosion des billes de plomb, les muqueuses du gésier et du proventricule sont enflammées et amincies sous l'action des sels de plomb libérés. (Bellrose, 1959)

Les points noirs sur la Figure 5 indiquent les zones de destruction de la muqueuse.

Figure 5. Gésiers ouverts avec les grains de plombs qu'ils contenaient. (Bellrose, 1959)



ii. Action sur les lignées sanguines

Les perturbations occasionnées par le plomb sur les lignées de cellules sanguines touchent principalement la lignée érythroblastique avec une baisse de l'hématopoïèse et une hémolyse, à l'origine d'une anémie sévère. (Kaminsky et al, 1993)

iii. Action sur le système cardio-vasculaire et musculaire

L'interaction du plomb avec les systèmes Ca-dépendants entraîne une vasoconstriction artériolaire, provoquant une hypertension artérielle ainsi qu'une hypoperfusion des coronaires. Lors d'intoxication aiguë, on observe des phénomènes de nécrose des cellules endothéliales avec des exsudations péri-vasculaires et des micro-hémorragies focales

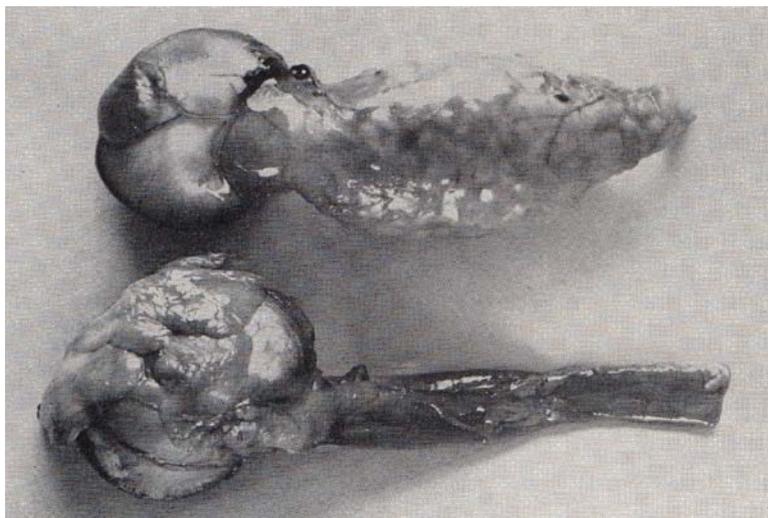
En outre, on constate une nécrose des cellules musculaires, notamment cardiaques, à l'origine des principaux symptômes observés (cachexie, abattement...) (Kaminsky et al, 1993)

iv. Action sur le système digestif

Un dysfonctionnement du gésier est noté, ce qui entraîne un syndrome occlusif par un engorgement de nourriture en amont du gésier et du proventricule (Bellrose, 1959), comme le représente la Figure 6.

Figure 6. Deux gésiers de canard: en haut, issu d'un canard atteint de saturnisme, en bas, issu d'un canard sain.

(Bellrose, 1959)



v. Action sur le système nerveux

Le plomb, lors d'intoxication aiguë ou chronique, est à l'origine de la nécrose des cellules endothéliales et d'une exsudation périvasculaire, ce qui entraîne un œdème cérébral.

En outre, lors d'intoxication subclinique, le plomb entraîne parfois une baisse du nombre de synapses, se traduisant par des modifications comportementales.

Ces lésions, associées au blocage neuromusculaire, peuvent expliquer de nombreux symptômes du saturnisme : parésie, atrophie musculaire... (Hunter et Wobeser, 1979)

vi. Action sur le métabolisme osseux

Le plomb est en effet stocké, par compétition avec le calcium, sous forme de phosphate triplombique dans la trame osseuse où il possède une demi-vie très longue : il s'y accumule à mesure des expositions au plomb tout au long de la vie de l'animal. Cependant, il peut être remis en circulation lors d'une stimulation intense du métabolisme osseux (ponte...) (Fullmer, 1995)

vii. Lésions rénales et hépatiques

Malgré une néphrotoxicité faible, le plomb peut être responsable, lors d'exposition chronique, de lésions glomérulaires entraînant une diminution du flux plasmatique rénal (Kaminsky et al, 1993) et une tubulopathie avec nécrose. (Locke et al, 1967)

On observe aussi une nécrose des hépatocytes, associée à l'accumulation des pigments libérés en grande quantité par l'hémolyse. (Duranel, 1999b)

viii. Action sur le système reproducteur et sur la croissance

La fertilité des mâles ne semble pas affectée, contrairement à celle des femelles. Ainsi, la taille de ponte est corrélée de manière négative à la plombémie des canes colvert. Les œufs sont également affectés, leur taille et leur masse étant diminuées. (Mézières, 1999)

Un éventuel effet du plomb sur la fécondation n'a pas été montré chez les oiseaux, cependant le plomb accroît la mortalité embryonnaire précoce (dans les dix premiers jours). D'autre part, les malformations embryonnaires seraient plus fréquentes suite à une forte exposition au plomb. (Buerger et al, 1986)

8. *Signes cliniques et tableau nécropsique*

Le tableau nécropsique et les symptômes d'une intoxication par les plombs de chasse seront assez différents selon qu'il s'agisse de saturnisme aigu ou chronique.

a. Signes cliniques

i. Intoxication aiguë

Une intoxication aiguë survient lors d'ingestion d'un grand nombre de plombs dans un laps de temps relativement bref.

Les symptômes nerveux sont alors prédominants, avec une asthénie et une incapacité à se déplacer, évoluant vers un coma puis la mort en 2 à 3 jours. (Duranel, 1999b)

Dans les conditions sauvages, ces animaux deviennent rapidement des proies faciles.

ii. Intoxication chronique

La forme chronique du saturnisme est la plus fréquemment observée et survient après l'ingestion réitérée d'un faible nombre de plomb (le plus souvent 1 ou 2).

L'atteinte sera essentiellement nerveuse et digestive, associées à une perte de poids importante, et évolue soit vers la mort, soit vers un rétablissement progressif. (Sanderson & Bellrose, 1986).

L'évolution des symptômes est résumée dans le Tableau IX.

Tableau IX. Evolution des symptômes lors de saturnisme chronique chez le Canard colvert.

D'après Duranel (1999b) et Schricke & Lefranc (1993)

<i>Jours</i>	<i>Symptômes</i>
0	<ul style="list-style-type: none"> • Ingestion de la ou des billes de plomb
1-3	<ul style="list-style-type: none"> • Erosion des billes dans le gésier • Absorption des sels de plomb dans le sang • Excrétion du plomb par les reins
2-4	<ul style="list-style-type: none"> • Apparition des premiers symptômes
4-10	<ul style="list-style-type: none"> • Anorexie • Fixation hépatique et osseuse du plomb • Paralysie de la partie supérieure du tractus gastro-intestinal • Dysfonctionnement de la vésicule biliaire • Fèces vertes, +/- diarrhéiques, coloration des plumes cloacales
7-10	<ul style="list-style-type: none"> • Dépression • Isolement et recherche de couvert • Perte de poids décelable
10-14	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de l'habileté au vol puis à la marche • Parésie avec port des ailes en « toit », puis paralysie flasque avec port des ailes en bas • +/- changement de voix
14-20	<ul style="list-style-type: none"> • Epuisement des stocks lipidiques • Amyotrophie sévère des muscles pectoraux (bréchet saillant) • Perte de poids de 30 à 40 %
17-21	<ul style="list-style-type: none"> • Coma • Mort <p style="margin-left: 150px;">Ou rétablissement en quelques semaines (rare en conditions naturelles)</p>

b. Lésions macroscopiques

Lors de saturnisme aigu, la mort survient rapidement (1 à 3 jours). Les oiseaux ont alors une bonne condition corporelle (tissus adipeux et muscles pectoraux normaux), et n'ont pas perdu de poids.

Ils présentent surtout des lésions cardio-vasculaires, avec de nombreuses zones d'infarctus du myocarde. Les plombs de chasses n'ayant pas eu le temps d'être rejetés, on les retrouve en grande quantité dans le gésier. (USFWS, 1986)

En revanche, lors d'ingestion d'un faible nombre de plombs, le saturnisme se traduit par un processus chronique, cachectisant. (USFWS, 1986 – Sanderson & Bellrose, 1986 – Locke et al, 1967 – Hunter et Wobeser, 1979)

Les lésions macroscopiques les plus fréquemment rencontrées chez les Anatidés intoxiqués par le plomb sont exposées dans le **Tableau X**.

Tableau X. Fréquence des lésions chez des anatidés trouvés morts ou moribonds en fonction de l'étiologie (saturnisme ou autres causes).

D'après Duranel (1999b)

<i>Lésions (et ratio de valeur diagnostique ^a)</i>	<i>Fréquence des lésions (%)</i>	
	Intoxiqués par le plomb ^b	Autres causes
Occlusions alimentaires		
Occlusion alimentaire de l'œsophage (14)	40	2.8
Occlusion alimentaire du proventricule (11)	38	3.4
Occlusion alimentaire du gésier (18)	24	1.3
Autres lésions du système digestif		
Atrophie du foie (3.7)	56	15
Amincissement de la paroi du gésier (4.1)	61	15
Coloration du foie par des pigments biliaires (9.6)	25	2.6
Distension de la vésicule biliaire (9.6)	80	46
Coloration de la muqueuse du gésier par la bile (4.2)	71	17
Coloration des fèces par de la bile (6.5)	20	3.1
Lésion du système circulatoire		
Taches blanches sur le cœur (nécrose myocardique) (11)	24	2.1
Epanchement péricardique (3.3)	40	12
Œdème sous mandibulaire (17)	2.9	0.17
Anémie (2)	24	12
Affections de la condition corporelle		
Amyotrophie des pectoraux (2.1)	72	35
Absence de graisse mésentérique (1.8)	70	38
Absence de graisse sous-cutanée (1.8)	71	40
effectifs	421	620

9. Diagnostic du saturnisme

a. Sur animal vivant

i. Examen radiographique

Cet examen physique permet de détecter la présence de billes de plomb, radio-opaques, dans le gésier.

Cependant, cet examen est peu fiable pour objectiver une intoxication saturnine, car il existe de nombreux faux positifs. En effet, certaines particules de grit radio-denses peuvent être confondues avec des fragments ou des grains de plombs érodés. En outre, les billes de plomb étant rapidement éliminées du gésier (cf. I.6.b.), l'examen radiographique n'est pas toujours le reflet du degré d'exposition de l'individu. (Pain et Eon, 1993)

L'examen radiographique sur des individus vivants est néanmoins utile lors d'études expérimentales, afin de vérifier que les lots témoins ne sont pas exposés, et que les lots testés le sont. (Mézières, 1999)

ii. Hématocrite et hémoglobinémie

Ces deux paramètres diminuent généralement lors d'intoxication chronique au plomb. Cependant, en raison de leur variabilité très importante (selon l'espèce, l'individu ou la saison) même chez les oiseaux sains, leur usage diagnostique est limité. (Pain, 1989)

iii. Protoporphyrinémie

Le plomb, en inhibant certaines enzymes intervenant dans la synthèse de l'hémoglobine, provoque l'accumulation dose-dépendante de substrats précurseurs, et notamment de la protoporphyrine IX (cf. Figure 3)

Celle-ci peut alors se lier avec le zinc, pour former la PPZ (protoporphyrine-zinc) qui a la faculté d'être fluorescente et donc quantifiable par dosage avec un hématofluoromètre. (Roscoe et al., 1979) On constate donc lors d'une intoxication au plomb, une augmentation de la concentration de la PPZ, avec un maximum environ une semaine après le pic de plombémie, soit vers le vingtième jour après le début de l'exposition au plomb.

Ce dosage est moins sensible et moins précoce que la mesure de l'acide aminolévulinique déshydratase (ALAD) ou la plombémie (Roscoe et al., 1979) mais présente l'avantage d'être beaucoup plus simple et moins onéreux. Cela en fait donc un test de choix pour estimer la proportion d'oiseaux exposés à une dose suffisante pour éventuellement engendrer une intoxication. (Mauvais, 1991)

iv. Plombémie

La plombémie traduit le flux de plomb dans l'organisme, et donc la quantité de plomb biodisponible circulant dans l'organisme. Son augmentation est détectable de façon précoce (dès huit heures après ingestion des plombs de chasse selon Roscoe et al., 1979), puis atteint rapidement un pic (2 à 3 jours après ingestion selon Roscoe et al., 1979).

En l'absence de nouvelle intoxication, la plombémie retrouve sa valeur normale en 5 à 7 semaines. (Roscoe et al., 1979 – Pain, 1987)

v. Dosage de l'acide aminolévulinique déshydratase

Cette enzyme est fortement inhibée lors d'intoxication au plomb, ce qui rend le dosage de l'activité de cette enzyme très sensible. Cette méthode permet de détecter des expositions même modérées, et ceci très précocement et de façon fiable (Pain, 1989 – Yamamoto et al., 1993). L'activité de l'ALAD redevient normale environ 4 mois après l'ingestion des plombs.

Cependant, les difficultés techniques et le coût élevé de ce test le rendent difficile mettre en place sur le terrain (Dieter et Finley, 1978)

b. Sur animal mort

i. Examen nécropsique

Il est possible de poser un diagnostic anatomopathologique à partir des lésions observées (cf. Tableau X) Néanmoins, aucune lésion n'est absolument pathognomonique de l'intoxication par le plomb (Beyer et al., 1998) aussi un diagnostic nécropsique doit toujours être confirmé par une détermination de la concentration en plomb dans les tissus. (Duranel, 1999b)

ii. Examen du contenu du gésier

Ce dénombrement a été et est toujours très utilisé dans les études des taux d'ingestion à grande échelle. Plusieurs techniques sont possibles, avec une plus ou moins grande sensibilité. Ainsi, l'examen visuel (à l'œil nu ou à la loupe binoculaire), est moins sensible que l'examen radiographique du contenu étalé d'un gésier (Mézières, 1999). Brewer (1981) a en outre développé une technique de séparation hydraulique, hautement sensible et très spécifique, qui permet de récupérer les plus petits débris de plombs de chasse et de les différencier du grit ou des billes d'acier, de façon rapide et peu coûteuse.

iii. Dosage des concentrations tissulaires en plomb

L'analyse des concentrations en plomb est possible dans différents tissus, et apporteront des informations variées :

- ➔ le foie : le foie joue un rôle très important dans la détoxification de l'organisme et le dosage du plomb dans cet organe permet de mettre en évidence une exposition récente
- ➔ l'os : le dosage du plomb dans l'os témoigne de la quantité cumulée de plomb auquel l'organisme a été soumis tout au long de sa vie. En effet, le plomb est stocké rapidement dans les os sous forme de phosphate triplombique et possède une demi-vie très longue, s'accumulant au fur et à mesure des contaminations successives.
- ➔ Les phanères (bec et plumes) : du fait de leur contamination en plomb d'origine environnementale, leur étude présente moins d'intérêt.

c. Valeurs seuils de toxicité

La difficulté de l'évaluation des doses toxiques est qu'il n'existe pas de relation simple et précise entre les divers indicateurs d'exposition et les effets globaux précliniques et cliniques sur la santé des individus.

La qualification de « saturnisme » nécessite la prise en compte de plusieurs indicateurs d'exposition, et notamment des stress (alimentation, environnement, parasitisme...) (Duranel, 1999a)

Les diverses études d'évaluation des doses toxiques peuvent être utilisées pour situer non pas un seuil de signification d'intoxication mais une plage de concentrations tissulaires compatibles ou non avec une possibilité d'intoxication des animaux :

• Concentrations seuils à partir desquelles l'accumulation de plomb peut être considérée comme anormale et donc susceptible de s'accompagner d'effets néfastes chez les canards [1mg/kg = 1ppm] :

Foie : ≥ 2 mg/kg ou $\mu\text{g/g}$ de matière humide soit l'équivalent de 6-7 mg/kg ou $\mu\text{g/g}$ de matière sèche (Pinault, 1996)

Pain (1991) note la plus grande fiabilité des teneurs de plomb dans le foie en ppm/MS (matière sèche) plutôt qu'en ppm/MF (matière fraîche).

Os ≥ 20 mg/kg ou $\mu\text{g/g}$ de matière sèche (Pinault, 1996)

Plombémie ≥ 0.2 ppm (Sanderson, 1986)

Protoporphyrinémie ≥ 40 ppm (Sanderson, 1986)

• Concentrations critiques susceptibles d'être observées lors de saturnisme à expression clinique, éventuellement mortel :

Foie ≥ 20 mg/kg ou $\mu\text{g/g}$ de matière humide [20 ppm/MH] (Pinault, 1996)

Foie ≥ 6 ppm/MF soit 10-20 ppm/ MS (Sanderson, 1986 – Pain, 1991a)

Plombémie ≥ 0.5 ppm (Sanderson, 1986)

Protoporphyrinémie ≥ 500 ppm (Sanderson, 1986)

D'autres travaux ont été réalisés afin de déterminer ces valeurs seuils de toxicité, mais des variations fortes sont notées selon les auteurs, puisque dans le Tableau XI, l'intoxication saturnine est considérée comme, ceci en fonction des critères utilisés et des conditions expérimentales.

Tableau XI. Concentrations en plomb dans les tissus proposées comme valeurs seuils indiquant une exposition et/ou une intoxication au plomb chez les Anatidés : Synthèse bibliographique.

D'après Duranel, 1999b

<i>Tissu</i>	<i>Valeurs seuil</i>	<i>Référence</i>
Sang ($\mu\text{g/dL}$)	≥ 10 (élevée, témoignant de l'ingestion de plombs de chasse)	Daury et al. (1993)
	≥ 20 (intoxication clinique)	Dieter (1979, cité par Sanderson et Bellrose, 1986)
	> 40 (indiquant une intoxication)	Cook and trainer (1966), Birkhead (1983) et Spray et Milne (1988) cités par Pain (1996)
	≥ 50 (associée à une baisse de l'activité de l'AlaD, compatible avec des lésions cérébrales)	Dieter (1979, cité par Sanderson et Bellrose, 1986)
	> 50 (associée à une baisse de 10% du poids chez des canards sauvages)	Havera et al. (1992)
Foie (mg/kg MH ^a)	$> 1,5$ (élevée, témoignant de l'ingestion de plomb de chasse)	Guitard et al. (1994)
	≥ 2 (au dessus d'une contamination normale)	Bagley (1967, cité par Pain et al., 1992)
	≥ 2 (atteinte de la croissance chez de jeunes rapaces)	Hoffmann (1985, cité par Pain et Amiard-Trinquet, 1993)
	≥ 6 (si accompagnée de symptômes)	Windingstad et Hinde (1987, cités par Gordus, 1993)
	$> 6-20$ (intoxication aiguë)	Longcore et al. (1974)
Os (mg/kg MS ^b)	$\geq 8-9$ (plus petit taux dans le foie de bernaches mortes de saturnisme)	Szymczak et Adrina (1978, cités par Gordus, 1993)
	≥ 10 (taux minimal chez 95% des oiseaux morts de saturnisme)	Beyer et al. (1998)
	≥ 20 (taux minimal chez 75% des oiseaux morts de saturnisme)	Shealy et al. (1982, cité par Sanderson et Bellrose, 1986)
Os (mg/kg MS ^b)	> 20 (exposition et absorption excessive)	White and Stendell (1977) et Stendell et al. (1979), cités par Pain (1996)

^a MH : matière humide, ^b MS : matière sèche

Cependant, comme nous l'avons précisé précédemment, il est hasardeux de relier l'intensité des symptômes et lésions aux différents indicateurs d'exposition, du fait des nombreux facteurs qui entrent en compte (stress, alimentation, parasitisme...)

Ainsi, des oiseaux exposés pendant longtemps à de faibles doses peuvent avoir les mêmes symptômes et lésions que des oiseaux exposés à de hautes doses sur une courte période, tout en ayant des concentrations en plomb dans les tissus plus faibles. (Pain, 1996)

Pain (1996) a donc proposé, après synthèse des différents travaux, d'utiliser de préférence des intervalles de valeurs permettant de déterminer un stade d'intoxication. Ceux-ci sont précisés dans le **Tableau XII**.

Tableau XII. Concentration en plomb dans les tissus permettant la détermination d'un stade d'intoxication.

D'après Pain, 1996 et Bana, 2004.

<i>Tissu</i>	<i>« bruit de fond »</i>	<i>Intoxication subclinique</i>	<i>Intoxication clinique</i>	<i>Intoxication sévère</i>
Sang (µg/dL)	< 20	20-50	50-100	> 100
Foie (mg/kg MH)	< 2	2-6	6-15	> 15
Foie (µg/g MS)	< 6	> 6		> 30
Rein (µg/g MS)	< 6	> 6		> 20
Os (µg/g MS)	< 10	10 à 20		> 20

MS= Matière sèche

MH = Matière humide

10. Conséquences du saturnisme à long terme

L'étude du saturnisme soulève la question de ses conséquences à long terme sur les populations d'oiseaux d'eau. Différentes études ont été menées afin de déterminer l'impact du saturnisme sur différentes fonctions des oiseaux d'eau : reproduction, comportement alimentaire..., qui pourraient entraîner une baisse significative des populations.

a. Perte directe d'individus

Bellrose (1959), estime à 2 voire 3 millions d'individus morts des suites directes du saturnisme, sur les quelques 100 millions d'Anatidés présents aux USA, ce qui donne une évaluation de **2 à 3 %** de morts par saturnisme.

Les services américains (USFWS, 1986) ont étayé cette estimation en 1986, en compilant les informations issues de 20 ans de recherche supplémentaires, et ces chiffres sont confortés dans la publication de Sanderson et Bellrose en 1986

Des études canadiennes (Scheuhammer et Norris, 1995) ont estimé à 10 le pourcentage de gibier d'eau qui souffre d'intoxication saturnine, avec un nombre d'animaux mourant de saturnisme à 360 000 oiseaux sur une population migratrice de 60 millions d'individus.

En France, le réseau SAGIR³ a recensé 27 cas de saturnisme sur un échantillon de 921 anatidés trouvés morts sur une période de 9 ans puis soumis à analyse, ce qui représente 2.9%.

³ Le réseau SAGIR () est un réseau national de surveillance des mortalités de la faune sauvage, créé en 1986 par l'Office National de la Chasse, basé sur la découverte d'animaux morts par les chasseurs et financé par les Fédérations Départementales des Chasseurs

Cependant, ce chiffre est sûrement sous évalué car les analyses de la plombémie n'ont pas été systématiques lors de cette étude (la cause de la mort de 347 / 921 Anatidés n'a pas pu être déterminée) (Mondain-Monval et Lamarque, 2004)

Ce chiffre de 3% montre une prévalence qui reste faible, mais le nombre effectif d'oiseaux morts par an dans le monde se chiffre en millions, ce qui ne doit pas être négligé ou occulté.

b. Vulnérabilité face à la chasse et aux prédateurs

Bellrose a mis en évidence la vulnérabilité des oiseaux intoxiqués au plomb face aux chasseurs (**Tableau XIII**)

Tableau XIII. Risque relatif d'un canard intoxiqué au plomb d'être tué par un chasseur par rapport à un canard sain.
(D'après Bellrose, 1959)

<i>Nombre de grains de plomb ingéré</i>	<i>1 grain</i>	<i>2 grains</i>	<i>4 grains</i>	<i>moyenne</i>
Risque relatif	1,19 à 1,84	1,89	2,12	1,68

Ainsi, un canard intoxiqué au plomb a en moyenne 1,68 fois plus de chance d'être tué par un chasseur qu'un canard sain

De même qu'un animal atteint de saturnisme a plus de risque de se faire tuer par un chasseur, un animal intoxiqué est plus vulnérable face à ses prédateurs naturels.

Cela s'explique par la prostration et les paralysies flasques qu'induit le saturnisme (cf. I.8.a.ii)

c. Discrétion des pertes dues au saturnisme

(Pain, 1991b – Sanderson & Bellrose, 1986)

Nombreux sont ceux qui doutent de l'importance de ce danger pour la faune sauvage, arguant que très peu de carcasses de gibier d'eau sont retrouvées.

Une étude menée en Camargue 1991 par D. Pain a permis de démontrer le temps moyen nécessaire à la disparition de carcasses d'oiseaux. Ainsi, en plaine, il ne faut que 36h pour que les carcasses disparaissent, et lorsqu'elles sont cachées par la végétation, à peine plus de 3 jours. Cela explique pourquoi la mortalité du gibier d'eau due au saturnisme passe inaperçue au vu des observateurs, essentiellement suite à l'action des prédateurs et des charognards.

De même, Sanderson et Bellrose rappellent que lorsqu'un canard présente un saturnisme aigu, il s'isole et se cache dans la végétation, et est rapidement la cible de prédateurs.

La mortalité des oiseaux d'eau ne devient visible que lorsque le nombre de morts dépasse les capacités alimentaires des prédateurs et charognards locaux.

Une autre étude américaine où 100 cadavres d'oiseaux ont été dispersés de façon aléatoire sur une surface de 40 Ha (végétation dense ou non) a montré que 30 minutes après la dispersion, seuls 6 cadavres ont été retrouvés par l'équipe de recherche. Comme il est

impossible que des prédateurs aient pu faire disparaître en un si court laps de temps ces 94 carcasses, cela prouve à quel point il est difficile de retrouver des cadavres d'oiseaux dissimulés par la végétation.

Cela justifie la qualification de « pernicieux » les pertes dues au saturnisme.

d. Impact sur la migration

L'impact du saturnisme sur les possibilités de migration des individus intoxiqués est facilement mis en évidence par la différence de distance parcourue par un groupe de canard témoin (non intoxiqué) par rapports à des groupes similaires mais ayant ingéré des grains de plomb : ainsi, à peine 5% d'un lot de canards colverts, ayant chacun ingéré 4 grains de plomb, ont migré à plus de 50 miles du lieu de leur lâcher. (Bellrose, 1959)

Bellrose rappelle que le saturnisme induit faiblesse et fatigue chez les sujets atteints, ce qui diminue la capacité des oiseaux intoxiqués à migrer. Par ailleurs, plus les oiseaux ont ingérés de plomb, moins ils sont capables d'effectuer le moindre mouvement. Miquel (2001) rapporte aussi des difficultés d'orientation qui peuvent nuire à une migration optimale.

e. Impact sur la reproduction

Une récente étude a été menée en France afin de déterminer, en conditions expérimentales se rapprochant le plus possible des conditions naturelles, les conséquences d'une faible ingestion de grains de plomb (1 et 2 plombs) sur la reproduction des Canards colverts.

Ainsi, il n'a pas été mis en évidence de corrélation entre la plombémie et la fertilité des mâles.

En revanche, chez les femelles, il a été mis en évidence une corrélation entre le nombre de grains de plombs ingérés, l'augmentation de la plombémie et une diminution de la ponte.

Ainsi, une cane intoxiquée à un niveau subclinique au moment de la ponte des oeufs verra sa fertilité diminuer.

Mézières en conclut donc que « le risque pour l'espèce est non négligeable car une diminution du nombre d'œufs pondus par cane est une atteinte au renouvellement des populations »

Par ailleurs, cette étude a montré que l'exposition au plomb entraîne la formation d'œufs plus petits et moins lourds, mais de densité identique (cette équivalence de densité fait que les chances de survie de l'embryon ou du caneton ne sont pas modifiées). (Mézières, 1999)

f. Impact sur le comportement alimentaire et sur la condition corporelle hivernale

Le comportement alimentaire et la condition corporelle des Anatidés jouent un rôle fondamental dans la survie et le succès reproducteur de ces oiseaux. (Duranel, 1999b)

Cette étude menée en 1999 sur des canards colverts ayant ingéré 1 à 3 grains de plomb, a montré que la vitesse d'ingestion (témoin de la compétitivité des animaux dans leur milieu) est altérée chez des sujets ayant ingéré du plomb, et corrélée de façon négative à la plombémie. De même, les réserves corporelles (graisse et muscles) sont diminuées de façon

perceptible quatre semaines après l'ingestion, proportionnellement à plusieurs indicateurs toxicologiques du diagnostic du saturnisme.

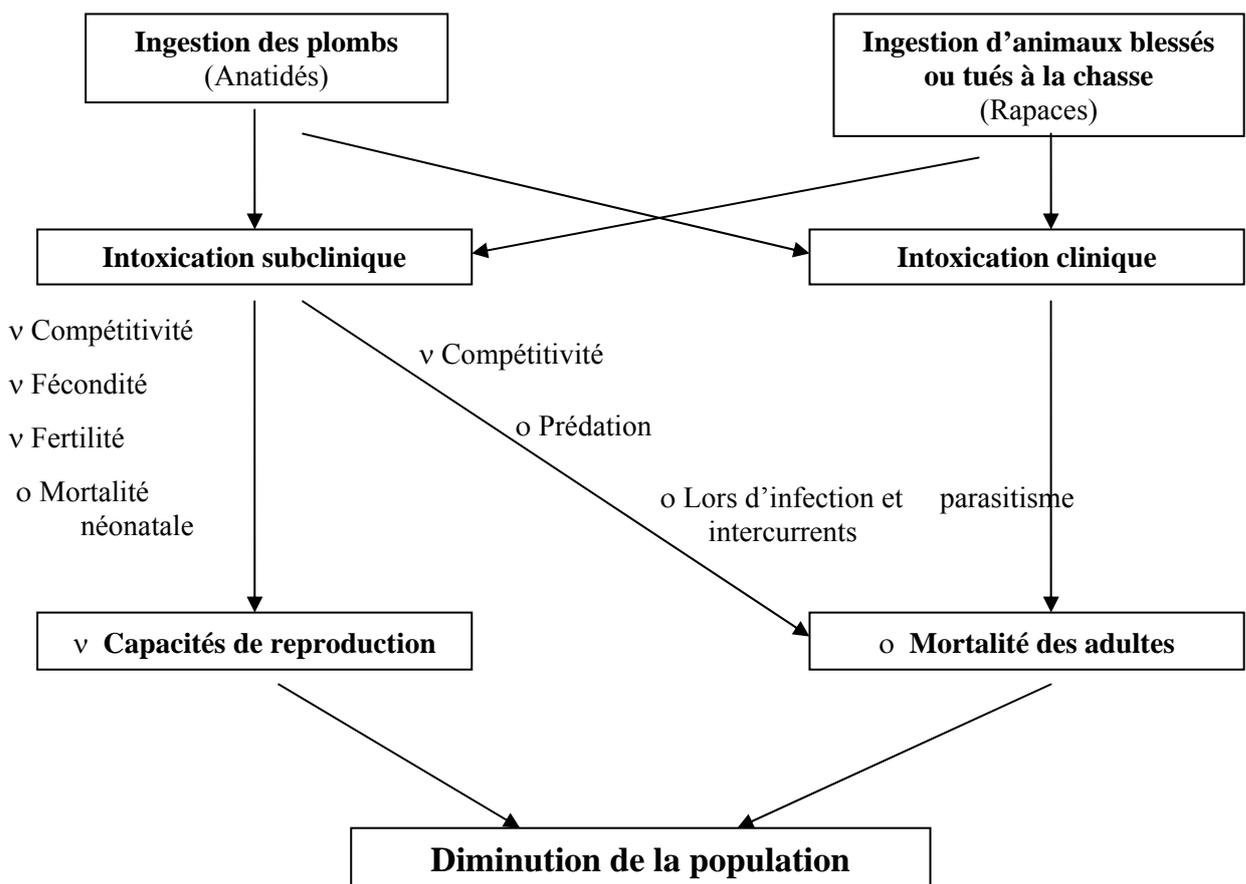
Duranel (1999b) met ainsi en exergue une réelle atteinte de la compétitivité des Anatidés lors d'intoxication par les plombs de chasse.

L'ensemble de ces constatations montre que le saturnisme suite à ingestion de grains de plomb n'est pas anodin, et que les pertes sont pernicieuses mais bien réelles. Une étude de Tavecchia et al (2001) a ainsi montré une survie relative des individus porteurs de plomb inférieure de 19 % à celle des individus sains. A cela s'ajoute l'impact sur le renouvellement des populations.

Il existe donc un réel danger pour les populations d'Anatidés (Voir Figure 7). Sanderson et Bellrose (1986) remarquent cependant que l'impact du saturnisme sur la chute de population est relative aux fortes populations des espèces les plus concernées par l'ingestion de billes de plomb (colvert, mandarin, fuligule et pilete). En effet, ces 8 espèces représentent 43% de la population des Canards chassés aux USA.

Figure 7. Dangers du saturnisme pour les populations d'Anatidés.

D'après Duranel (1999a)



g. Risques pour le consommateur de gibier atteint de saturnisme

La consommation de gibier tué à la grenaille de plomb présente pour les humains trois sources possibles d'exposition au plomb :

- Ingestion de tissus d'animaux exposés au plomb ou intoxiqués par accumulation de plomb

La dose hebdomadaire tolérable (DHT) de plomb a été établie (OMS, 1977) à 50µg/kg de poids corporel, par semaine. Mais pour l'interprétation des risques liés aux teneurs en plomb des foies et gésiers de canards, il n'existe pas de références appropriées. Dans une autre espèce, il a cependant été fixé au Canada à 0,5mg/kg de plomb / kg de muscle de poisson.

Chez les canards colverts intoxiqués expérimentalement, le plomb musculaire se situait à 1,4 mg/kg (Longcore et al., 1974). Cela est donc supérieur aux recommandations pour le poisson.

On peut aussi se tourner vers les seuils de référence pour les teneurs en plomb des denrées d'origine animale (Bovins, porcins, équins) recommandées par le Conseil supérieur d'Hygiène Publique de France : 250 ppb pour le muscle, 500 ppb pour le foie (1 ppm en UE) et 1 ppm pour le rein.

Pinault (1996) présente ainsi les teneurs en plomb de foies et de gésiers chez des colverts (**Tableau XIV**)

Tableau XIV. Teneurs en plomb de différents organes chez des Canards colverts.
D'après Pinault (1996)

<i>Teneurs en plomb (ppb/matière humide)</i>	<i>0 à < 250</i>	<i>0 à < 500</i>	<i>0 à < 1000</i>
% des foies		56.6	70.4
% des gésiers	56.5	72	82.5

Cependant, Mondain-Monval (2004) et Pinault (1996) affirment que la consommation de foie ou de gésiers d'oiseaux atteints de saturnisme ne présente pas de danger significatif pour l'homme, du fait de la part négligeable de ces mets dans l'alimentation.

- Ingestion de tissus contenant d'infimes fragments de plomb métallique par suite du passage de la grenaille dans ces tissus

Lors de l'impact d'un grain de plomb sur un os, des micros fragments, non visibles à l'œil nu, et non décelable sous la dent, se retrouvent dans les tissus avoisinants. Johansen et al. (2004) ont montré que les risques liés à l'ingestion de ces micro-fragments de plomb, n'étaient probablement pas négligeables. Ceci a aussi été mis en évidence dans certaines populations ne se nourrissant que des produits de la chasse (Inuits...) (Detours, 2002)

- Ingestion de la grenaille proprement dite

Certains consommateurs de gibier avalent, par inadvertance, des grains de plomb entiers. Il a ainsi été rapporté par un hôpital de Terre Neuve, la présence de 1 à plus de 200 plombs dans l'appendice de 62 patients atteints de saturnisme. (Reddy, 1985).

11. Zones de risque important de saturnisme pour la faune

Comme nous l'avons vu précédemment avec les seuils de toxicité (cf. I.9.c.), le choix des outils et des critères permettant de diagnostiquer le saturnisme chez les Anatidés sauvages est très difficile et sujet à de nombreux biais. De plus, il est hasardeux de corrélérer des indicateurs d'exposition menés lors d'études d'épidémiologie-surveillance à une probabilité d'expression de symptômes.

Il est cependant nécessaire de définir des limites au-delà desquelles un programme de lutte contre le saturnisme doit être instauré. Les Etats Unis ont été les premiers à déterminer des critères de décision qui entraînent, dans les zones où ils sont atteints, un remplacement des munitions au plomb par des munitions non toxiques.

Selon l'USFWS (United States Fish and Wildlife Services) (1986), les seuils de prévalence dont le dépassement justifie la prise de mesures visant à diminuer l'exposition – en pratique la restriction ou le remplacement de l'emploi des plombs de chasse – sont les suivants :

- ≥ 3 oiseaux retrouvés morts par saturnisme au cours de l'année
- ≥ 5% **gésiers** contenant au moins une bille de plomb sur un échantillon de 100 oiseaux minimum.
- ≥ 5% **foies** dont la teneur en plomb dépasse la valeur seuil de 2 ppm/MH
- ≥ 5% canards examinés avec une **plombémie** dépassant 20 µg/dL
- ≥ 5% canards présentant une protoporphyrinémie supérieure ou égale à 40 µg/dL.

En France, les zones considérées « à risque » sont en fait assimilées aux zones humides en général, aux zones RAMSAR plus précisément. (cf.II.5.a.)

Ces zones sensibles correspondent aux zones avec une forte pression de chasse, où se retrouvent beaucoup de canards, et particulièrement là où zones de gagnage et zones de chasse sont confondues (Duranel, 1999a).

Il serait cependant souhaitable que la législation prenne en compte l'écologie du gibier concerné : Certains scientifiques regrettent ainsi que l'interdiction de la grenaille de plomb soit effective dans les lagunes où les oiseaux ne font que se reposer, alors qu'elle n'a pas cours dans les rizières adjacentes où ils se nourrissent. (AEWA, 2002)

De même, Mézières (1999) recommande l'interdiction de la grenaille de plomb dans les zones d'hivernage et de ponte des canards femelles, du fait de l'impact différé de l'ingestion de plomb sur le succès reproducteur des canes.

II. Deuxième partie : les munitions de substitution au plomb

Le point du nombre exact d'oiseaux intoxiqués et mourant de saturnisme chaque année n'est pas l'important. Le phénomène est prouvé dans de nombreux pays et il engendre des pertes inutiles d'animaux. Il s'est agi alors de savoir quelles mesures, simples, efficaces et économiquement viables, pouvaient être mises en place pour stopper ces intoxications.

1. Moyens de lutte contre le saturnisme

Plusieurs solutions potentielles sont généralement évoquées dans la littérature vis-à-vis du problème de l'intoxication des Anatidés et des rapaces par la grenaille de plomb (Sanderson et Bellrose, 1986 – Mudge, 1992) :

- L'aménagement de l'habitat pour réduire la disponibilité et la toxicité des plombs perdus.
- Le revêtement, placage ou autre modification des plombs pour en réduire la toxicité.
- Le traitement des oiseaux intoxiqués
- Une réglementation interdisant l'utilisation de la grenaille de plomb, jumelée avec la mise sur le marché de munitions non toxiques.

a. Aménagement de l'habitat

L'aménagement de l'habitat a pour but de réduire la disponibilité du plomb pour les oiseaux d'eau, et permettre la mise à disposition de ces oiseaux de grit, en qualité et quantité adéquates, afin de diminuer les effets néfastes des plombs déjà ingérés (cf. I.5.a.ii.).

Nous avons vu qu'en fonction du type de sol, les grains de plomb vont rester plus ou moins en surface, ce qui va modifier la disponibilité des grains à la consommation.

La culture (labour et semis) de terres régulièrement inondées pourrait permettre la redistribution des grains dans les différentes couches du sol.

Cependant ce type d'entretien peut endommager sérieusement les habitats humides naturels et semi naturels, et n'est applicable que dans un nombre restreint de localisations. Par ailleurs, le travail de la terre pourrait, à l'inverse, faire remonter à la surface des plombs ensevelis depuis des années.

La gestion des niveaux d'eau a aussi été évoquée : en effet, la plupart des empoisonnements en masse d'Anatidés se produisent dans des cas rares où des niveaux d'eau inhabituellement bas permettent l'accès aux grains déposés dans les sédiments. La surveillance et l'augmentation des niveaux d'eau pour mettre les plombs hors de portée, ou bien le drainage de certaines zones afin d'éloigner les Anatidés pourraient pallier à ce problème. Cependant, cela ne s'applique, ici encore, qu'à certaines localisations particulières. De plus, l'eau étant un bien de plus en plus précieux, en France, il est difficile d'imaginer l'utiliser à ces fins.

Un autre aménagement de l'habitat consiste à mettre à disposition des oiseaux d'eau du grit riche en calcium (type gravier), puisqu'une alimentation riche en grit accélère l'élimination des grains hors du tube digestif de l'oiseau et que le calcium entre en compétition avec le plomb au moment de l'absorption et de l'utilisation métabolique. Cela est

vérifié en conditions expérimentales mais n'est pas réalisable en milieu naturel, ne serait-ce que par la variabilité des régimes alimentaires en fonction des espèces aviaires.

De plus le grit peut aussi accélérer l'érosion des grains de plomb dans le gésier. (Mudge, 1992)

Finalement, l'aménagement de l'habitat s'avère être une solution peu convaincante, incomplète, surtout sur le long terme, mais avant tout onéreuse et pouvant potentiellement compromettre l'équilibre écologique des habitats humides.

b. Modification des plombs pour en réduire la toxicité

Scheuhammer et Norris (1995) rapporte les tentatives pour modifier les grains de plomb afin de diminuer leur toxicité tout en conservant leurs qualités balistiques.

Ainsi, on a revêtu la grenaille de plomb d'autres métaux ou de produits non métalliques comme le plastique. La grenaille recouverte d'étain, de nickel ou de plastique s'est révélée avoir les mêmes effets toxiques après ingestion que la grenaille de plomb pur, car les revêtements disparaissaient dans le gésier sous l'action de meulage.

La fabrication d'un alliage plomb-magnésium, qui se dissoudrait dans l'eau fut un échec. (Andrews et Longcore, 1969 – Bellrose, 1959)

Il a également été tenté de réduire la toxicité des plombs en les combinant à un agent chélateur biochimique (EDTA par exemple) ou à un liant hydrosoluble (phosphate) afin de réduire l'absorption du plomb après ingestion.

Cependant, la mortalité après ingestion de cette grenaille modifiée s'est révélée égale ou supérieure à celle obtenue avec le plomb pur.

c. Traitement des oiseaux atteints de saturnisme

Le traitement individuel des oiseaux intoxiqués, par un agent chélateur tel que l'édétate calcique disodique, peut être envisagé. Sears *et al* (1989, cité par Mudge, 1992) ont ainsi prouvé l'efficacité de ce traitement : disparition des signes cliniques sur 49% des cygnes traités par ce produit. Cependant, cette même étude montre que malgré ce traitement, à partir du moment où un cygne a subi un début d'intoxication, ses chances de survie sont diminuées de 59% par rapport à un animal témoin.

Par ailleurs, ce genre de traitement nécessite beaucoup de temps et de manipulation, ce qui n'est pas adapté à toutes les espèces concernées. De plus, à la vue de la main d'œuvre nécessaire et du coût engendré par cette technique, elle ne peut être envisagée que très ponctuellement, et pour des espèces en danger de disparition. (Mudge, 1992)

d. Utilisation de munitions non toxiques

Le but de ces munitions est de supprimer la source du problème : le plomb. La majorité des cas d'empoisonnement résulte de plombs de chasse récemment déposés (une à deux saisons de chasse) (Lefranc, 1993).

L'usage de grenailles non toxiques restreint la disponibilité des plombs de chasse pour les oiseaux d'eau, tout en conservant le caractère traditionnel de la chasse au gibier d'eau.

La limite à cette solution est l'utilisation effective de ces munitions par les chasseurs.

En conclusion, les premières méthodes présentées ne sont pas applicables, du fait de leur difficile mise en œuvre, de leur coût ou de l'absence de résultat effectif.

La dernière proposition apparaît donc comme la seule valable, et c'est pourquoi les différents fabricants de munitions ont mis leur savoir-faire dans l'élaboration de munitions non toxiques de qualité.

2. Critères de sélection d'une munition non toxique

L'utilisation de munitions non toxiques doit permettre de limiter le dépôt de grains de plomb dans l'environnement. Ces munitions doivent pouvoir être ingérées par la faune sauvage sans qu'aucune modification biochimique, organique ou clinique ne soit observée. Par ailleurs, ces munitions doivent satisfaire à diverses exigences balistiques, de sécurité pour l'utilisateur et les armes, et rester d'un prix abordable.

a. Absence de toxicité

Des études démontrant l'absence de toxicité ont ainsi été menées. Elles devaient prouver l'innocuité du matériau sous la forme et la composition exacte de la grenaille manufacturée.

French (1996) rapporte des expériences menées sur quatre types de grenaille (zinc, étain, polymères de tungstène et fer doux) : ces études d'ingestion de grains ont été menées sur 28 jours, comprenant des contrôles par radiographie afin de contrôler la présence de ces grains dans le gésier de l'animal, et des autopsies.

Les oiseaux ayant ingéré des grains ne doivent présenter aucun signe clinique ou post mortem d'intoxication, comme le groupe témoin.

b. Performances balistiques

Les propriétés balistiques d'un projectile regroupent, lors d'un tir, la pression et la vitesse déployée dans le fusil, la pénétration de la gerbe dans l'air et l'impact sur le gibier.

Le plomb a des caractéristiques balistiques très avantageuses du fait de sa densité et de sa ductilité (propriété des corps qui peuvent être allongés, étendus, étirés, sans être rompus), et lui permettent ainsi une efficacité avec des petits diamètres (plomb n°10) (Baron, 2001)

La densité élevée du plomb lui assure une bonne létalité (capacité à tuer). Or cette capacité à tuer dépend principalement de la capacité des projectiles à pénétrer et endommager définitivement les organes vitaux du gibier. La force de pénétration dépend de l'énergie cinétique (e), fonction de la masse (m) et de la vitesse (v) selon la formule $e = \frac{1}{2} mv^2$

La plupart des munitions de substitution au plomb ont une densité moindre, ce qui diminue leur énergie cinétique. Il faut donc pallier ce handicap par une augmentation de la masse, de la vitesse (voire les deux). (FNC, 2004)

L'acier, par exemple, est environ 30% plus léger que le plomb pour le même diamètre de bille. Ainsi, il faut plus d'espace dans une cartouche pour charger le même poids en acier qu'en plomb. (Krüper, 1992)

Par ailleurs, l'acier présente des forces de frottement dans l'air plus importantes que le plomb, ce qui lui fait perdre son énergie cinétique plus rapidement.

La ductilité du plomb lui assure une déformation adéquate dans le canon du fusil, même avec des chokes⁴ serrés, et lors de l'impact avec le gibier. L'acier est par exemple très dur, ce qui ne lui permet aucune déformation dans le canon mais lui assure une gerbe resserrée. (FNC, 2004)

Différents métaux ont été testés par les fabricants de munitions, pour leur ductilité, leur densité et leur non-toxicité : le cuivre, le zinc, l'étain, le nickel, le fer doux (acier), le bismuth, le tungstène (et polymères) et l'uranium épuisé.

c. Coût des munitions non toxiques

Le plomb a l'avantage d'avoir un coût à l'achat et après manufacture peu élevé. Les munitions de substitution ont toutes un cours mondial plus élevé, ce qui suffit à augmenter leur coût à l'achat. Cela est dû à la moindre disponibilité de certains matériaux (bismuth, tungstène...)

Par ailleurs, la confection de ces munitions de substitution induit parfois des coûts de fabrication importants (polymères...).

Cependant, les prix de manufacture peuvent être amenés à baisser avec l'augmentation des ventes de ces munitions alternatives. (Baron, 2001 – Gamebore, 2004)

3. *Les différentes munitions de substitution*

a. Acier

La grenaille d'acier est en fait de la grenaille de fer doux. Cette grenaille fut la première développée en remplacement du plomb, donc est la plus étudiée et la mieux connue actuellement.

i. Caractéristiques physiques

Le fer a une densité (7.9) plus faible que celle du plomb (11.3). C'est un métal beaucoup plus dur que le plomb, qui ne se déforme pas. (Cf. Tableau XVI) (FNC, 2004)

Du fait de la corrosion potentielle de l'acier, il est nécessaire de respecter des conditions de stockage adéquates. Afin de limiter ce risque, les encartoucheurs enrobent les grains d'une substance anti-corrosion (huile minérale) (Brister, 1992). Il est cependant conseillé, après une longue période de stockage, d'ouvrir une cartouche afin de vérifier l'aspect des grains.

Un autre point, détaillé dans le Tableau XV, a été mis en exergue par des analyses de spectrophotométrie de masse : la grenaille d'acier n'est jamais un métal pur, et des éléments tel le plomb sont souvent présents, bien que sous forme de traces.

⁴ Choke: afin d'assurer une concentration plus ou moins prononcée de la gerbe de grains, les fusils de chasse sont généralement resserrés à la gueule du canon. L'anglicisme *choke* désigne les degrés d'étranglement. *Choke* ou *full choke* pour un étranglement maximal, *1/2 choke*, *1/4 choke*, ou *pas de choke*.

Tableau XV. Composition moyenne des billes d'acier - fabrication Rottweil
D'après Schoof (2005).

<i>Eléments présents dans les billes d'acier</i>	<i>Teneur des billes d'acier (en %)</i>
Fer (Fe)	Min. 97.5
Carbone (C)	0.06
Silicium (Si)	0.3
Manganèse (Mn)	0.3-0.6
Phosphore (P)	Max. 0.035
Soufre (S)	Max. 0.035
Chrome (Cr)	Max. 0.20
Nickel (Ni)	Max. 0.25
Molybdène (Mo)	Max. 0.05
Cuivre (Cu)	Max. 0.30
Plomb (Pb)	Max. 0.03
Aluminium (Al)	Max. 0.1

ii. Implications balistiques

Cette moindre densité de l'acier doit être compensée par une augmentation de la vitesse initiale des billes, afin d'augmenter leur énergie cinétique. L'augmentation de la charge et l'emploi d'une amorce plus puissante donnent aux grains d'acier une énergie cinétique identique à celle des grains de plomb, de 2 numéros inférieurs. (Mondain-Monval, 1999 – BASC, 2000). Il faut cependant que les pressions engendrées soient supportées par les fusils actuels. (cf. II.3.a.iii.)

De plus, les armes ne doivent pas avoir un choke (= étrangleur) plus important que ½ choke.

Afin d'approcher les performances obtenues avec le plomb, il est recommandé au chasseur d'utiliser des cartouches « acier » plus rapides que les cartouches au plomb, et de diminuer de 1 à 2 numéros la taille des billes par rapport au plomb. (Krüper W., 1992)
La distance optimale de tir reste cependant dans les limites de 30 à 35m (FNC, 2004)

Les gerbes des cartouches d'acier sont beaucoup plus resserrées que celle des munitions au plomb. Cela nécessite donc une meilleure visée du gibier et une plus grande anticipation de la position du gibier, (Brister, 1992), c'est-à-dire une correction de tir de 20 à 25m (FNC, 2004)

iii. Impact sur les armes

Une trop grande vitesse des billes, alliée à leur grande dureté, est susceptible de provoquer des déformations sur les fusils à paroi de canon les plus minces et les plus chokés. Il ne s'agit cependant pas d'usure ou encore moins d'explosion contrairement aux rumeurs.

La rumeur toujours persistante selon laquelle « l'acier use les fusils » provient d'une ancienne expérience, rapportée oralement lors d'un colloque, ayant consisté à tirer dans des fusils de la grenaille d'acier sans godet de protection, ce qui n'est pas du tout les conditions réelles de tir de ces munitions. Actuellement, la charge de billes est systématiquement isolée du fût par un godet de protection en polyéthylène suffisamment épais pour protéger les fusils. (Mondain-Monval, 1999)

Toutefois le problème le plus courant, celui du "ring bulge" (ou anneau de renflement, provoqué par le passage trop rapide des billes, indéformables en raison de leur dureté, dans la

section la plus étroite du choke) est de nature purement esthétique et n'entraîne aucun danger au niveau de la sécurité, et n'altère pas les performances du groupement des grains

Ces déformations ont plus de risque de se produire en tirant des billes de gros diamètre. Elles peuvent poser problème lors de la revente de l'arme. (Beintema, 2001)

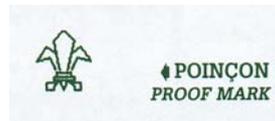
La Commission Internationale pour l'épreuve des armes à feu (CIP), (organisme chargé de l'harmonisation au sein des pays membres, des normes de sécurité concernant les cartouches et les armes) a édité en 1993 des recommandations pour la fabrication des cartouches chargées à l'aide de billes d'acier, ainsi que des conseils à l'égard des utilisateurs d'armes à feu.

Elle définit deux types de cartouches à billes d'acier :

les cartouches « ordinaires » qui n'engendrent pas de pressions supérieures à 740 bar, et qui ne contiennent pas de billes d'un diamètre supérieur à 3.25 mm (n°4).

les cartouches « hautes performances » qui ne peuvent être tirées que dans des fusils spécialement conçus pour les tirs des munitions à billes d'acier et portant le poinçon spécifique « fleur de lys ».

Figure 8. Poinçon "fleur de lys" attestant l'aptitude d'un fusil à tirer des billes d'acier (Mondain-Monval, 1999)



Ces cartouches peuvent développer des pressions allant jusqu'à 1050 bar. Des godets de protection adaptés sont ainsi requis lors de l'élaboration de telles munitions.

Le poinçon « fleur de lys » atteste une arme élaborée et testée pour résister aux fortes pressions ; cependant tout fusil peut passer au banc d'épreuve afin de subir ces tests et déterminer ainsi sa capacité ou non à tirer des cartouches « hautes performances » (ou « haute pression »).

Une étude menée en Camargue sur quatre saisons de chasse consécutives, prenant en compte 30 fusils communément utilisés pour la chasse, et tirant de la grenaille d'acier selon les recommandations de la CIP, a montré l'absence de déformation ou d'usure significative. Des gonflements ont été notés sur plusieurs fusils lors d'utilisations de chokes resserrés ou bien lors de tirs de cartouches « hautes performances » dans des fusils non certifiés « bille d'acier » (contrairement aux recommandations de la CIP). Ce gonflement est apparu dès les premiers tirs et s'est stabilisé par la suite. (Mondain-Monval, 1999)

Ainsi, en suivant les recommandations de la CIP en fonction du type d'arme utilisée (choke, pression), aucun risque d'usure anormale du fusil n'est à craindre.

iv. Impact sur le gibier

Un des aspects les plus contesté concernant le remplacement de la grenaille de plomb par la grenaille d'acier est la crainte que la proportion d'oiseaux blessés augmente considérablement, voire que les pertes d'oiseaux par blessure ne dépassent le nombre d'oiseaux sauvés de l'empoisonnement. Les données actuelles sont suffisantes pour récuser ces arguments. (Scheuhammer et Norris, 1995)

L'importance de ces pertes par blessures a été l'objet de nombreuses études aux Etats-Unis.

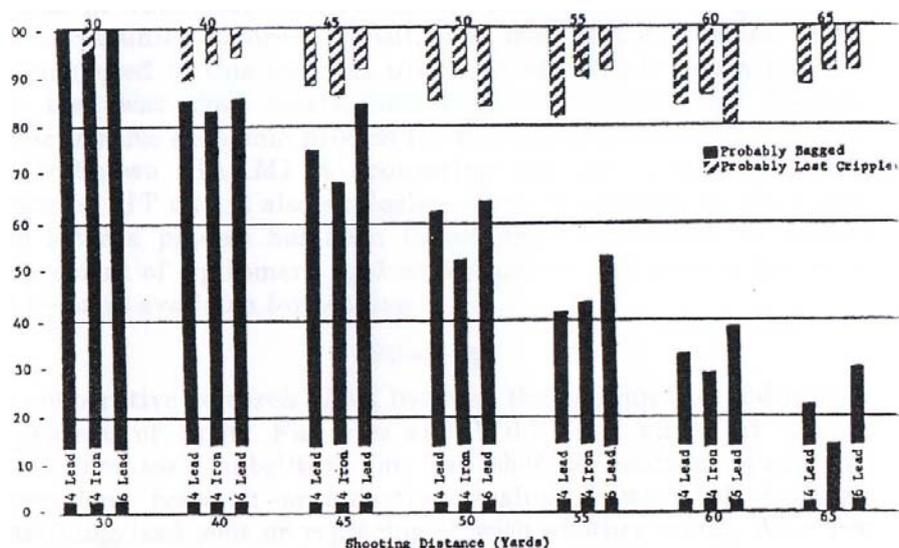
Andrews et Longcore (1969) ont ainsi mené une étude comparative concernant la capacité à tuer avec des munitions plomb et acier.

Durant ce test, plus de 3000 canards ont été tirés à l'acier et au plomb, à plusieurs distances connues (de 30 yards = 27.4 m à 65 yards = 59.4 m), grâce à un système de perchoir mobile. Les canards morts dans les cinq minutes, ainsi que ceux avec au moins une aile cassée étaient classés dans la catégorie « probablement au tableau de chasse » ; les canards morts entre cinq et dix minutes, ainsi que ceux n'ayant pas d'ailes cassées étaient regroupés dans la catégorie « blessés et perdus » ; enfin ceux en apparente bonne santé 140 jours après le tir étaient considérés comme « survivants ».

La Figure 9 expose les résultats de cette expérimentation.

Figure 9. Pourcentages de canards « probablement au tableau de chasse » et « blessés ou perdus » suite au tir de canards colverts, avec trois munitions différentes, à des distances de tir de 30 à 60 yards.

(Andrews et Longcore, 1969)



^a probably lost crippled = blessés ou perdus

^b probably bagged = probablement au tableau de chasse

^c shooting distance = distance de tir

Les analyses statistiques n'ont pu établir de différence significative entre la capacité à tuer d'une cartouche de plomb n°4 et une cartouche d'acier n°4. Seule la distance est le facteur influençant la probabilité de tuer un oiseau.

Quinze autres tests d'efficacité comparée « grenaille de plomb / grenaille d'acier » ont été publiés entre 1950 et 1984 aux USA. Ils présentent des résultats équivoques, et ne sont pas directement comparables pour des raisons de méthodologie : trois sont en faveur du plomb, deux en faveur de l'acier, deux signalent des résultats équilibrés et huit n'indiquent aucun écart statistique dans le nombre d'oiseaux blessés par les deux grenailles.

Ils mettent surtout en évidence la nécessité d'une formation et d'un temps d'adaptation des chasseurs. (Scheuhammer et Norris, 1995)

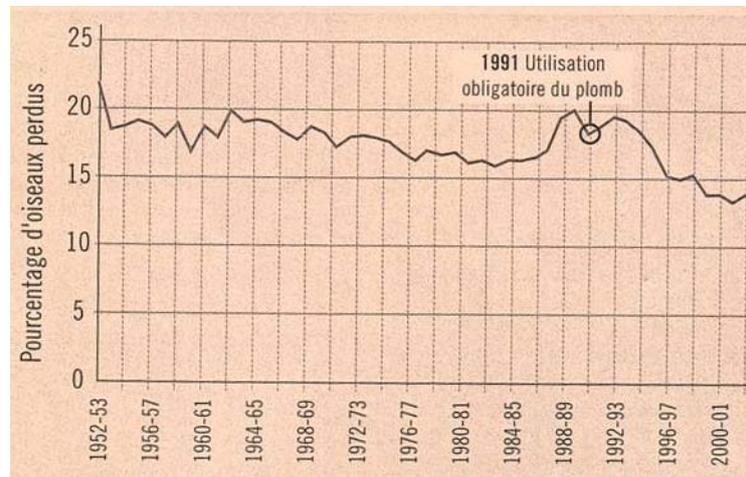
Par ailleurs, rappelons qu'aux Etats-Unis, depuis 1952, chaque chasseur rendant son tableau de chasse doit déclarer le nombre d'oiseaux touchés mais non récupérés. Un taux d'oiseaux touchés et perdus (TOP) est alors défini comme suit :

$$\text{TOP} = \frac{\text{Nombre d'oiseaux touchés et perdus}}{\text{Nombre d'oiseaux récupérés} + \text{nombre d'oiseaux touchés et perdus}}$$

La Figure 10 montre l'évolution de ce top sur une cinquantaine d'année, et situe le passage obligatoire aux munitions non toxiques.

Figure 10. Evolution du taux d'oiseaux touchés et perdus (TOP) dans le tableau de chasse Américain.

(USFWS, 1998, cité par Aillery et Bedu, 2005)



On observe ainsi une recrudescence du taux d'oiseaux blessés à compter de l'année du passage obligatoire à la grenaille d'acier, mais il s'ensuit une baisse quasi immédiate correspondant au temps d'adaptation des chasseurs. L'augmentation brutale de ce taux, prévue par les opposants à la grenaille d'acier, ne s'est donc jamais matérialisée. La courbe décroît ensuite régulièrement jusqu'à dépasser largement les plus basses valeurs enregistrées avec le plomb. (Aillery et Bedu, 2005 – Mondain-Monval, 1999)

The United States Fish and Wildlife Service (USFWS, le service de gestion de la faune sauvage des Etats-Unis) a ainsi conclu que « le taux légèrement plus élevé de blessures qu'on a observé durant la période d'introduction de la grenaille d'acier ne peut nullement se comparer aux pertes totales subies par le gibier d'eau chaque année aux Etats-Unis du fait du saturnisme ou des blessures causées par la grenaille de plomb » (Morehouse K, 1992)

En outre, dans les poursuites judiciaires contestant les règlements des Etats sur la grenaille non toxique, les tribunaux américains n'ont jamais retenu l'argument voulant que la grenaille d'acier ait moins de valeur balistique que la grenaille de plomb, blesse trop d'oiseaux ou endommage les armes à feu (Feierabend, 1985)

Scheuhammer et Norris (1995) rappellent ainsi que la mesure la plus efficace que le chasseur peut prendre pour réduire les pertes dues aux blessures est sans doute de s'abstenir de tirer à plus de 45 m, quel que soit le type de grenaille utilisé, et qu'un chien dressé au rapport des oiseaux blessés est recommandé.

Il a parfois été rapporté des blessures plus sanglantes avec l'acier qu'avec le plomb (Aillery et Bedu, 2005).

v. Toxicité environnementale

Il a été montré dans les forêts danoises que la grenaille d'acier incrustée pouvait rendre le bois non commercialisable voire amener des problèmes de sécurité lors de la coupe des arbres (lame sur un grain d'acier) (Gamebore, 2004)

C'est actuellement le seul problème environnemental rapporté dans la bibliographie internationale.

vi. Toxicité animale

Le fer est un oligoélément métallique des plus essentiels, qui se distingue plus souvent par ses carences que par ses excès en santé humaine.

Par ailleurs, le fer est largement utilisé en tant que matériau au contact des aliments : ustensiles de cuisine, canettes, boîtes de conserve... La contamination des aliments par le fer provient des équipements, des ustensiles ou des emballages. Le relargage de fer dépend de la durée de contact entre l'aliment et le matériau. Il n'a été rapporté que de rares cas de contamination par de fortes quantités de fer en provenance des matériaux de contact. (Boudène, 2000)

Récemment, il était signalé des cas d'hémosidérose chez des populations d'Afrique du Sud brassant leur bière locale dans des récipients en fer.

De même, les centres antipoison américains ont relevé une augmentation d'incidents chez des enfants ayant accidentellement ingéré des médicaments de supplémentation en fer (sels solubles de fer). (Anonyme, 2002)

Nous nous plaçons donc ici dans des cas d'exposition extrêmes d'ingestion de fer biodisponible.

Or le fer des grenailles d'acier n'est pas directement biodisponible pour l'organisme : dans des conditions physiologiques humaines normales, seulement 5 à 10 % du fer contenu dans l'alimentation est absorbé.

Le Conseil de l'Europe n'a d'ailleurs édicté aucune recommandation concernant le fer en provenance des matériaux de contact. (Anonyme, 2002)

La manifestation clinique la plus évidente d'une intoxication au fer est l'hémochromatose qui provient d'une absorption ferrique multipliée par un facteur 2 ou 3. Le transporteur du fer dans la cellule, la ferritine, est débordée et les lysosomes qui sont chargés normalement de l'excrétion du fer de l'organisme convertissent la ferritine en hémosidérose qui est stockée dans le foie où elle entraîne à la longue une cirrhose ou une cancérisation.

Les autres manifestations de la toxicité du fer ont pour origine la réaction de Fenton :



qui est à l'origine de la production de radicaux libres, pouvant générer des cancers et une éventuelle mortalité coronarienne. (Anonyme, 2002)

Ces données issues de la médecine humaine ne sont pas directement applicables à la faune sauvage. En effet, les cancers générés par les radicaux libres nécessitent une exposition longue, peu compatible avec les âges atteints par le gibier.

Diverses études ont été menées afin de déterminer l'éventuelle toxicité des munitions à l'acier.

Dans ces études, des canards d'élevage recevaient per os jusqu'à huit billes d'acier n°2 (Sanderson et al, 1992) ou n°4 (Kelly et al, 1998). Des contrôles radiographiques permettaient de vérifier la persistance de ces billes dans le gésier tout au long de l'expérimentation qui durait 30 jours.

Ces expérimentations ont montré qu'un séjour de 30 jours dans le gésier d'un canard induit une érosion des billes d'acier d'environ 49.9% (Kelly et al, 1998) à 56.5% (Brewer et al, 2003), alors qu'au bout des trente jours, les grains de plombs ont été complètement érodés. De ce fait, la moindre érosion des billes d'acier assure un faible relargage de fer biodisponible.

Par ailleurs, aucun oiseau n'a montré de signe clinique pendant cette période, ni de lésions lors des autopsies systématiques à la fin des 30 jours d'expérimentation. Ainsi, aucune variation de poids, de valeur d'hématocrite, d'activité de l'alanine aminotransférase ou de la lactate déshydrogénase n'a été notée.

Seuls des résidus plus élevés de fer ont été retrouvés dans les reins lors des analyses tissulaires, sans qu'aucune lésion rénale associée ne soit notée.

Enfin, la question de l'effet éventuellement néfaste de grenaille non toxique incrustée dans la chair du gibier a été étudiée par Kraabel et al en 1996. L'incrustation de grains de tungstène-bismuth-étain, et de grains d'acier dans les muscles pectoraux de Canards colvert, pendant 8 semaines, n'a induit aucun effet systémique détectable, et s'est accompagné d'une réaction inflammatoire modérée et très localisée, sans conséquence sur la survie des oiseaux concernés.

Une étude rétrospective de cas de blessures de chiens s'intéresse aux grains d'acier incrustés dans la chair des chiens de chasse. En effet, il n'est pas rare qu'un chien de chasse soit blessé de façon peu importante par un grain. Alors qu'un grain de plomb n'engendrait aucune réaction particulière de la part des tissus incrustés, Bartels et al (1991) ont montré le développement d'une corrosion suivi d'une inflammation importante des tissus alentours.

Le pronostic et le traitement des blessures causées par ces projectiles en acier seront donc différents d'auparavant.

vii. Coût

Le minerai de fer est un matériau très disponible et peu coûteux. Cela est son principal avantage dans le remplacement du plomb, bien que les cartouches à billes d'acier aient généralement un coût environ 20% plus élevé que le plomb, du fait de procédé de fabrication plus onéreux (Andrews et Longcore, 1969).

viii. Risques pour les humains

L'acier étant très dur, il présente ainsi l'inconvénient de ne pas s'écraser sous la dent du consommateur de gibier : Il est donc recommandé aux dégustateurs de gibier de mâcher avec précaution afin d'éviter de se casser une dent au contact d'une bille d'acier dans la viande de gibier. (Miquel, 2004)

Par ailleurs, en ce qui concerne la sécurité des chasseurs, la grenaille d'acier comporte un risque accru de ricochet du fait de la dureté des grains, ce qui rend l'acier moins indiqué dans les régions boisées et en période de gel. Cet aspect ne constitue pourtant pas un problème majeur dans les zones humides (Beintema, 2001). Ainsi, depuis 1991, la bibliographie Américaine, Danoise et Norvégienne, sur l'ensemble de leurs territoires et depuis l'utilisation quasi systématique de l'acier comme munition ne rapporte aucun accident dû à l'utilisation de grenaille d'acier. (Thomas et Owen, 1995)

Enfin, une rumeur prétendrait que les grains d'acier s'oxyderaient dans la chair de gibier lors de sa congélation, ce qui pourrait limiter le plaisir visuel et gustatif du consommateur. L'expérimentation qui suit tentera de faire la lumière sur ce « on-dit ».

b. Bismuth et alliages

- Grenaille de bismuth : Le bismuth est un métal lourd, comme le plomb, et d'une densité de 9,8. Il présente donc de bonnes performances balistiques et n'offre aucun risque de déformation dans les canons les plus anciens et fragiles.

Pamphlett *et al* (2000, cités par Bana, 2003) affirment que le bismuth peut s'accumuler dans des tissus animaux et peut être toxique pour des souris de laboratoire. Cependant, Sanderson *et al* (1992) ont montré que la grenaille de bismuth n'était pas toxique par ingestion chez des canards colverts d'élevage.

Toutefois, son prix est très élevé du fait du coût de la matière première. De plus ses réserves mondiales sont limitées, ce qui ne laisse pas présager une baisse des prix des cartouches au bismuth, au contraire ! Enfin, sa friabilité est un handicap certain. En effet, les grains peuvent se fracturer dans le canon, causant une mauvaise dispersion, ou à l'impact avec le gibier.

- Grenaille de bismuth-étain : En ajoutant 3% d'étain à la grenaille de bismuth et en modifiant son procédé de production, on a réduit la fragilité des grains et augmenté le rendement de fabrication. Cette grenaille a environ 86% de la densité du plomb. Elle présente donc une dispersion, une vitesse de chute et une énergie cinétique semblable à celle de la grenaille de plomb. De plus, le bismuth-étain a la même densité et la même ductilité que le plomb, ce qui ne nécessite aucune adaptation des calibres de cartouche, ni des canons ni des chokes.

Par extrapolation des travaux de Sanderson *et al* (1992), la grenaille de bismuth-étain a été approuvée par le Canada, l'Australie et les USA. (Scheuhammer et Norris, 1995) comme munition non toxique.

Le souci du coût élevé reste le même puisque l'étain ne concerne que 3% de cette grenaille !

- Grenaille de bismuth-tungstène-étain : produite par suspension de tungstène finement pulvérisé (39%) dans un mélange d'étain (16.5%) et de bismuth fondu (44.5%), cette grenaille présente une densité et une ductilité proche de celle du plomb. Des tests de toxicité sur des Canards colverts ayant ingéré jusqu'à 17 grains indiquent peu ou pas d'absorption des métaux constitutifs au niveau des tissus et aucun effet toxique (Ringelman *et al*, 1993, cités par Scheuhammer et Norris, 1995). Son coût de production est légèrement supérieur à la grenaille bismuth-étain.

c. Étain

L'étain présente une densité proche de celle de l'acier (7.3) mais il a les qualités physiques du plomb (ductilité...), ce qui permet à l'encartoucheur d'augmenter la vitesse initiale des cartouches sans risque pour les canons des fusils. Un choke serré doit être envisagé pour des tirs à longue distance.

Du fait de sa ductilité, il peut être utilisé sans risque dans les zones forestières, et pose peu de problèmes de ricochets

Comme pour l'acier, il est nécessaire de choisir des cartouches un ou deux numéros supérieurs aux cartouches de plomb. (Gamebore, 2004)

Son coût est moindre que celui du bismuth, car c'est un matériau disponible et semble non toxique pour l'environnement (BASC, 2000)

L'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA, 2005) rapporte que les composés non organiques de l'étain présentent une faible toxicité systémique chez l'homme et l'animal, car l'absorption des composés non organiques de l'étain dans l'appareil gastro-intestinal humain ou animal est très faible : 98 % en sont excrétés directement dans les selles.

d. Zinc

Le zinc présente l'avantage d'être abondant, et d'avoir certaines qualités balistiques (ductilité et dureté) proches de celles du plomb. Cependant, sa faible densité limite ses performances. La grenaille de zinc apparaît alors efficace sur des tirs à courte distance.

Ce métal est relativement coûteux comparé au plomb ou à l'acier.

De plus, la grenaille de zinc présente une toxicité non négligeable, même si inférieure à celle du plomb, ce qui n'est pas acceptable pour une munition dite « non toxique ».

e. Polymères

Dans de nombreuses utilisations (tuyauterie par exemple), le plomb a été remplacé par des polymères plastiques, du fait de leur non-toxicité et de leur légèreté. De la même manière, des munitions en résines ont ainsi été mises au point. En effet, les polymères de plastique ont toutes les propriétés requises pour remplacer le plomb, sauf le poids.

Cependant, l'industrie plastique a les moyens d'alourdir un composé en ajoutant par exemple un métal en poudre, tel le tungstène ou le molybdène, ce qui permet d'obtenir des thermoplastiques composites, non toxiques, d'une densité de 11 (identique à celle du plomb : 11.3). Leur ductilité égale à celle du plomb permet d'utiliser des full-chokes.

Des tests balistiques menés par l'armée américaine avec des projectiles ECOMASS[®] (densité 11) ont démontré une efficacité identique voire plus précise que les munitions standards au plomb. (Detour, 2002 – Ecomass, 2006)

Kent-Gamebore a mis au point un polymère plastique/tungstène (Impact Tungstène Matrix[®]) qui présente le même poids, la même densité, la même ductilité que le plomb et qui aurait de meilleures performances que le plomb. (Gamebore, 2004)

Du fait de leur ductilité, les polymères de tungstène peuvent être utilisés sans risque dans les zones forestières, et posent peu de problèmes de ricochets.

Katzantis (1986, cité par Scheuhammer et Norris, 1995), affirme, par extrapolation de la toxicité du tungstène pur, que cette grenaille au tungstène ne devrait présenter aucun risque d'empoisonnement pour les animaux.

Un polymère de tungstène-nickel-fer a été mis sur le marché (Hévi-ShotTM) et a subi des tests de toxicité sur des canards d'élevage. Cette expérimentation a permis de mettre en évidence l'absence de toxicité histologique ou clinique de ce polymère, et surtout a montré la quasi absence d'érosion de ces grains. (Brewer et al, 2003).

Une autre expérimentation a conclu à une légère cholestase suite à l'ingestion chronique de polymères de tungstène, mais sans qu'aucun signe clinique ne soit visible lors d'exposition intensive sur une période de 30 jours. Ce qui a amené les auteurs à conclure à la non toxicité de ces polymères (Kelly et al, 1998)

A l'inverse, si l'on extrapole les connaissances en toxicologie humaine du molybdène, ce dernier pourrait présenter des effets secondaires indésirables tels que des retards de croissance, des anémies ou des déformations osseuses. (Friberg et Lener, 1986, cités par Scheuhammer et Norris, 1995)

Le prix de ces polymères reste cependant élevé (supérieur au bismuth) du fait du cours élevé et de la relative rareté du tungstène. (FNC, 2004)
Mais ce sont les seules munitions alternatives qui offrent de meilleures performances pour des distances supérieures à la portée efficace du plomb.

f. Formation des chasseurs : l'approche Nord-américaine

Le passage des munitions au plomb aux munitions à l'acier nécessite un temps d'adaptation et de formation des chasseurs.

En effet, les chasseurs doivent s'adapter à la munition non toxique qu'ils vont tirer : choisir les cartouches en fonction du fusil qu'ils vont utiliser, le numéro de bille et le choke du fusil, puis revoir la distance de tir, ainsi que la visée.

Afin de favoriser l'utilisation des munitions non toxiques, de réduire le nombre d'oiseaux blessés et d'améliorer les performances de tir des chasseurs, les responsables cynégétiques nord-américains organisent des stages de formation pour les chasseurs depuis 1992, dans le cadre du *Cooperative North American Shotgunning Education Program* ou CONSEP (Programme coopératif d'éducation à l'utilisation des munitions non toxiques, devenu programme coopératif nord-américain d'éducation à la chasse en 1996). Ce programme a permis la création d'une base de données expérimentales très importante.

Ses stages associent théorie et pratique. Y sont abordé l'historique des munitions de substitution aux USA, l'impact des munitions au plomb sur la faune sauvage et l'importance du saturnisme.

Ensuite, les résultats de recherche des effets sur les fusils, ainsi que sur les pertes d'oiseaux par blessure sont exposés.

Une analyse des principaux comportements à l'origine des blessures est proposée, afin de permettre à chaque chasseur de corriger ses habitudes, avec un accent mis sur l'estimation des distances.

Des séances pratiques permettent de mettre en application ces conseils, et de conseiller chaque stagiaire après analyse de ses tirs par des professionnels, et de modifier éventuellement de mauvaises combinaisons « choke/fusil x cartouche »

Une nette amélioration des performances a ainsi été observée entre le premier et le dernier jour de stage.

Par ailleurs, ces stages permettent d'aborder, preuves scientifiques à l'appui, les différents aspects controversés des munitions de substitution. (Mondain-Monval, 1999)

g. Conclusion

Le **Tableau XVI** regroupe les caractéristiques des munitions alternatives disponibles sur le marché français.

Tableau XVI. Comparaison de différentes munitions de substitution au plomb disponibles sur le marché français.
D'après FNC (2004)

<i>Matériau</i>	<i>Toxicité</i>	<i>Densité</i>	<i>Dureté par rapport au plomb</i>	<i>Dureté sur l'échelle de Brinell</i>	<i>Pénétration</i>	<i>Prix par 25 cartouches, calibre 12</i>	<i>Avantages principaux</i>	<i>Inconvénients principaux</i>
Plomb	forte	11.3	Etalon référence	4-5	Etalon référence	7 à 10 €	Etalon référence	Etalon référence
Etain	nulle	7.31	-		--	++	Matériau doux	Densité plus faible
Bismuth	nulle	9.8	-	7	-	24 à 26 €	Matériau doux	Prix plus élevé, matériau friable
Acier (fer doux)	nulle	7.87	++	67-90 Voire 116 à 240 pour certains aciers	--	9 à 12 € (cartouches ordinaires)	Billes régulières, gerbes plus denses	Gerbe plus courte Portée légèrement réduite Dureté plus élevée
Tungstène + fer	nulle	Egale ou supérieure au Pb	+++		+	31 à 35 €	Performances balistiques intéressantes	Prix prohibitif Dureté très élevée
Tungstène + liant	nulle	Egale ou supérieure au Pb	=		=	31 à 35 €	Matériau assez doux	Prix élevé Performances en cours de vérification

Les données de ce tableau montrent que l'acier (fer doux) présente le meilleur compromis et est actuellement l'alternative à privilégier pour remplacer le plomb : en effet, il associe des caractéristiques balistiques intéressantes compte tenu de la portée normale des armes de chasse, une absence de toxicité, une disponibilité et un coût modeste.

Cependant, l'information et la formation des chasseurs à ces nouvelles munitions apparaissent indispensables afin d'assurer une transition plomb – acier dans de bonnes conditions.

De même, l'impact des munitions alternatives sur les animaux et l'environnement mériteraient d'être régulièrement étudiés, pour permettre une gestion à long terme de ces matériaux. En effet, plusieurs matériaux de munitions étant disponibles parallèlement sur le marché, et ces matériaux n'étant pas purs, il s'agirait de vérifier l'inertie de ces métaux diffusés et mêlés dans l'environnement.

4. Améliorations amenées par l'utilisation de munitions non toxiques

Dès 1986, Sanderson et Bellrose s'enthousiasmaient des rapides améliorations amenées dans certaines zones des Etats-Unis par l'utilisation de munitions non toxiques, alors qu'une première étude menée au Texas en 1988 par Moulton et al (cité par Mudge, 1992) montrait que le passage à l'acier a réduit l'ingestion de grains de plomb par le gibier d'eau de moitié, entre la saison de chasse 1978/79 et 1983/84.

Une large étude de la grenaille ingérée par des canards au Mississippi, menée en 1996/97 par Anderson et al (2000), donc 6 ans après l'interdiction du plomb comme munition, confirme cette amélioration.

Ainsi, le dénombrement et la classification des grains retrouvés dans les gésiers de 16 651 canards ont révélé les chiffres suivants (**Tableau XVII**)

Tableau XVII. Prévalence des grains ingérés par des canards lors de la saison de chasse 1996/97, au Mississippi.

D'après Anderson et al (2000).

<i>Grains retrouvés</i>	<i>Grains non toxiques</i>	<i>Grains de plomb</i>	<i>Mélange de grains toxiques et non toxiques</i>
% gésiers	68.2%	22.9%	8.9%

Cela montre que la prévalence des canards ayant ingéré des grains de plomb est 67% inférieure en 1997 par rapport à l'étude de Bellrose (1956) entre 1938 et 1954, sur un même espace de migration.

En appliquant à ces données les facteurs de correction avancés par Bellrose (1956), les auteurs estiment que les pertes d'oiseaux dues au saturnisme en 1996/97, dans l'espace du Mississippi, s'élèvent à 1.44% (contre 4% en 1959 – Bellrose), c'est-à-dire une diminution des pertes de 64% !

Cela amène les auteurs à évaluer entre **275 000 et 366 000** le nombre de canards ayant échappé à la mort par intoxication au plomb dans cet espace de migration.

Appliqué à l'ensemble du territoire américain, ce serait près de **1,4 millions d'oiseaux** qui auraient ainsi été épargnés sur une seule année !

De même, il n'a jamais été rapporté d'incident chez des cygnes ayant ingéré des plombs de pêches de diverses compositions alternatives. (French, 1996)

Ces données américaines sont donc très encourageantes et montrent l'impact rapide et positif du passage aux munitions non toxiques.

5. *Contexte international*

a. Convention de Ramsar

La Convention relative aux zones humides d'importance internationale, signée à Ramsar, Iran, en 1971 (et de ce fait plus généralement connue sous le nom de Convention de Ramsar) est un traité intergouvernemental qui fournit le cadre nécessaire à une action nationale et une coopération internationale pour la conservation et l'usage judicieux des zones humides et de leurs ressources.

La Convention compte actuellement 123 Parties contractantes, comprenant 1069 zones humides, totalisant 81 millions d'hectares, désignées pour inclusion à la Liste Ramsar des Zones humides d'importance internationale.

La Convention de Ramsar ne traite pas spécialement de la question du saturnisme, mais s'en occupe indirectement en exhortant les Parties contractantes à protéger les zones humides et les espèces qui y vivent, et à les utiliser de façon durable.

La recommandation 6.14 fournit le cadre dans lequel les menaces toxiques pesant sur les zones humides peuvent être prises en main : “Plusieurs des principes formulés dans la Convention, tels que l’utilisation rationnelle, l’évaluation de l’impact environnemental et les caractéristiques écologiques, doivent inclure la reconnaissance de l’impact nocif des produits toxiques.”

La Recommandation 9 (Promotion de la recherche en matière de chasse et de l’éducation) concerne les conditions de chasse dans les zones humides d’importance internationale.

Premièrement, cette recommandation exhorte les instituts de recherche à obtenir des données concernant le succès des activités de reproduction, la productivité et la mortalité globale des principales espèces concernées, et à réaliser des études spécialement axées sur l’impact de la chasse sur les populations de gibier sauvage.

Deuxièmement, elle exhorte les organisations internationales et nationales de chasseurs :

→ à encourager les méthodes « fair-play » de chasse et à stopper les actions qui entraînent manifestement la destruction ou la perte massive de gibier d'eau ;

→ à intensifier les mesures éducatives pour améliorer les connaissances des chasseurs sur les différentes espèces de gibier d'eau ; et à faire prendre conscience aux chasseurs de leurs responsabilités en matière de conservation et d'utilisation rationnelle des ressources en oiseaux d'eau grâce à des pratiques de chasse correctes. (Beintema, 2001)

b. La Convention de Bonn

L'une des conventions mises en place dans le cadre du Programme des Nations Unies (PNUE) est la Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (également connue sous le nom de CMS ou Convention de Bonn).

L'objectif de cette convention est la conservation des espèces migratrices terrestres, marines et aviaires dans les Etats de l'aire de répartition. Il s'agit de l'un des traités intergouvernementaux (peu nombreux) concernant la conservation de la faune sauvage et de ses habitats à l'échelle mondiale. Depuis que la Convention est entrée en vigueur, le 1er novembre 1983, le nombre de ses membres n'a cessé de croître et il comprend actuellement plus de 73 pays d'Afrique, d'Amérique Centrale et du Sud, d'Asie, d'Europe et d'Océanie.

Les parties de la CMS œuvrent ensemble à la conservation des espèces migratrices et de leurs habitats. Une attention toute particulière est accordée à la coordination des plans de conservation et de gestion des espèces migratrices, à la conservation et à la restauration des habitats, au contrôle des facteurs qui empêchent la migration, à la recherche et à la surveillance continue coopératives, ainsi qu'à l'éducation du public et à l'échange d'informations entre les parties. En outre, une protection rigoureuse est accordée à un nombre spécifique d'espèces migratrices menacées.

Plusieurs accords ont été conclus au titre de la CMS, pouvant aller de traités qui engagent légalement les parties à des protocoles d'accord moins formels.

L'accord le plus important à l'égard de la question du saturnisme est l'AEWA (l'Accord sur la conservation des oiseaux d'eau migrateurs d'Afrique-Eurasie) dont nous parlerons ci-dessous. (Beintema, 2001)

c. Accords AEWA

En 1991 le IWRB (International Waterfowl and Wetlands Research Bureau, devenu à présent Wetlands International) convoqua un atelier international afin d'évaluer l'ampleur du saturnisme chez les oiseaux d'eau et de définir les solutions possibles à ce problème. Il en résulta une série de recommandations qui servirent à formuler des déclarations dans un certain nombre de Conventions et d'Accords internationaux dont l'un d'entre eux, *L'African Eurasian Waterfowl Agreement*, (Accord sur la conservation des oiseaux d'eau migrateurs d'Afrique-Eurasie ou AEWA) exhorte ses Etats membres à introduire progressivement une interdiction complète de la grenaille de plomb.

Cet accord, conclu dans le cadre de la convention de Bonn, a pour objet de créer une base juridique pour la conservation et la gestion commune des espèces migratrices par les Etats de l'aire de répartition.

L'AEWA couvre 172 espèces d'oiseaux qui dépendent d'un point de vue écologique des zones humides lors de la dernière phase de leur cycle annuel, y compris de nombreuses espèces de pélicans, de cigognes, de flamands, de cygnes, d'oies, de canards, d'échassiers, de mouettes et de sternes. L'Accord englobe 117 pays (plus l'Union européenne) d'Europe, de certaines parties d'Asie et du Canada, du Moyen-Orient et d'Afrique. En fait, l'aire géographique couverte par l'AEWA s'étend de l'extrême Nord du Canada et de la Russie à l'extrême Sud de l'Afrique. Actuellement, le nombre de Parties contractantes se monte à plus de 31. (Beintema, 2001)

Il stipule au point 4.1.4. du plan d'action qui constitue l'annexe 3 de l'Accord : "Les parties s'efforcent de supprimer l'utilisation de la grenaille de plomb de chasse dans les zones humides pour l'an 2000"

L'AEWA, conclu à La Haye le 16 juin 1995, est entré en vigueur le 1er novembre 1999. (ONCFS, 2006)

Bien qu'impliquée dès le début des négociations et ayant signé l'acte final, la France n'a ratifié l'Accord qu'en 2003 par l'article 5 de la loi n° 2003-698 du 30 juillet 2003 relative à la chasse, en autorisant la ratification de l'accord AEWA par la France, qui en était signataire depuis le 25 novembre 1998 ;

La ratification a été effectuée par le décret n° 2003-1112 du 24 novembre 2003, ainsi la France est devenue la 43^{ème} partie contractante de l'Accord le 1^{er} décembre 2003.

L'Union Européenne a ratifié l'Accord le 1er Octobre 2005, juste avant la troisième réunion des parties (MoP 3, Dakar). (ONCFS, 2006)

d. Options pour restreindre l'usage du plomb

Plusieurs options sont envisageables pour restreindre l'usage de la grenaille de plomb (Scheuhammer et Norris, 1995) :

i. Le passage volontaire à la grenaille non toxique

L'information et l'incitation à un changement spontané des chasseurs ne sont généralement pas suffisantes pour faire évoluer les mentalités. En effet, toute conversion significative à la grenaille non toxique nécessite des efforts considérables d'éducation et de communication. Ainsi, la grenaille d'acier est disponible en Australie depuis les années 70 et

une vingtaine d'années après cette mise sur le marché, 95% des munitions écoulées étaient toujours du plomb.

Dans certains pays c'est parfois la disponibilité des munitions de substitution dans les points de vente de munitions qui peut freiner cette conversion.

Les raisons avancées au Canada à cette résistance sont simples : les chasseurs aiment le plomb, s'en servent depuis toujours, a des qualités balistiques identiques voire supérieures aux munitions alternatives et a le coût le moins élevé du marché.

L'incitation est souvent une étape avant la mise en place de textes réglementaires.

ii. La mise en place d'une législation

La réglementation limitant la grenaille de plomb et forçant son remplacement par des substituts non toxiques, a été l'option retenue par la plupart des pays qui ont reconnu le risque que présente cette grenaille pour la faune.

En général, les règlements ont concerné de petites zones considérées comme seules contaminées, puis les recherches scientifiques ont fait étendre cette interdiction à de plus larges territoires. Certains pays aboutissent même à l'interdiction totale de la grenaille de plomb sur tout le territoire national (Danemark, USA...).

De plus lors de l'interdiction sur quelques territoires, il était bien souvent difficile de faire appliquer ces règlements, et la quantité de grenaille de substitution achetée était bien inférieure au total tiré par les chasseurs. Cela a conduit au Danemark à l'interdiction du plomb sur tout le territoire

e. Etat des lieux réglementaire au niveau mondial

En 1995, 1997 et 2000, Wetlands International a publié des rapports internationaux sur le saturnisme chez les oiseaux d'eau, visant à identifier les nouveaux développements dans ce domaine et à faire connaître les progrès effectués. Les informations étaient rassemblées par le biais de questionnaires envoyés aux gouvernements nationaux, ainsi qu'aux organisations et agences (inter)nationales intéressées.

Le **Tableau XVIII** classe, selon leur type de réglementation concernant l'utilisation du plomb, les pays qui ont répondu aux questionnaires en 1995, 1997 et 2000, ainsi que les conventions dont ils sont membres en l'an 2000. (Beintema, 2001)

Le Tableau XIX synthétise le nombre de pays par réglementation.

Tableau XVIII. Législation concernant l'usage de la grenaille de plomb et appartenance aux conventions de quelques pays, par catégorie, en l'an 2000. D'après Beintema (2001)

A = L'usage de la grenaille de plomb pour la chasse aux oiseaux d'eau fait l'objet d'une **interdiction statutaire totale**

B = L'usage de la grenaille de plomb pour la chasse aux oiseaux d'eau fait l'objet d'une **interdiction statutaire partielle** (certaines espèces, certaines zones)

C = L'usage de la grenaille de plomb pour la chasse aux oiseaux d'eau fait l'objet d'une **interdiction volontaire**

D = Il n'y a **ni interdiction statutaire ni interdiction volontaire, mais la chasse aux oiseaux d'eau est (très) peu pratiquée**

E = La chasse aux oiseaux d'eau est moyennement / largement pratiquée. Il n'y a ni interdiction statutaire ni interdiction volontaire, mais il y a sensibilisation au problème et l'**établissement d'une législation est en cours de considération**

F = La chasse aux oiseaux d'eau est moyennement / largement pratiquée. Il n'y a ni interdiction statutaire ni interdiction volontaire, ni sensibilisation au problème et la **possibilité d'établir une législation n'est pas considérée**

Pays	1995	1997	2000	Ramsar	Bonn	AEWA
Canada	E	A	A	x		
Danemark	E	A	A	x	x	x
Etats-Unis	A	A	A	x		
Finlande	E	A	A	x	x	x
Norvège	A	A	A	x	x	
Pays-Bas	A	A	A	x	x	x
Suisse	B	B	A	x	x	x
Australie	B	B	B	x	x	
Belgique		B	B	x	x	
Chypre			B			
Espagne	F	F	B	x	x	x
Ghana			B	x	x	
Israël			B	x	x	
Japon	E	C	B	x		
Lettonie	E	E	B	x	x	
Malaisie			B	x		
Royaume-Uni	B	B	B	x	x	x
Suède	B	B(C)	B	x	x	x
Afrique du Sud	D		B(D)	x	x	x
Russie, Féd.	F	F	B(F)	x		
Allemagne	C	C	C	x	x	x
Argentine		F	D	x	x	
Autriche	D	D	D	x		
Biélorussie	D		D	x		
Cambodge			D	x		
Cameroun			D		x	
Chili		D	D	x	x	
Congo			D	x	x	x
Islande	D	D	D	x		
Irlande			D	x	x	x
Kenya			D	x	x	
Lituanie			D	x		
Luxembourg			D	x	x	x
Malawi			D	x		
Malte	F	F	D	x	x	
Mauritanie			D	x	x	
Maroc	D	D	D	x	x	x
Portugal	D			x	x	
Roumanie	D	U	D	x	x	x
Slovaquie			D	x	x	
Zimbabwe			D			
Botswana			E	x		
France	E	E	E	x	x	x
Grèce		E	E	x	x	
Rép. tchèque	F	F	E	x	x	
Albanie	E		F	x		
Bosnie Herz.			F			
Brésil		F	F	x		

Chine		F	F	x		
Croatie	F		F	x	x	x
Equateur			F	x		
Egypte			F	x	x	x
Gabon			F	x		
Hongrie	F	F	F	x	x	
Iran			F	x		
Italie	F	F	F	x	x	
Koweït			F			
Mali			F	x	x	x
Moldavie			F	x	x	x
Namibie			F	x		
Pérou			F	x	x	
Thaïlande			F	x		
Ukraine			F	x	x	

Tableau XIX. Total de chaque catégorie par année de questionnaire.
D'après Beintema (2001)

Catégorie	1995		1997		2000	
	Nombre de pays	% de pays	Nombre de pays	% de pays	Nombre de pays	% de pays
A	3	9.7	6	18.2	7	11.3
B	4	11.9	6	18.2	13	20.9
C	1	3.2	2	6.1	1	1.6
D	7	22.6	5	15.1	19	30.6
E	8	25.8	3	9.1	4	6.5
F	8	25.8	11	33.3	18	29.1
A+B+C+D	15	48.4	19	57.6	40	64.4
Total	31		33		62	

En comparaison avec 1995 et 1997, deux fois plus de pays ont été questionnés en l'an 2000. Les chiffres de 2000 suggèrent que le nombre relatif de pays ayant une législation à ce sujet a décliné, mais cet effet est entièrement dû à l'augmentation du groupe de pays questionnés.

En additionnant les pays où il existe une interdiction (totale, partielle ou volontaire) du plomb, et les pays ne pratiquant pas la chasse en milieu humide (A+B+C+D), nous pouvons voir une progression constante du nombre de pays où les Anatidés où la protection des Anatidés est effective.

Nous pouvons remarquer que les pays ayant validé l'interdiction du plomb sont essentiellement des pays occidentaux, et certains commentaires libres des pays insistent sur la non priorité de ces mesures du fait du contexte politique ou économique.

92% (57 pays sur 62) de ces pays ont ratifié la convention de Ramsar, alors que seuls 14.5 % (9 pays sur 62) ont signé les Accords AEWA. Notons cependant que certains pays ayant ratifié les accords AEWA n'ont toujours pas mis en place d'interdiction du plomb pour la chasse en zones humides, alors que certains pays ont une telle réglementation alors qu'ils ne sont pas signataires des accords.

La France a ratifié la convention de Ramsar et est signataire des accords AEWA, mais n'avait pas encore légiféré sur la grenaille de plomb en date de l'an 2000, contrairement à ce que stipulait le point 4.1.1 du plan d'action de l'AEWA.

L'interdiction du plomb sera cependant effective en juin 2006.

6. Réglementation française

L'arrêté du 21 mars 2002, nommé « arrêté Cochet », modifie l'arrêté du 1^{er} août 1986 relatif à divers procédés de chasse, de destruction des animaux nuisibles et à la reprise du gibier vivant dans un but de repeuplement. (annexe IV)

Cet arrêté complète l'article 1^{er} de l'arrêté du 1^{er} août 1986 comme suit :

« A compter de la date d'ouverture de la chasse aux oiseaux de passage et au gibier d'eau en 2005, l'emploi de la grenaille de plomb est interdite dans les zones humides suivantes :

- en zone de chasse maritime
- dans les marais non asséchés
- sur les fleuves, rivières, canaux, réservoirs, lacs, étangs et nappes d'eau.

Le tir à balle de plomb du gros gibier sur les zones humides demeure autorisé sur ces zones»

Cette interdiction concerne toutes les espèces de gibier, y compris le chevreuil quand le tir de cette espèce est autorisé dans le département.

Par ailleurs, elle ne concerne pas le tir à balle de plomb qui reste autorisé quelle que soit la zone de chasse, car la taille de la balle limite grandement le risque d'ingestion par le gibier d'eau.

Cependant cet arrêté ministériel fut abrogé par l'arrêté du 9 mai 2005, qui repousse ainsi au 1^{er} juin 2006 l'application de cette interdiction du plomb dans les zones humides. (Annexe V).

La circulaire DNP/CFE n° 2006-11 du ministère de l'écologie et du développement durable, datée du 4 avril 2006 vient préciser le champ d'application de cette mesure, en listant les zones humides concernées :

✓ **La mer dans la limite des eaux territoriales et le domaine public maritime.**

Ces zones correspondent à une partie des zones de chasse maritime définies par l'article L.422-28 du code de l'environnement.

Dans ces espaces, tous les chasseurs, quel que soit le gibier chassé, doivent employer des grenailles de substitution.

✓ **Les marais non asséchés.**

Les marais non asséchés peuvent être définis comme des terrains périodiquement inondés sur lesquels se trouve une végétation aquatique.

Dans ces zones, tous les chasseurs, quel que soit le gibier chassé, doivent employer des grenailles de substitution.

✓ **Les fleuves, rivières, canaux, réservoirs, lacs, plans d'eau qu'ils soient d'eau douce, salée ou saumâtre.**

Ces zones peuvent indifféremment appartenir au domaine public maritime, au domaine public fluvial ou au domaine privé.

Dans ces zones, tous les chasseurs doivent employer des munitions de substitution.

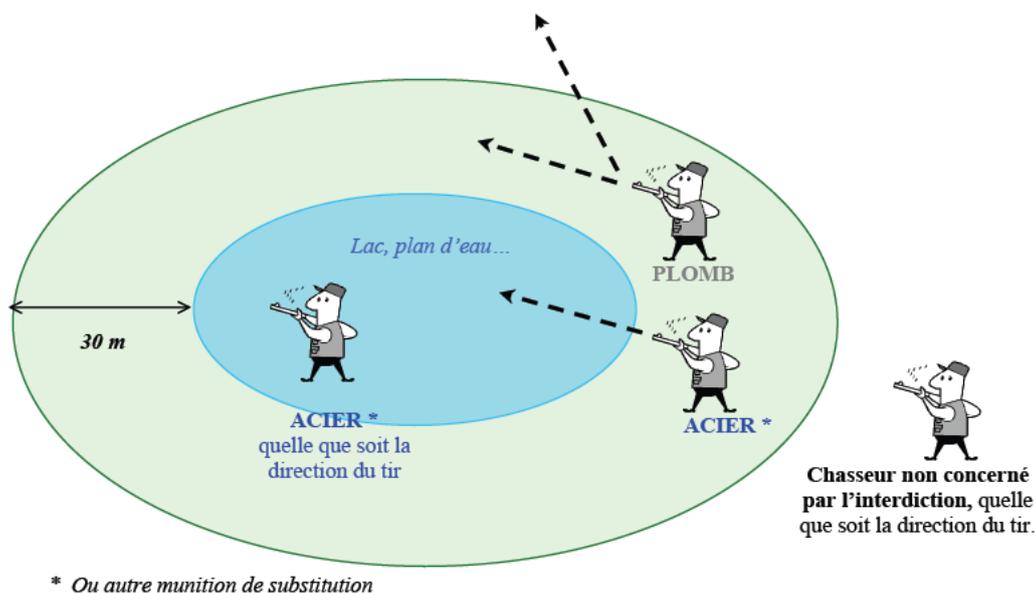
- ✓ **La bande des 30 mètres qui jouxte les bords des fleuves, rivières, canaux, réservoirs, lacs, plans d'eau qu'ils soient d'eau douce, salée ou saumâtre.** (Figure 11)

Ces espaces sont concernés par l'interdiction du plomb. Mais la circulaire du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable apporte une précision importante : Il n'y a pas lieu d'interdire aux chasseurs en action de chasse sur cette bande des trente mètres d'utiliser de la grenaille de plomb dès lors qu'ils ne tirent pas en direction de la nappe d'eau ou que la gerbe de plomb n'est pas susceptible de retomber dans l'eau.

Au moindre doute quant au lieu de retombée de la grenaille, il est fortement recommandé d'utiliser des munitions de substitution. (ONCFS, 2006)

Figure 11. Illustration de la « bande des trente mètres ».

D'après ONCFS (2006).



La surveillance de la bonne application de cet arrêté incombe à tous les agents chargés de la police de la chasse : Il faut entendre par agents chargés de la police de la chasse, les agents de l'ONCFS mais aussi les gendarmes, policiers, lieutenants de louveterie, agents du CSP, des parcs nationaux, gardes particuliers, sans que cette liste ne soit exhaustive. Enfin, dans le cadre d'une infraction dûment constatée, la sanction encourue par des éventuels contrevenants est une contravention de 5^{ème} classe, c'est-à-dire une amende allant jusqu'à 1500€.

Les diverses institutions de la chasse axent cependant leurs efforts sur l'information des chasseurs, par le biais d'articles dans la presse spécialisée et de brochures explicatives à disposition des fédérations de chasseurs et des armuriers. (Bon, 2006)

Afin que la transition aux munitions alternatives se déroule sereinement, l'ONCFS et les Fédérations de chasseurs sont à l'écoute des inquiétudes des chasseurs, et souhaitent argumenter cette transition, études scientifiques à l'appui. la Fédération Nationale des Chasseurs avait déjà été à l'origine des thèses vétérinaires de DURANEL (1999) et MEZIERES (1999).

Aussi, face à la crainte des chasseurs de voir la qualité de la viande de gibier se dégrader, la Fédération Nationale nous a mandatée afin d'objectiver l'impact éventuel des munitions alternatives sur la qualité de la viande de canard.

III. Troisième partie : Impact des munitions d'acier sur les qualités gustatives de la viande de canard

1. Objectif de l'étude

Le passage aux munitions de substitution au plomb ne se fait pas sans heurts et sans inquiétudes de la part d'un certain nombre de chasseurs.

Outre les doutes vis-à-vis des performances balistiques de l'acier, ou la crainte de voir les armes abîmées par ces munitions, une rumeur a circulé dans les rangs des chasseurs : les billes d'acier contenues dans les tissus de canards s'oxyderaient lors de la congélation et donneraient un aspect et un goût tels qu'ils rendraient le gibier impropre à la consommation.

Face à cette nouvelle interrogation au sujet de l'acier, notre étude, financée par la Fédération Nationale des chasseurs et menée en collaboration avec le centre d'études écotoxicologiques de l'ONCFS, souhaite objectiver cet aspect de la conservation des carcasses de gibier tirées à l'acier.

2. Potentielle corrosion du fer doux

Comme nous l'avons développé précédemment lors de la présentation des munitions de substitution, le fer doux présente la particularité de s'oxyder dans certaines conditions.

Ainsi, Bartels et al (1991) ont montré la corrosion de surface des grains d'acier lorsqu'ils étaient placés dans du sérum physiologique (NaCl) et dans du plasma de chien, ainsi que dans une plaie chez un chien de chasse.

Kraabel et al (1996) rapportent que la zone de muscle pectoral de canard vivant, incrustée de grenaille d'acier, présente une coloration grise à verdâtre une semaine après inclusion chirurgicale, et une corrosion après 2 semaines.

Il convient cependant de noter que ces corrosions surviennent chez des animaux **vivants** tout au long du contact grenaille – organisme, donc stimulant le système immunitaire non spécifique de l'animal.

Aucune publication concernant la corrosion de l'acier dans une **carcasse** de gibier n'a pu être trouvée.

Les munitions de chasse ne sont pas soumises au décret n°92-631 du 8 juillet 1992, réglementant l'aptitude des matériaux et objets destinés à entrer en contact avec les denrées, produits et boissons alimentaires.

Il convient cependant de rappeler que les sels de plomb ont une saveur douceâtre, voire sucrée, ce qui les rend appréciés au niveau gustatif, alors que les sels de fer ont un goût très marqué et désagréable.

3. Expérience internationale

Aucune publication n'a à ce jour été publiée concernant l'impact des munitions de substitution au plomb sur les qualités gustatives du gibier.

Cependant la rumeur, selon laquelle les munitions de fer doux rouilleraient dans la viande, a également couru en Angleterre et au Danemark.

Ainsi, suite à la parution d'articles rapportant la corrosion des billes d'acier dans la chair d'animaux vivants (Kraabel et al., 1996), il a été demandé aux chasseurs Danois de rapporter toute anomalie de ce type à la fédération nationale Danoise. Aucun chasseur n'a fait remonté, à ce jour, de telles informations.

Le Directeur de l'association des chasseurs danois nous a fait part de son expérience personnelle : ainsi, sur une période de 20 ans d'utilisation de l'acier, il a chassé, conservé et consommé plus de 2000 pièces de gibier : il n'a jamais retrouvé de grain oxydé, de même qu'il n'a jamais ressenti de changement gustatif lors de ce passage aux munitions d'acier. (Kanstrup, 2006)

L'expérience Américaine est aussi intéressante. En effet, à travers le programme CONSEP (cf. II.3.f.), Roster (2006) a congelé, pendant une période variant de quelques mois à plusieurs années, plus de 19 000 carcasses de gibiers d'eau tués à l'acier.

L'ensemble de ces pièces a ensuite été décongelé pour autopsies, dans le cadre d'études des performances des munitions d'acier. Par la suite, les morceaux consommables ont été donnés à une institution caritative locale (The Gospel Mission, Klamath Falls, Oregon, USA), pour consommation humaine. Chaque fois que la viande de gibier donnée par le programme CONSEP a été servie à l'institut, un membre du programme CONSEP participait au repas, afin de recueillir les éventuels remarques.

Aucun cas de corrosion n'a été rapporté et aucune remarque concernant un éventuel goût lié à l'acier n'a été émise.

De plus, Roster précise qu'aucun professionnel de la faune sauvage, chasseur ou consommateur de gibier, de quelque nationalité que ce soit, n'a jamais rapporté de goût particulier d'une carcasse tuée à l'acier, depuis 25 ans qu'il participe au programme CONSEP.

4. Evaluation hédonique⁵ de filets de canards abattus selon trois protocoles différents : acier, plomb et électrocution

L'objectif de cette étude est de comparer l'appréciation de consommateurs adultes de gibier pour des filets de canard se différenciant par le mode d'abattage des canards :

- électrocutés puis tirés au fusil, munition au plomb,
- électrocutés puis tirés au fusil, munition en acier,
- électrocutés puis décérébrés.

a. Matériel et méthodes

i. Produits

Les produits comparés sont des filets de canard provenant :

- d'un lot de 26 canards électrocutés puis abattus au fusil avec des munitions au plomb,
- d'un lot de 26 canards électrocutés puis abattus au fusil avec des munitions en acier,
- d'un lot de 26 canards électrocutés puis décérébrés

Deux autres canards ont servi aux tests de cuisson préalablement à l'étude.

✓ Provenance des canards

L'étude porte sur 80 canards colverts (*Anas platyrhynchos*) mâles issus du même élevage spécialisé : La Canarderie de la Ronde (37460- Céré La Ronde). Ils sont introduits le 15

⁵ Hédonisme : doctrine qui prend pour principe la recherche du plaisir, de la satisfaction.

février 2006 dans le centre d'études éco-toxicologiques de l'ONCFS (Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage) à Auffargis (78610).

Ils y sont maintenus 14 jours pour remise en condition et quarantaine et reçoivent une alimentation à base de blé et d'eau à volonté.

Le tir des canards s'est déroulé le 1er mars 2006 à Auffargis.

✓ Modes d'abattage

⇒ ***Electrocution***

L'électrocution est effectuée par un électrocuteur-assomoir agréé : la tête de l'animal est introduite entre les électrodes en forme de V et reçoit une charge électrique qui tétanise aussitôt le canard sans que le cœur ne cesse de battre.

54 canards sont électrocutés puis tirés.

26 canards, dits témoins, sont uniquement électrocutés puis décérébrés, afin de mettre en évidence d'éventuels artéfacts dus à l'électrocution.

La sélection des canards est faite au hasard.

⇒ ***Tir au fusil***

Le fusil est un Vouzelaud super IT léger spécial, double détente, à canons superposés, calibre 12, chambre 70 mm, certifié « bille d'acier ». Le canon supérieur est utilisé avec un 1/2 choke.

Deux types de munitions ont été utilisés :

- Le plomb:

Tunet France Chasse calibre 12, n°6, d'une charge de 36 g, longueur 70 mm.

- L'acier :

Tunet Steel shot line, canard acier calibre 12, n°4, d'une charge de 32 g, longueur 70 mm (basse pression).

L'arme est rechargée par un manipulateur, afin que le tireur ne connaisse pas le type de la munition insérée.

Le tireur est placé à 30 m de la cible, appuyé sur un support pour que les tirs soient identiques.

Un portique permettant de suspendre les canards liés par les pattes est installé.

Les canards sont ensuite décrochés, bagués à la patte à l'aide d'une bague aluminium numérotée, et déposés dans un container selon la munition utilisée.

✓ Plumage

Les animaux sont transportés immédiatement par nous-même aux Etablissements Guellier & Fils (Chartres) où ils seront plumés et stockés entre 0 et 5°C.

✓ Observation et radiographies

Le lendemain de leur abattage, le 2 mars, les canards sont dirigés dans un premier temps à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort vers le service de radiologie du Professeur Begon, afin de procéder à leur radiographie:

Radiographie de face et de profil de chaque canard, avec numérotation des clichés par le n° de bague.

Interprétation des clichés : localisation des grains dans les filets. (Figure 12)

Figure 12. Radiographie face et profil du canard n°45, tué à l'acier.



✓ Eviscération

Les canards sont ensuite éviscérés par nous-même et font l'objet d'observations des lésions sur animal plumé.

- halo hémorragique péri-lésionnel
- lésions viscérales (foie / intestin)
- appréciation personnelle sur la morphologie extérieure des lésions
- pesée de l'animal éviscéré et notification sur la fiche en fonction du n° de bague.

Les résultats des examens ainsi que la fiche type d'observation sont présentés en annexes I et II.

✓ Conditionnement et conservation

Les canards, après examen, sont livrés au CTSCCV (Centre Technique de la Salaison, de la Charcuterie et des Conserves de Viandes): ils sont mis entiers en sachets alimentaires et identifiés par le n° de bague, puis congelés à -20°C . Ils resteront stockés à température négative pendant 7 semaines, jusqu'à leur cuisson pour dégustation.

ii. Panel

Le panel est composé de 102 consommateurs adultes pratiquant la chasse ou étant femme, fils ou fille de chasseur et/ou consommant du gibier au moins une fois par an.

La répartition de ces personnes est la suivante :

✓ Age

- 18 à 34 ans : 28 %
- 35 à 54 ans : 37 %
- 55 ans et plus : 35 %

- ✓ Sexe
 - hommes : 47 %
 - femmes : 53 %
- ✓ Pratique de la chasse : 25 %
- ✓ Fréquence de consommation du gibier :
 - plus de 6 fois par an : 41 %
 - 4 à 6 fois par an : 36 %
 - au moins une fois par an : 23 %

iii. Epreuve

Le questionnaire comprend une évaluation globale du filet sur une échelle structurée à 11 points ainsi qu'une question ouverte permettant au consommateur de s'exprimer sur les raisons de ses préférences :

« Observez, sentez, goûtez le produit qui vous est présenté. Quelle est votre appréciation générale pour ce produit ? »

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 Je n'aime pas du tout J'aime vraiment beaucoup

« Indiquez ce qui vous a plu et ce qui vous a déplu dans ce produit ».

<i>Ce qui vous a plu</i>	<i>Ce qui vous a déplu</i>

- Des questions supplémentaires sont posées pour identifier le consommateur : âge, sexe, pratique de la chasse, fréquence de consommation de gibier.

iv. Organisation des séances

Les séances se sont déroulées le 20 avril 2006 à la salle du CTSCCV située au 12 rue Cécile à Maisons-Alfort à 12h, 13h, 18h, 19h et 20h.

Ce laboratoire d'évaluation sensorielle du CTSCCV est conforme à la norme NF V 09-105 : La salle est équipée de 20 boxes éclipables avec lumière d'appel, disposant d'un éclairage type lumière du jour et de filtres rouges et verts. Elle est climatisée afin d'assurer aux consommateurs des conditions de travail conviviales. Un absorbeur d'odeur et un isolement phonique éliminent les perturbations extérieures.

Température de la salle : 23°C ± 5°C.

Préparation et présentation des échantillons :

Les fours étaient préchauffés à 180°C pendant 20 minutes.

Les canards étaient enfournés entiers et congelés. La cuisson était conduite en chaleur sèche pendant 50 minutes environ jusqu'à l'obtention d'une température à cœur de 70°C qui correspond à une teinte rosée du filet.

Dès leur sortie du four, les filets étaient prélevés, coupés en 2 et servis dans des assiettes codées, à raison d'un demi filet par dégustateur.

Les consommateurs recevaient les échantillons en mode monadique séquentiel (les uns après les autres) selon un plan de présentation alterné pour limiter les effets d'ordre et de report.

b. Résultats

Pour la question relative à l'appréciation globale sur échelles structurées, une analyse de la variance à 2 facteurs selon le modèle note = sujets produits a été effectuée afin de mettre en évidence l'existence de préférences potentielles entre les filets.

Les résultats sont donnés dans le **Tableau XX** faisant apparaître les moyennes et écart-types des notes par produit.

L'analyse statistique utilise F, la statistique de Fisher issue de l'analyse de variance ; plus F est grand, plus les différences entre produits sont grandes, et p, le seuil de significativité : lorsque p est inférieur à 5%, les différences observées sont considérées comme significatives.

La Figure 13, la Figure 14 et la Figure 15 représentent les différentes notes attribuées par les consommateurs pour chaque pièce dégustée.

Les **Tableau XXI**, **Tableau XXII** et **Tableau XXIII** reprennent l'ensemble des commentaires formulés par les consommateurs pour chaque filet dégusté.

✓ Appréciation globale

Tableau XX. Appréciation comparée des différents produits.

<i>Canard</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Ecart-type</i>
Témoin - électrocution	6,4	2,4
Tir avec munition au plomb	6,2	2,3
Tir avec munition à l'acier	6,1	2,3

Pas de préférence significative au seuil de 5%
($F_{\text{produit}} = 0.71$, $p_p = 49.31\%$; $F_{\text{sujet}} = 2.45$, $p_s < 0.01\%$)

Globalement, les consommateurs n'ont pas fait de préférence significative entre les trois filets de canard ce qui signifie qu'il n'y a pas d'influence du mode d'abattage (tir au fusil avec munition au plomb, tir au fusil avec munition à l'acier, électrocution) sur la qualité de la viande de canard perçue par les consommateurs.

Figure 13. Histogrammes des notes d'appréciation globale des consommateurs pour les filets témoins.

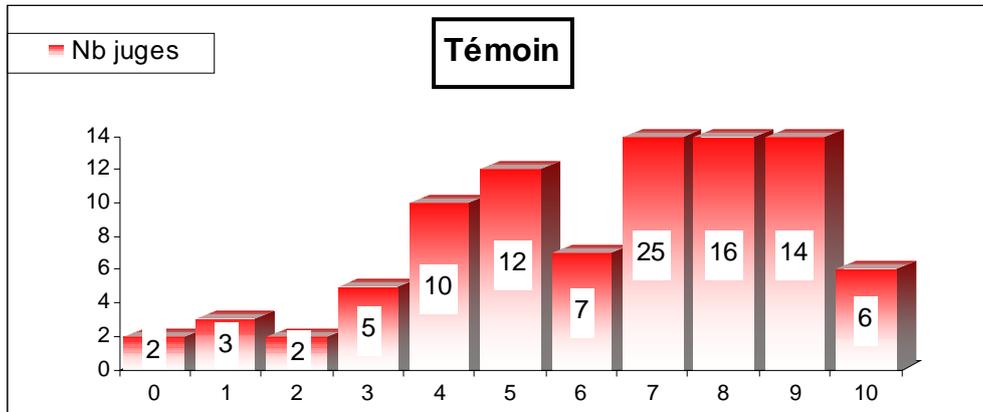


Figure 14. Histogrammes des notes d'appréciation globale des consommateurs pour les filets issus de canards tirés au plomb.

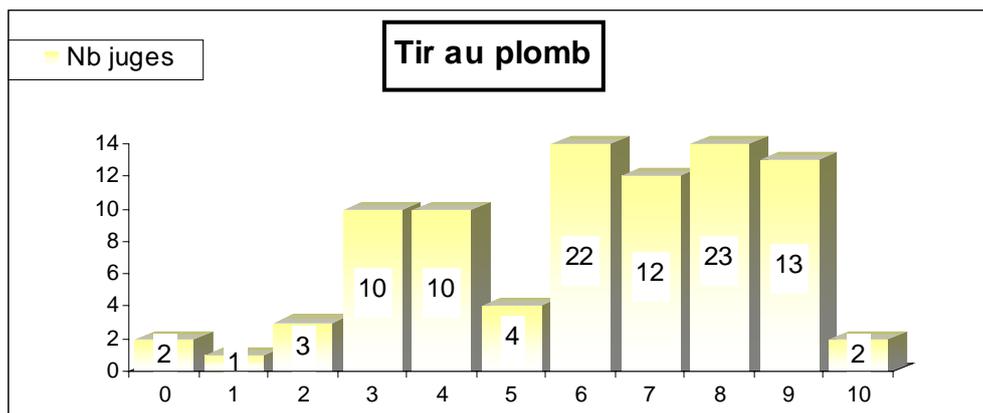
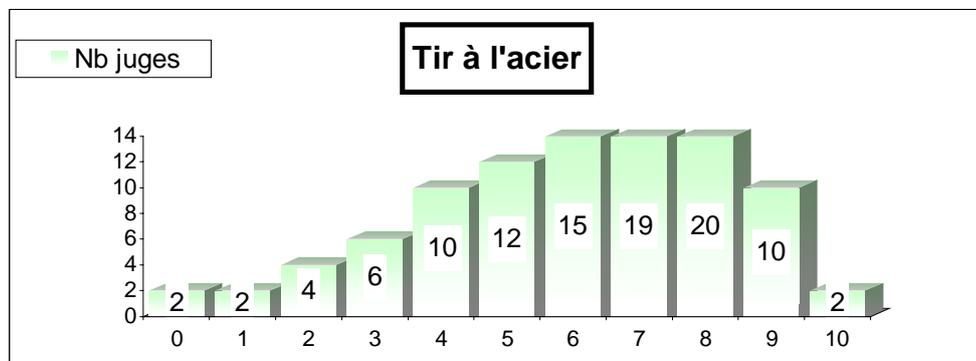


Figure 15. Histogrammes des notes d'appréciation globale des consommateurs pour les filets issus de canards tirés à l'acier.



Les courbes de répartition des notes d'appréciation globale montrent un consensus des consommateurs pour bien apprécier ces filets. En effet, ils sont respectivement 66 %, 67 % et 72 % à attribuer des scores d'appréciation supérieurs ou égaux à 6 aux filets des canards tirés à l'acier, aux filets des canards électrocités et aux filets des canards tirés au plomb.

✓ Synthèse des commentaires des consommateurs

⇒ *Filets de canard témoins (électrocution)*

Tableau XXI. Synthèse des commentaires des consommateurs concernant les filets de canards témoins (électrocution + décérébration).

Points forts		Points faibles		Totaux
ASPECT	24	ASPECT	8	32
aspect agréable	11	aspect désagréable	3	
couleur agréable	7	couleur désagréable	3	
appétissant	3	peau pas assez grillé	1	
couleur rosée	2	aspect de la peau	1	
aspect de la peau	1			
ODEUR	24	ODEUR	1	25
odeur agréable	24	odeur trop forte	1	
TEXTURE	53	TEXTURE	63	116
tendre	18	texture un peu sèche	28	
texture agréable	11	texture un peu ferme	20	
texture moelleuse	6	texture filandreuse	7	
texture ferme	5	difficile à mâcher	3	
fondant	3	texture désagréable	1	
juteux	3	caoutchouteux	1	
finesse	3	produit gras	1	
texture de la peau	2	peau trop ferme	1	
non gras	1	texture pâteuse	1	
gras à point	1			
GOÛT	60	GOÛT	31	91
goût agréable	45	fade	12	
goût affirmé	5	goût trop léger	5	
bonne cuisson pour le goût	4	pas assez relevé	4	
arrière goût agréable	2	goût désagréable	3	
goût persistant	1	goût trop prononcé	3	
goût légèrement fumé	1	arrière goût désagréable	2	
goût du terroir/sauvage	1	aucun goût	1	
goût rôti	1	arrière goût rance	1	
	161		103	264

⇒ *Filets de canard tirés au plomb*

Tableau XXII. Synthèse des commentaires des consommateurs concernant les filets de canards tirés au plomb.

Points forts		Points faibles		Totaux
ASPECT	26	ASPECT	19	45
couleur agréable	11	couleur un peu rouge	6	
aspect agréable	7	couleur désagréable	2	
appétissant	3	présence de nerfs	2	
couleur rosée	2	couleur terne	2	
peau fine	2	aspect de la peau	2	
bien grillé	1	"trous" dans la viande/abîmée	2	
		aspect gras	1	
		aspect filandreux	1	
		un plomb	1	
ODEUR	14	ODEUR	11	25
odeur agréable	14	odeur désagréable	4	
		peu d'odeur	3	
		pas d'odeur	2	
		odeur trop forte	2	
TEXTURE	52	TEXTURE	57	109
tendre	26	texture un peu sèche	27	
texture agréable	7	texture un peu ferme	10	
texture ferme	6	texture filandreuse	7	
texture moelleuse	4	texture désagréable	3	
juteux	3	produit gras	3	
non gras	3	caoutchouteux	2	
fondant	1	texture trop compact	1	
finesse	1	difficile à mâcher	1	
bonne tenue	1	texture non homogène	1	
		peau épaisse	1	
		manque de gras	1	
GOÛT	55	GOÛT	31	86
goût agréable	42	fade	14	
bonne cuisson pour le goût	6	goût trop prononcé	4	
goût affirmé	5	pas assez relevé	3	
arrière goût agréable	1	goût trop léger	3	
goût légèrement fumé	1	goût désagréable	2	
		légèrement acide	1	
		arrière goût désagréable	1	
		aucun goût	1	
		arrière goût métallique	2	
	147		118	265

⇒ *Filets de canard tirés à l'acier*

Tableau XXIII. Synthèse des commentaires des consommateurs concernant les filets de canards tirés à l'acier.

Points forts		Points faibles		Totaux
ASPECT	22	ASPECT	19	41
aspect agréable	8	aspect désagréable	6	
couleur agréable	6	couleur désagréable	3	
couleur rosée	4	aspect de la peau	2	
couleur de la viande	3	couleur un peu rouge	2	
appétissant	1	"trous" dans la viande/abîmée	2	
		peau pas assez grillé	1	
		aspect gras	1	
		présence d'un plomb	1	
		présence d'une plume	1	
ODEUR	15	ODEUR	7	22
odeur agréable	14	odeur trop forte	3	
odeur de canard	1	peu d'odeur	2	
		odeur désagréable	1	
		odeur "faisandée"	1	
TEXTURE	56	TEXTURE	72	128
tendre	18	texture un peu sèche	34	
texture moelleuse	8	texture un peu ferme	19	
texture ferme	8	texture filandreuse	5	
texture agréable	7	texture désagréable	4	
non gras	5	texture trop compacte	2	
finesse	3	caoutchouteux	2	
gras à point	3	difficile à mâcher	2	
fondant	2	texture élastique	1	
juteux	2	texture "nerveuse"	1	
		produit gras	1	
		spongieux	1	
GOÛT	61	GOÛT	24	85
goût agréable	42	fade	6	
goût affirmé	9	goût désagréable	5	
bonne cuisson pour le goût	4	pas assez relevé	3	
goût du terroir/sauvage	3	goût trop léger	2	
bien salé	1	goût trop prononcé	2	
arrière goût agréable	1	goût de sel	1	
goût faisandé	1	aucun goût	1	
		goût de sang	1	
		arrière goût métallique, de sang	3	
	154		122	276

A l'analyse des commentaires donnés par les consommateurs, il apparaît que les filets de canards témoins (électrocutés) ont obtenu un score inférieur de points négatifs concernant leur **aspect** que les deux autres types de filets. Cependant, peu de remarques sont directement liées au tir : les filets de canard tirés au plomb et à l'acier ont obtenu deux remarques négatives concernant la présence de trous dans la viande et une remarque négative concernant la présence d'un plomb.

Les filets de canard témoins ont également obtenu un score supérieur de remarques positives sur leur **odeur**. Mais les remarques négatives spontanées récoltées sur les canards tirés sont trop peu nombreuses et variées pour permettre de mettre en évidence un réel défaut d'odeur (11 % de remarques négatives sur l'odeur pour les canards tirés au plomb, 7 % pour les canards tirés à l'acier).

Les commentaires négatifs concernant la **texture** sont plus nombreux que les commentaires positifs pour les canards témoins et les canards tirés à l'acier ; ils sont en nombre équivalent pour les canards tirés au plomb. La nature des défauts est la même pour les trois produits : texture sèche, ferme et filandreuse essentiellement ; la nature des qualités l'est également : texture tendre, moelleuse, agréable.

Les consommateurs ont donné un plus grand nombre de points forts que de points faibles concernant le **goût** pour les 3 produits mais sans parvenir à le qualifier autrement que par « goût agréable ». Les filets de canards tirés à l'acier ont reçu moins de remarques négatives que les autres produits (23 % contre 30 % pour les 2 autres types de filets).

Un « goût métallique » a été noté par 2 consommateurs sur 102 à propos de filets tirés au plomb et un « goût métallique, de sang » a été noté par 3 consommateurs sur 102, mais n'est pas retrouvée chez les filets témoins.

Or, des hémorragies ont été observées lors du tir des canards, quelle que soit la munition, plomb ou acier, utilisée. Rappelons que l'hémoglobine contient du fer au sein de son hème, ce qui pourrait induire un goût ferreux aux zones d'hémorragie, indifféremment de la munition utilisée pour le tir.

c. Conclusion

Le mode d'abattage des canards - électrocution, tir avec des munitions au plomb, tir avec des munitions à l'acier - n'a pas d'influence sur l'appréciation des filets de canards par les consommateurs. Les trois types de filets de canard étudiés ont obtenu de bons scores d'appréciation avec un fort consensus des consommateurs.

Les commentaires donnés spontanément par les consommateurs ne permettent pas de qualifier et de distinguer sous forme de points forts ou de points faibles les trois types de filets de canard étudiés.

L'analyse sensorielle ayant montré l'absence de modification de saveur de la viande, nous avons tenté de déterminer si une corrosion des grains d'acier avait lieu lors de la congélation d'un morceau de viande incrustée de grenaille.

5. *Visualisation directe d'une corrosion potentielle par congélation de filets incrustés*

i. Matériel :

Les filets de canard utilisés lors de cette expérimentation proviennent du marché de Soissons (02)

Deux types de munitions ont été utilisés :

- Le plomb:

Tunet France Chasse calibre 12, n°6, d'une charge de 36 g, longueur 70 mm.

- L'acier :

Tunet Steel shot line, canard acier calibre 12, n°4, d'une charge de 32 g, longueur 70 mm (basse pression).

ii. Méthode :

Deux filets sont incisés dans leur longueur, jusqu'à faire apparaître le cœur de muscle, puis des grains, d'acier pour un filet, de plomb pour l'autre filet, sont déposés tous les 1.5 cm. Les filets sont alors reconstitués et ficelés. (Figure 16)

Ils sont maintenus à température ambiante pendant 1 heure avant d'être mis en sachets de congélation, identifiés par la munition utilisées, la date et l'heure de congélation, puis congelés à -20°C.

Les incrustations de filets ont eu lieu toutes les mercredi midi pendant 6 semaines à partir du mercredi 22 mars 2006.

Les filets sont ensuite décongelés le 5 Octobre 2006 à 12h, laissés à température ambiante jusqu'au 6 octobre 14h, ce qui correspond à une période moyenne de congélation de 25 semaines +/- 3 semaines.

Ils sont ouverts et des observations macroscopiques sous loupe binoculaire sont effectuées.

iii. Observations :

L'examen des filets incrustés de plomb n'indique aucune marque sur la viande, ni aucun signe de modification de surface.

L'observation à l'œil nu, lors de l'ouverture de filets incrustés d'acier, ne met en évidence aucune modification des grains d'acier, ni de coloration de la viande au contact de billes d'acier. (Figure 17 et Figure 18)

L'observation sous loupe binoculaire à un grossissement X16 d'un filet incrusté à l'acier met en évidence une légère coloration orangée sur les grains. (Figure 19 et Figure 20)

Le passage d'un coton tige humide sur cette coloration la fait cependant disparaître pour redonner l'aspect d'une bille issue d'une cartouche neuve. (Figure 21)

Cette coloration ne correspond donc pas à une corrosion de la bille (corrosion qui laisserait apparaître une perte de substance de la bille.)

Ces filets sont ensuite consommés par notre entourage et aucune anomalie gustative ou visuelle n'est rapportée.

Figure 16. Gauche: filet incrusté de grains d'acier. Droite: filet reconstitué

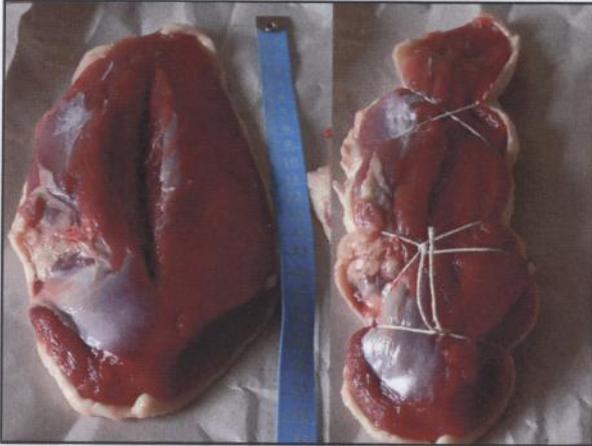


Figure 17. Aspect macroscopique des billes d'acier après congélation



Figure 18. Aspect macroscopique d'une bille d'acier après congélation



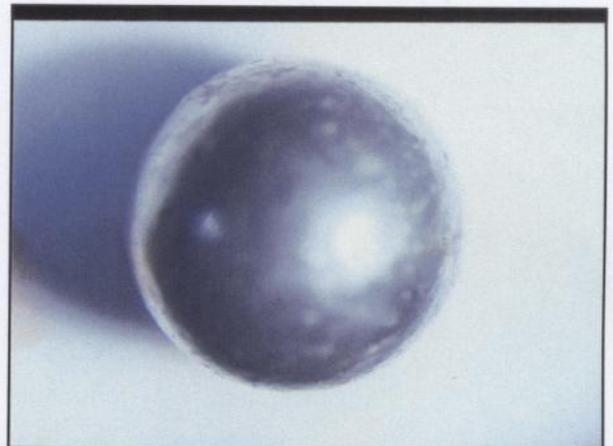
Figure 19. Aspect sous loupe binoculaire X16 d'une bille d'acier après congélation



Figure 20. Aspect sous loupe binoculaire X40 d'une bille d'acier après congélation



Figure 21. Aspect sous loupe binoculaire X16 d'une bille d'acier témoin



iv. Conclusion :

La congélation, pour une durée de six mois, de viande contenant des grains d'acier n'induit pas de modification des grains d'acier et n'engendre pas de coloration sur la chair au contact de ces mêmes grains.

6. Discussion

L'étude que nous venons de réaliser rejoint les constatations recueillies tant aux Etats-Unis qu'au Danemark.

a. Absence de différence de goût

L'évaluation hédonique, par 102 consommateurs, de filets de canards abattus au plomb ou à l'acier n'a pas permis de mettre en évidence de différence d'appréciation, quelque soit le mode d'abattage.

En effet, la note moyenne obtenue par les filets issus de canards tirés à l'acier est de 6,1 et celle des filets issus de canards tirés au plomb est de 6,2, avec des écart-types identiques (2.3). L'analyse statistique de ces résultats a permis d'affirmer l'absence d'influence du mode d'abattage sur la qualité de la viande de canards perçue par les consommateurs.

Cependant, un « arrière goût métallique » est rapporté par quelques consommateurs, mais cette sensation est retrouvée aussi bien dans des filets tirés à l'acier (3 consommateurs sur 102) que dans les filets tirés à au plomb (2 consommateurs sur 102).

Comme nous l'avons rappelé précédemment, l'hémoglobine contient du fer au sein de son hème, ce qui pourrait induire un goût ferreux aux zones d'hémorragie.

Comme il a été rapporté des blessures plus sanglantes par l'acier (Aillery et Bedu, 2005), cela pourrait conduire certains consommateurs de gibier à ressentir plus fortement ce goût métallique dans des carcasses tirées à l'acier, puis à rapprocher ce goût ferreux à la munition d'acier (fer doux) utilisée, alors qu'elle n'est pas à l'origine de cette modification de saveur.

b. Temps de congélation

Les carcasses de canards Colverts n'ont été congelées que 7 semaines, pour des raisons logistiques, ce qui pourrait paraître un peu court au regard des temps habituels de congélation du gibier (consommation dans l'année suivant son abattage).

Cependant la deuxième expérience qui a consisté à incruster des filets avec de la grenaille, a permis des temps de congélation de 22 à 28 semaines (6 mois). Et l'examen attentif de ces filets n'a pas permis de mettre en évidence une corrosion de surface des grains d'acier.

Nous pouvons donc extrapoler à partir de ces deux expérimentations, que quel que soit le temps de congélation des carcasses de gibier, aucune corrosion ne devrait venir perturber l'appréciation gastronomique de ces pièces de gibier.

c. Contact chair–grenaille :

Les filets utilisés lors de l'évaluation hédonique par des consommateurs ont tous été traversés par la grenaille d'acier ou de plomb, mais peu de grains sont restés au niveau de ces filets, allant plutôt se loger le long de la colonne vertébrale (distance nécessaire aux grains pour évacuer leur énergie cinétique).

Ainsi, le contact chair grenaille n'était pas constant lors de la congélation.

Les canards auraient peut être dû être suspendus de manière à présenter le dos à la gerbe de grains, afin que ces même grains terminent leur course dans les filets. Notons cependant qu'en conditions réelles de chasse, les canards sont généralement tirés du dessous, et la pénétration des grains est aléatoire et moins dense que lors de l'expérimentation.

Cependant, les carcasses de Colverts, cuites et privées de leurs filets suite à la dégustation, ont été distribuées à diverses personnes. Il n'a pas été rapporté de corrosion ou de goût désagréable lors de la consommation des autres morceaux, contenant pour certains, des grains d'acier.

De plus, l'expérience consistant à incruster directement des filets de canard, a assuré un contact étroit et permanent entre la chair de canard et les grains d'acier et aucun processus de corrosion n'a été relevé.

Notre étude permet d'affirmer que la saveur du gibier auquel était habitué le chasseur qui utilisait des munitions au plomb, sera conservée chez les oiseaux tirés avec une munition en acier et que le risque de corrosion des grains d'acier dans la chair est négligeable pour des durées de congélation d'environ 6 mois.

CONCLUSION

Les munitions alternatives représentent la seule solution durable et efficace pour éviter l'ingestion de plomb par des oiseaux d'eau et le dépérissement de ces espèces du fait du saturnisme.

L'effet indésirable de la chasse à l'acier se limite aux éventuelles pertes par blessures. Dans le cas de la chasse à la grenaille de plomb, il faut ajouter à la perte des animaux blessés :

- ⇒ La perte d'Anatidés et d'autres oiseaux par saturnisme létal et subléthal résultant d'une consommation directe,
- ⇒ la perte de rapaces et de détritivores par saturnisme secondaire,
- ⇒ le risque d'exposition au plomb de certaines espèces d'élevage tel le bétail,
- ⇒ l'exposition inutile des humains qui consomment du gibier abattu au plomb,
- ⇒ La persistance, et souvent la mise en solution, du plomb métallique dans l'environnement,
- ⇒ le passage du plomb sous forme métallique ou moléculaire chez les organismes végétaux et animaux.

Notre étude expérimentale a permis de démontrer l'absence de dépréciation de la viande de gibier tué à l'acier par rapport à la viande de gibier tué au plomb, ainsi que l'absence de corrosion des grains d'acier dans la chair de canards lors de congélation prolongée.

Les chasseurs français se sentent impliqués dans la chasse durable et la protection du gibier. Ils peuvent désormais y participer activement en utilisant ces munitions de substitution au plomb.

Leurs inquiétudes peuvent être levées aujourd'hui par les différentes études menées au cours de ces dernières années.

En outre, par l'étude expérimentale qui vient d'être réalisée, la crainte d'une altération des carcasses de gibier lors de l'utilisation de grenaille d'acier ne se trouve pas justifiée et ne doit donc pas freiner la mise en place des munitions alternatives au plomb.

L'ensemble des acteurs de la filière doit rester vigilant et rapporter toute anomalie pouvant être liées aux munitions alternatives, afin de faire progresser les connaissances scientifiques et la protection de l'environnement et de la faune sauvage.

BIBLIOGRAPHIE

AEWA (2002) *Accords sur les oiseaux d'eau migrants d'Afrique-Eurasie. Bulletin de l'AEWA : L'intoxication saturnine des oiseaux d'eau par suite de l'ingestion de grenaille de plomb dispersée dans la nature.* Bonn : Ed Spéciale N°1, 27p

AILLERY P, BEDU L. (2005) L'acier, on s'y fait: ils ont vécu leur première saison sans plomb. *Connaissance de la chasse*, **348**, 38-46.

ANDERSON WL, HAVERA SP, ZERCHER BW. (2000) Ingestion of lead and non-toxic shotgun pellets by ducks in the Mississippi flyway. *J. Wildl. Manage.*, **64**(3), 848-857.

ANDREWS R, LONGCORE JR. (1969) The killing efficiency of soft iron shot. *In: Proceedings of the thirty-fourth North American Wildlife and natural resources Conference.* Washington (USA), 2-5 mars 1969. Washington (USA) : Wildlife management institute, 337-345.

ANONYME (2002) *Matériaux en contact alimentaire et migrations: Matériaux plastiques, métalliques, papiers, cartons, bois.* Paris : SIA, 95p.

BANA G. (2004) *Impact écologique de l'utilisation de la grenaille de plomb sur les habitats terrestres et sur l'accumulation de plomb chez les oiseaux non aquatiques.* Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe. Comité permanent du conseil de l'Europe, 24^{ème} réunion, 22p.

BARON P. (2001) *Suppression de l'utilisation de la grenaille de plomb de chasse dans les zones humides exposant les oiseaux d'eau au saturnisme.* Rapport du ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. 20p.

BARTELS KE., COHEN RE., (1991) Corrosion potential of steel bird shot in dogs. *JAVMA*, **199**(7), 856-863.

BASC. (2000) *Lead free shot:: The complete guide.* Londres: The British Association for shooting and conservation, 13p.

BECK N, GRANVAL P. (1997) Ingestion de plombs de chasse par la bécassine des marais (*Gallinago gallinago*) et la bécassine sourde (*lymnocryptes minimus*) dans le nord-ouest de la France. *Gibier Faune Sauvage, Game wildl.*, **14**(1), 65-70.

BEINTEMA NH. (2001) *Lead poisoning in waterbirds. International update report 2000.* Wageningen, Pays-bas : Wetlands International, 84p.

BELLROSE FC. (1959) Lead poisoning as a mortality factor in waterfowl populations. *Ill. Nat. Hist. Surv. Bull*, **27**(3), 235-288.

BEYER WN, FRANSON JC, LOCKE LN, STROUD RK, SILEO L. (1998) Retrospective study of the diagnostic criteria in a lead-poisoning survey of water fowl. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **21**, 549-555.

BON F., (2006, 24 octobre). *Application de l'arrêté du 9 mai 200 : surveillance et répression* [e-mail à Alice de Besombes], [en-ligne] alice_debesombes@yahoo.fr.

BOUDENE C. (2000) *Toxicité des métaux lourds*. Paris : SIA, 107p.

BREWER L, FAIRBROTHER A, CLARK J, AMICK D. (2003) Acute toxicity of lead, steel, and an iron-tungsten-nickel shot to mallard ducks (*Anas platyrhynchos*). *J. Wildl. Dis.*, **39**(3), 638-648.

BRISTER B. (1992) Steel shot: ballistics and gun barrel effects. *In: PAIN DJ. (ed) Lead poisoning in waterfowl. Proceedings of an IWRB Workshop*. Brussels, Belgium, 13-15 June 1991. Slimbridge, R-U: IWRB Special Publication N° 16, 26-28.

BREWER LW. (1981) A new apparatus for separating lead shot from waterfowl gizzard contents. *J. wild. Manage.*, **45**(2), 496-498.

BUERGER TT, MIRARCHI RE, LISANO ME. (1986) Effects of lead shot ingestion on captive Mourning Dove survivability and reproduction. *J. wildl. Manage.*, **50**(1), 1-8.

DAURY RW, SCHWAB FE, BATEMAN MC. (1993). Blood lead concentrations of waterfowl from un hunted and heavily hunted marshes of Nova Scotia and Prince Edward Island, Canada. *J. Wildl. Dis.*, **29**(4), 577-581.

DETOURS D. (2002) Au gibier d'eau, en 2005, le plomb c'est fini. *Le Saint-Hubert, novembre - décembre 2002*, 52-57.

DIETER MP, FINLEY MT. (1978). Erythrocyte δ -aminolevulinic acid dehydratase activity in Mallard Ducks: duration of inhibition after lead dosage. *J. wildl. Manage.*, **42**(3), 621-624.

DURANEL A. (1999a) Le saturnisme des Anatidés : étude clinique et lésionnelle, situation en France. *BIPAS*, **20** : 79-90

DURANEL A. (1999b) *Effet de l'ingestion de plombs de chasse sur le comportement alimentaire et la condition corporelle du canard colvert (Anas platyrhynchos)*. Thèse Méd. Vét., Nantes, n°60, 96p.

ECOMASS (mise à jour du 18 octobre 2006). *Ecomass – The Nontoxic alternative to lead*. [en-ligne]. [<http://www.ecomass.com>], (consulté le 18 octobre 2006).

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA) (25 août 2005) *Avis du groupe scientifique sur les produits diététiques, la nutrition et les allergies suite à une demande de la Commission relative à l'apport maximal tolérable d'étain*. [en-ligne]. [http://www.efsa.europa.eu/fr/science/nda/nda_opinions/1097.html], consulté le 25 octobre 2006).

FEIERABEND JS. (1985) Legal challenge to nontoxic (steel) shot regulations. *Southeast. Assoc. Fish and Wildlife Agencies. Proc. Annu. Conf*, **39**, 452-458.

- FINLEY MT, DIETER MP, LOCKE LN. (1976a) Lead in tissues of Mallard Ducks dosed with two types of lead shot. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **16**(3), 261-269.
- FINLEY MT, DIETER MP, LOCKE LN. (1976b) Sublethal effects of chronic lead ingestion in Mallard Ducks. *J. Toxicol. Environ. Health.*, **1**, 929-937.
- FNC (2004) *Dossier technique d'information : la nouvelle réglementation concernant la grenaille de plomb en zones humides*. Paris : FNC, 9p.
- FORBES RM, SANDERSON GC. (1978) Lead toxicity in domestic animals and wildlife. *In : The biogeochemistry of lead in environment*. Nriagu : Elsevier North-Holland Biomedical press., 225-277.
- FRAPE DL, PRINGLE JD. (1984) Toxic manifestations in a dairy herd consuming haylage contaminated by lead. *Vet. Record*, **114**, 615-616.
- FRENCH M. (1996) Toxicity testing of alternative gun shot materials. *Proceedings of a British Association for Shooting and Conservation seminar - Non toxic shot: progress and needs*. Shrivenham, R-U, 1 et 2 mai 1996. Wrexham, R-U: BASC, 79-84.
- FRIEND M. (1985) *Interpretation of criteria commonly used to determine lead poisoning problem areas*. Washington D.C.: U.S.F.W.S., Fish and Wildlife Leaflet, 25p.
- FULLMER CS. (1995) Dietary calcium levels and treatment interval determine the effects of lead ingestion on plasma 1,25-dihydroxyvitamin D concentration in chicks. *J. Nutr.* **125**, 1328-1333.
- GAMEBORE (2004): *Non toxic information: a guide to shooting with three non-toxic alternatives*. Kent : Gamebore cartridge Co Ltd, 17p.
- GORDUS AW. (1993) Lead concentrations in liver and kidneys of Snow Geese during an avian cholera epizootic in California. *J. Wildl. Dis.*, **29**(4), 582-586.
- GRINNELL GB. (1894) Lead poisoning. *Forest and Stream*, **42**(6), 117-118.
- GUITARD R, TO-FIGUERAS J, MATEO R, BERTOLEROA, CERRADELO S, MARTINEZ-VILALTA A. (1994) Lead poisoning in waterfowl from the Ebro delta, Spain: Calculation of lead exposure thresholds for Mallards. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **27**, 289-293.
- HAVERA SP, WHITTON RM, SHEALY RT. (1992) Blood lead and ingested and embedded shot in diving ducks during spring. *J. Wildl. Manage.*, **56**(3), 539-545.
- HOVETTE C. (1973) *Le saturnisme des Anatidés de la Camargue*. Thèse Univ. Biologie animale, Université de Provence, 151p.
- HUNTER B, WOBESER G. (1979) Encephalopathy and peripheral neuropathy in lead-poisoned Mallard Ducks. *Avian Disease*, **24**(1), 169-177.

- KAMINSKY P, KLEIN M, DUC M. (1993) Physiopathologie de l'intoxication par le plomb inorganique. *Revue médicale interne*, **14**, 163-170.
- KANSTRUP N. (2006, 3 Février). *Denmark and Steel Shot* [e-mail à Alice de Besombes] [en ligne] alice_debesombes@yahoo.fr.
- KELLY ME, FITZGERALD SD, AULERICH RJ, BALANDER RJ, POWELL DC, STICKLE RL *et al.* (1998) Acute effects of lead, steel, tungsten-iron, and tungsten-polymer shot administered to game-farm mallards. *J. Wildl. Dis.*, **34**(4), 673-687.
- KRAABEL BJ, MILLER MW, GETZY DM, RINGELMAN JK. (1996) Effect of embedded tungsten-bismuth-tin shot and steel shot on mallards (*Anas platyrhynchos*). *J. Wildl. Dis.*, **32**(1), 1-8.
- KRÜPER W. (1992) Steel shot: ballistics and gun barrel effects. In: PAIN DJ. (ed) *Lead poisoning in waterfowl. Proceedings of an IWRB Workshop*. Brussels, Belgium, 13-15 June 1991. Slimbridge, R-U: IWRB Special Publication N° 16, 29-31.
- LEFRANC H. (1993) *Enquêtes sur le saturnisme des anatidés en France métropolitaine – Bilan de la saison 1992-1993*. Rapport de stage BTA GFS. 27p.
- LOCKE LN, IRBY HD, BAGLEY GE. (1967) Histopathology of Mallard dosed with lead and selected substitute shot. *Bull. Wildl. Dis. Assoc.*, **3**, 143-147.
- LOCKE LN, FRIEND M. (1992) Lead poisoning of avian species other than waterfowl In: PAIN DJ. (ed) *Lead poisoning in waterfowl. Proceedings of an IWRB Workshop*. Brussels, Belgium, 13-15 June 1991. Slimbridge, R-U: IWRB Special Publication N° 16, 19-22.
- LONGCORE JR, LOCKE LN, BAGLEY GE, ANDREWS R. (1974) *Significance of lead residues in Mallard tissues*. Washington DC: USFWS Spec. Scient. Rep. Wildl. , 24p.
- MAUVAIS G. (1991) *Le saturnisme des Anatidés, étude expérimentale et enquête sur le site du lac de Grand-Lieu (Loire-Atlantique)*. Thèse. Méd. Vét., Nantes, n°027, 139p.
- MEZIERES M. (1999) *Effet de l'ingestion de plombs de chasse sur la reproduction du canard colvert (Anas platyrhynchos)*. Thèse Méd. Vét., Nantes, n°61, 75p.
- MIQUEL G. (2001) *Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé*. Annexe au procès verbal de la séance du 5 avril 2001. Paris : Assemblée Nationale – Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 346p.
- MONDAIN-MONVAL JY. (1999) Programme d'éducation à la chasse à tir, l'approche nord-américaine. *Bulletin mensuel de l'Office National de la chasse*, **246**, 26-35.
- MONDAIN-MONVAL JY, DESNOUHES L, TARIS JP. (2002) Lead shot ingestion in waterbirds in the Camargue (France). *Game and Wildlife Science*, **19**(3), 237-246.
- MONDAIN-MONVAL JY, LAMARQUE F. (2004) Saturnisme des Anatidés : une bonne raison pour passer aux munitions sans plomb? *Faune sauvage*, **261**, 59-68.

MONDAIN-MONVAL JY, REUDET D, ROCA L. (1999) Munitions non toxiques, quelles alternatives aujourd'hui ? *Bulletin mensuel de l'Office National de la Chasse*, **243**, 28-35.

MOREHOUSE K. (1992) Crippling loss and shot type: The United States experience. In: PAIN DJ. (ed) *Lead poisoning in waterfowl. Proceedings of an IWRB Workshop*. Brussels, Belgium, 13-15 June 1991. Slimbridge, R-U: IWRB Special Publication N° 16, 32-37.

MUDGE GP. (1992) Options for alleviating lead poisoning: a review and assessment of alternatives to the use of non-toxic shot. In: PAIN DJ. (ed) *Lead poisoning in waterfowl. Proceedings of an IWRB Workshop*. Brussels, Belgium, 13-15 June 1991. Slimbridge, R-U: IWRB Special Publication N° 16, 23-25.

OFFICE NATIONAL DE LA CHASSE ET DE LA FAUNE SAUVAGE (ONCFS), Direction de la Police (mise à jour du 18 octobre 2006), *Analyse de l'interdiction de la grenaille de plomb dans les zones humides*. [en-ligne]. [http://www.oncfs.gouv.fr/events/a_la_une/grenaille_de_plomb_zones_humides.pdf], (consulté le 18 octobre 2006).

OFFICE NATIONAL DE LA CHASSE ET DE LA FAUNE SAUVAGE (ONCFS), (2006) *Données internes*, non publiées.

PAIN DJ. (1987) *Lead poisoning in waterfowl: an investigation of sources and screening techniques*. Unpublished D.Phil. thesis, University of Oxford, 97p.

PAIN DJ. (1989) Haematological parameters as predictors of blood lead and indicators of lead poisoning in the Black Duck (*Anas rubripes*). *Environ. Pollut.* **60**, 67-81.

PAIN DJ. (1991a) L'intoxication saturnine de l'avifaune : une synthèse des travaux français. *Gibier Faune sauvage*, **8**, 79-92.

PAIN DJ. (1991b) Why are lead-poisoned waterfowl rarely seen? The disappearance of waterfowl carcasses in the camargue. *Wildfowl*, **42**, 118-122.

PAIN DJ. (1992) Lead poisoning in waterfowl: a review. In: PAIN DJ. (ed) *Lead poisoning in waterfowl. Proceedings of an IWRB Workshop*. Brussels, Belgium, 13-15 June 1991. Slimbridge, R-U: IWRB Special Publication N° 16, 7-13.

PAIN DJ. (1996) Lead in waterfowl. In: BEYER WN., HEINZ GH., REDMON-NORWOOD AW. *Environmental Contaminants in Wildlife: Interpreting Tissue Concentrations*. Lewis Publishers, 251-264.

PAIN DJ, AMIARD-TRINQUET C. (1993) Lead poisoning of raptors in France and elsewhere. *Ecotoxicol. Environ. Safety*, **25**, 183-192.

PAIN DJ, EON L. (1993) Methods of investigating the presence of ingested lead shot in waterfowl gizzards : an improved visual technique. *Wildfowl*, **44**, 184-187.

PAIN DJ, AMIARD-TRINQUET C, SYLVESTRE C. (1992) Tissue lead concentrations and shot ingestion in nine species of waterbirds from the Camargue (France). *Ecotoxicol. Environ. Safety*, **24**, 217-233.

PINAULT L. (1996) *Evaluation de l'exposition au plomb des canards en France – Résultats d'une enquête conduite de 1992 à 1995 en 7 sites*. Nantes : Laboratoire de pharmacie et toxicologie, ENVN, 25p.

PIROT JY, TARIS JP. (1987) Le saturnisme des anatidés hivernant en Camargue : réactualisation des données. *Gibier Faune Sauvage*, **4**, 83-94.

REDDY ER. (1985) Retained lead shot in the appendix. *J. Can. Assoc. Radiol.*, **36**, 47-48.

ROSCOE DE, NIELSEN SW, LAMOLA AA, ZUKERMAN D. (1979) A simple, quantitative test for erythrocytic protoporphyrin in lead-poisoned ducks. *J. Wildl Dis.*, **15**, 127-136.

ROSTER T. (2006, 4 février). *United-States and Non-Toxic Shot* [e-mail à Alice de Besombes] [en-ligne] alice_debesombes@yahoo.fr.

SANDERSON GC. (1992) Lead poisoning mortality. In: PAIN DJ. (ed) *Lead poisoning in waterfowl. Proceedings of an IWRB Workshop*. Brussels, Belgium, 13-15 June 1991. Slimbridge, R-U: IWRB Special Publication N° 16, 14-18.

SANDERSON GC, BELLROSE FC. (1986) *A review of the problem of lead poisoning in waterfowl*. Champain, Illinois: Ill. Nat. Hist. Surv. Spec. Pub., 34p.

SANDERSON GC, WOOD SG, FOLEY GL, BRAUN JD. (1992) Toxicity of bismuth shot compared with lead and steel shot in game-farm mallards. *Trans. 57th North Am. Wildl. Nat. Res. Conf.*, **57**, 526-540.

SCHEUHAMMER AM, NORRIS SL. (1995) *Examen des impacts environnementaux de la grenaille et des plombs de pêche en plomb au Canada*. Hors série n°88. Ottawa, Canada : service canadien de la faune sauvage, 60p.

SCHOOOF C., (2005, 7 novembre). *Composition des billes d'acier Rottweil* [e-mail à Alice de Besombes], [en-ligne] alice_debesombes@yahoo.fr.

SCHRICKE V. (1993) Le Saturnisme : une synthèse internationale du BIROE. *Bulletin mensuel de l'Office national de la chasse*, **180**, 8-13.

TAVECCHIA G, PRADEL R, LEBRETON JD, JOHNSON AR, MONDAIN-MONVAL JY. (2001) The effect of lead exposure on survival of adult Mallards in the Camargue, southern France. *Journal of applied Ecology*, **38**, 1197-1207.

THOMAS VG, OWEN M. (1995) Transition towards use of non-toxic shot in the United Kingdom. *Wildfowl.*, **46**, 157-160.

USFWS (United States Fish and Wildlife Services). (1986) *Use of lead shot for hunting migratory birds in the United States*. Final supplemental environmental impact statement, Waxhington DC.: USFWS, 30p.

VOUZELAUD V., (2006, 2 novembre). *Composition de la grenaille de plomb, utilisée dans les fabrications Vouzelaud* [e-mail à Alice de Besombes], [en-ligne] alice_debesombes@yahoo.fr.

YAMAMOTO K., HAYASHI M., YOSHIMURA M., HAYASHI H., HIRATSUKA A., ISII Y. (1993) The prevalence and retention of lead pellets in Japanese Quail. *Environ. Contam. Toxicol.*, **24** (4), 478-482.

Textes législatifs:

MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, COCHET Y. *Arrêté du 21 mars 2002 modifiant l'arrêté du 1^{er} août 1986 relatif à divers procédés de chasse, de destruction des animaux nuisibles et à la reprise du gibier vivant dans un but de repeuplement.* NOR : ATEN0210092A. (Annexe IV)

MINISTERE DE L'ECOLOGIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE, LEPELTIER S. *Arrêté du 9 mai 2005 modifiant l'arrêté du 1^{er} août 1986 relatif à divers procédés de chasse, de destruction des animaux nuisibles et à la reprise du gibier vivant dans un but de repeuplement.* NOR : DEVN0540166A. (Annexe V)

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT, DU LOGEMENT, DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DU TRANSPORT. *Arrêté du 1^{er} août 1986 relatif à divers procédés de chasse, de destruction des animaux nuisibles et à la reprise du gibier vivant dans un but de repeuplement.* (annexe III)

ANNEXES

Annexe I : Fiche individuelle d'observation utilisée lors de l'abattage des canards

Annexe II : Tableau récapitulatif des observations individuelles faites sur les canards lors de l'abattage et de l'éviscération.

Annexe III : Arrêté du 1^{er} août 1986, relatif à divers procédés de chasse, de destruction des animaux nuisibles et à la reprise du gibier vivant dans un but de repeuplement.

Annexe IV : Arrêté Cochet du 21 mars 2002.

Annexe V : Arrêté Lepeltier du 9 mai 2005.

Annexe I : Fiche individuelle d'observation utilisée lors de l'abattage des canards

Fiche individuelle d'observations
--

Ordre de tir :

Sexe = mâle

N° de bague :

Poids après éviscération :

-
- Auscultation post-électrocution : le cœur bat toujours oui non
 - Cartouche utilisée: acier plomb
 - Observation sur le tir :

➤ Examen des lésions viscérales (foie, intestin) lors de l'éviscération
Perforation des organes....

- Examen macroscopique post éviscération

Halot hémorragique péri lésionnel :

Profondeur de pénétration :

Nature des lésions observables :

Appréciation personnelle de l'observateur :

-
- Interprétation radiographique : référence de cliché :

Présence de grains dans le filet droit oui non

Filet gauche oui non

Annexe II : Tableau récapitulatif des observations individuelles faites sur les canards lors de l'abattage et de l'éviscération.

N°	type	poids	Observations lors du tir	Observations des organes lors de l'éviscération
1	P	560	saigne+, ailes casses	thorax +
2	P	530	pas mort directe, transpercé	hématomes poitrail++
3	A	610	très hémorragique, mort sur le coup	fracture ts les membres + hématome patte - peu hémorragique.
4	P	610	mort directe, bec	hémothorax ++
5	A	510	saigne+, ailes casses	peu hémorragique thorax + abdomen, rupture intestins hématomes poitrail
6	A	670	très hémorragique, prend plus le choc	fracture ts membres, cœur, abdomen+++
7	A	580	hémorragique ++ pas mort directe, pattes KC	abdomen ++ foie, hématomes poitrail
8	P	520	mort rapide, pas de sang	hémothorax +++, abdomen++
9	P	580	mort rapide, tête touchée	hémothorax ++, rupture rectum
10	A	610	saigne+++	
11	A	700	peu hémorragique	abdomen+++ thorax ++ intestins congestionnés
12	P	580	bec	hémothorax ++ hématomes poitrail
13	P	560	cou	
14	A	650	saigne peu	cœur
15	A	680	pas de sang, fracture de tous membres	cœur gésier intestins perfo, hémorragiquethorax ++ à resaigné
16	P	620	bec poitrail	hémotorax hématomes poitrail
17	P	600	bec	hémothorax, vésicule biliaire, hématomes
18	P	520	saigne+	hémothorax+ hématomes poitrail
19	A	660	aile saigne, mort lente	abdomen ++ et congestionné
20	A	500	saigne bec	thorax +++ hématomes poitrail
21	P	570	qq gouttes sg brechet et pattes	rupture intestin hémothorax ++
22	P	690	bec + ailes	hémorragique++
23	A	600	peu	hémothorax ++
24	A	580	mort sur le coup, bec+++	peu hémorragique, hématome poitrail
25	A	590	bec ++	foie et intestins
26	A	580	mort nette saigne bcp bec et cou	cœur bombardé, thorax et abdomen ++, transpercé
27	P	540	pas de sang mort, lente	abdomen +++ hématomes
28	P	580	mort lente, transpercé, saigne dos	abdomen ++ hématomes cuisses et poitrail
29	P	480	bec	hémothorax hématomes
30	A	550	saigne peu	thorax +++, intestins, hématomes poitrail
31	P	550	bec	foie++, hémothorax++ transpercé, hématomes
32	A	590	aile et pattes	hémorragique++
33	P	560	mort nette	perforation cœur ++ et intestins
34	A	610	pas de sang	pas d'hémorragique abdomen
35	A	590	mort nette, saigne un peu	thorax ++ cœur et foie
36	P	600	pas de sang	perforation intestins coeur - hémothorax ++ abdomen +
37	P	580	bec saigne un peu	fracture de tous les membres
38	A	710	poitrail	tous organes touchés
39	A	600	mort nette, pas de sang	fractures tous les membres, cœur perforé hémothorax+++
40	P	590	saigne du bec	transpercé- fracture 2 ailes, nombreux impacts petits et nummulaires
41	P	580	tête ++	hémothorax cœur ++
42	A	650	saigne un peu	
43	A	680	cou bec +++	hémothorax +
44	P	700	mort nette, pas de sang	hémothorax +++, hématomes poitrail

45	A	740	mort nette cou et bec	thorax +++
46	A	620	bec + cou	hémithorax +++ hématomes poitrail
47	P	600	cou + bec	transpercé, hématomes cuisses
48	P	690	pas de sang mort lente	Hémorragique ++
49	A	610	aile + bec+++	abdomen et thorax ++ hématomes poitrail+++
50	P	560	saigne poitrail tête cou++	hémithorax Léger
51	P	550	bec	hématomes poitrail
52	A	600	bec saigne un peu	abdomen +++ intestin + cœur touchés, transpercé
53	A	690	poitrail+	Hémorragique +++, hématome poitrail
54	P	550	bec++	hématomes, hémithorax+
55	T	530		Témoins
56	T	515		
57	T	630		
58	T	660		
59	T	610		
60	T	630		
61	T	500		
62	T	500	traces parasitaires foie	
63	T	590		
64	T	590	échaudé au plumage	
65	T	480		
66	T	620		
67	T	640		
68	T	620		
69	T	510		
70	T	500	traces parasitaires foie	
71	T	610		
72	T	590	échaudé au plumage	
73	T	530		
74	T	590		
75	T	540		
76	T	570		
77	T	520	témoin des photos	
78	T	540		
79	T	600		
80	T	540	viscères pâles => suspect?	

A= tué à l'acier
P = tué au plomb
T= Témoin

Annexe III : Arrêté du 1^{er} août 1986, relatif à divers procédés de chasse, de destruction des animaux nuisibles et à la reprise du gibier vivant dans un but de repeuplement.

Journal officiel "Lois et Décrets" du 05/09/1986 page 10769

Arrêté du 1^{er} août 1986 relatif à divers procédés de chasse, de destruction des animaux nuisibles et à la reprise du gibier vivant dans un but de repeuplement

Le ministre délégué auprès du ministre de l'équipement, du logement, de l'aménagement du territoire et des transports, chargé de l'environnement,

Vu les articles 373 et 393 du code rural ;

Vu l'arrêté du 2 octobre 1951 relatif aux réserves de chasse ;

Vu l'avis du Conseil national de la chasse et de la faune sauvage,

Arrête :

Art. 1^{er}. - Sont interdits pour la chasse de tout gibier et pour la destruction des animaux nuisibles :

- l'emploi de la canne-fusil ;
- l'emploi des armes à air ou gaz comprimé dénommées aussi « armes à vent » ;
- l'emploi des armes à feu non susceptibles d'être épaulées sans appui ;
- l'emploi de toute arme à rechargement automatique permettant le tir de plus de trois coups sans réapprovisionnement.

Art. 2. - Sont interdits pour la chasse de tout gibier et pour la destruction des animaux nuisibles :

- l'emploi de toute arme munie d'un dispositif fixe ou amovible comportant des graduations ou des repères de réglage de tir pour les distances supérieures à 300 mètres ;
- l'emploi sur les armes à feu de tout dispositif silencieux destiné à atténuer le bruit au départ du coup ;
- l'emploi de dispositifs de visée comportant un convertisseur d'image ou un amplificateur d'image électronique.

Art. 3. - Est interdit l'emploi pour le tir des ongulés de toute arme à percussion annulaire ainsi que celui d'armes rayées à percussion centrale d'un calibre inférieur à 5,6 millimètres ou dont le projectile ne développe pas une énergie minimale de 1 kilojoule à 100 mètres.

Art. 4. - Sont interdits pour la chasse et la destruction des animaux nuisibles :

- l'emploi dans les armes rayées d'autres munitions que les cartouches à balle expansive dont la vente est libre ;
- l'emploi de toute chevrotine ou de tout plomb de chasse d'un diamètre supérieur à 4 mm.

Les animaux des espèces suivantes : cerf, daim, mouflon, chamois ou isard et sanglier ne peuvent être tirés qu'à balle.

Toutefois, dans les départements présentant des formations de garrigues ou maquis, le ministre chargé de la chasse peut autoriser par un arrêté annuel, sur proposition du commissaire de la République, après avis du président de la fédération départementale des chasseurs, les conditions dans lesquelles l'emploi de chevrotines est autorisé pour le tir du sanglier en battues collectives.

Art. 5. - Toute arme de chasse ne peut être transportée à bord d'un véhicule que démontée ou déchargée et placée sous étui.

Art. 6. - Est interdit en action de chasse et pour la destruction des animaux nuisibles, y compris pour le rabat, l'emploi :

- de tout aéronef ;
- de tout engin automobile, y compris à usage agricole ;
- de tout bateau à moteur fixe ou amovible ;
- de tout bateau à pédales, sauf dans les cas autorisés par le ministre chargé de la chasse.

Art. 7. - Sont interdits pour la chasse et la destruction des animaux nuisibles :

- l'emploi d'émetteurs ou de récepteurs radiophoniques ou radio-téléphoniques ;
- l'emploi pour attirer le gibier de disques ou de bandes enregistrées reproduisant le cri des animaux ;
- l'emploi de sources lumineuses de nature à faciliter la capture ou la destruction du gibier ;
- l'emploi délibéré de tout dispositif électrocuteur.

Art. 8. - Sont interdits :

- la chasse à tir de la perdrix ou du faisau au poste, soit à l'agrainée soit à proximité d'abreuvoirs ;
- la chasse de la bécasse à la passée ou à la croule ;
- le déterrage de la marmotte ;
- l'emploi des chiens lévriers pur sang ou croisés.

Art. 9. - L'emploi d'engins tels que pièges, cages, filets, lacets, hameçons, gluaux, nasses et de tous autres moyens ayant pour but d'effectuer ou de faciliter la capture ou la destruction du gibier est interdit sauf dans les cas autorisés :

1^o Par le ministre chargé de la chasse :

- pour la chasse des oiseaux de passage ;
- pour la destruction des animaux nuisibles ;

2^o Par le commissaire de la République en application de l'article 11 du présent arrêté.

Art. 10. - L'emploi de toxiques, poisons ou drogues est interdit pour enivrer ou empoisonner le gibier, sauf dans les cas autorisés en application des dispositions du titre X du livre II du code rural relatif à la protection des végétaux et du code de la santé publique.

Art. 11. - Les propriétaires ou les ayants droit, autorisés individuellement par le commissaire de la République, peuvent capturer, même en temps prohibé, avec les engins et dans les conditions déterminées par lesdites autorisations, certaines espèces de gibier pour les conserver provisoirement et les relâcher ensuite dans un but de repeuplement.

Art. 12. - Le troisième alinéa de l'article 3 de l'arrêté du 2 octobre 1951 susvisé est remplacé par les dispositions suivantes :

« En outre, des captures de gibier vivant, destiné au repeuplement, peuvent y être autorisées par arrêté du commissaire de la République, sur proposition du directeur départemental de l'agriculture et de la forêt, après avis du président de la fédération des chasseurs. »

Annexe IV : Arrêté Cochet du 21 mars 2002.

J.O n° 79 du 4 avril 2002 page 5946 texte n° 84

Décrets, arrêtés, circulaires
Textes généraux
Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement

Arrêté du 21 mars 2002 modifiant l'arrêté du 1er août 1986 relatif à divers procédés de chasse, de destruction des animaux nuisibles et à la reprise du gibier vivant dans un but de repeuplement

NOR: ATEN0210092A

Le ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement,

Vu l'arrêté du 1er août 1986 modifié relatif à divers procédés de chasse, de destruction des animaux nuisibles et à la reprise du gibier vivant dans un but de repeuplement ;

Vu l'avis du Conseil national de la chasse et de la faune sauvage en date du 25 octobre 2001,

Arrête :

Article 1

Le deuxième alinéa de l'article 1er de l'arrêté du 1er août 1986 susvisé est complété par l'alinéa suivant :

« A compter de la date d'ouverture de la chasse aux oiseaux de passage et au gibier d'eau en 2005, l'emploi de la grenaille de plomb dans les zones humides suivantes :

- en zone de chasse maritime ;
- dans les marais non asséchés ;
- sur les fleuves, rivières, canaux, réservoirs, lacs, étangs et nappes d'eau.

Le tir à balle de plomb du grand gibier demeure autorisé sur ces zones. »

Article 2

La directrice de la nature et des paysages est chargée de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait à Paris, le 21 mars 2002.

Yves Cochet

Annexe V : Arrêté Lepeltier du 9 mai 2005.

J.O n° 125 du 31 mai 2005 page 9715 texte n° 112

Décrets, arrêtés, circulaires
Textes généraux
Ministère de l'écologie et du développement durable

Arrêté du 9 mai 2005 modifiant l'arrêté du 1er août 1986 relatif à divers procédés de chasse, de destruction des animaux nuisibles et à la reprise du gibier vivant dans un but de repeuplement

NOR: DEVN0540166A

Le ministre de l'écologie et du développement durable,

Vu le code de l'environnement, notamment l'article L. 424-6 ;

Vu l'arrêté du 1er août 1986 modifié relatif à divers procédés de chasse, de destruction des animaux nuisibles et à la reprise du gibier vivant dans un but de repeuplement ;

Vu l'avis du Conseil national de la chasse et de la faune sauvage en date du 14 avril 2005,

Arrête :

Article 1

Le septième alinéa de l'article 1er de l'arrêté du 1er août 1986 susvisé est remplacé par les dispositions suivantes :

« - à compter du 1er juin 2006, l'emploi de la grenaille de plomb dans les zones humides mentionnées à l'article L. 424-6 du code de l'environnement. Le tir à balle de plomb du grand gibier demeure autorisé sur ces zones. »

Article 2

Le troisième alinéa de l'article 4 de l'arrêté du 1er août 1986 susvisé est remplacé par les dispositions suivantes :

« - l'emploi de toute munition chargée de grenaille de plomb d'un diamètre supérieur à 4 millimètres ou de grenaille sans plomb d'un diamètre supérieur à 4,8 millimètres. »

Article 3

L'arrêté du 21 mars 2002 modifiant l'arrêté du 1er août 1986 relatif à divers procédés de chasse, de destruction des animaux nuisibles et à la reprise du gibier vivant dans un but de repeuplement est abrogé.

Article 4

Le directeur de la nature et des paysages est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait à Paris, le 9 mai 2005.

Serge Lepeltier