



OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/> 25820

To cite this version:

Lestrade, Marie . *Etude des facteurs de risque d'exposition aux anticoagulants de la faune sauvage du Parc National des Pyrénées*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2019, 154 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

ETUDE DES FACTEURS DE RISQUE D'EXPOSITION AUX ANTICOAGULANTS DE LA FAUNE SAUVAGE DU PARC NATIONAL DES PYRENEES

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

Marie LESTRADE

Née, le 03 Décembre 1993 à Rodez (14)

Directeur de thèse : Mr Guillaume LE LOC'H

JURY

PRESIDENT :
Mr Christophe PASQUIER

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :
Mr Guillaume LE LOC'H
Mr Timothée VERGNE

Maitre de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Maitre de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITE :
Mr Jérôme LAFITTE
Mme Corinne NOVELLA

Chargé de mission faune au Parc National des Pyrénées

Vétérinaire référent des Laboratoires des Pyrénées et des Landes

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootechne*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*

PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAÎTRES DE CONFÉRENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*

Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
Mme **DANIELS Héléne**, *Microbiologie-Pathologie infectieuse*
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie - Analgésie*
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction (en disponibilité)*
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS

M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*
M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*
Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophthalmologie*
Mme **ROMANOS Lola**, *Pathologie des ruminants*
M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*
M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
M. **LESUEUR Jérémy**, *Gestion de la santé des ruminants – Médecine collective de précision*

Remerciements du jury

A Monsieur le Professeur Christophe PASQUIER,

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse

Praticien hospitalier, Virologie

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse.

Hommages respectueux.

Au Dr Guillaume Le LOC'H,

Maître de conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Médecine zoologique et santé de la faune sauvage

Pour m'avoir fait l'honneur de diriger et d'encadrer cette thèse. Pour son aide, sa disponibilité, ses qualités professionnelles et humaines, sincères remerciements.

Au Dr Timothée VERGNE,

Maître de conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Santé publique vétérinaire, Maladies animales réglementées

Pour avoir accepté de juger ce travail et de participer à ce jury de thèse.

Sincères remerciements.

A Jérôme LAFITTE,

Chargé de mission faune au Parc National des Pyrénées

Pour son accueil, sa patience et son aide précieuse dans la réalisation de cette thèse et pour ses encouragements.

Sincères remerciements.

Au Dr Corinne NOVELLA,

Vétérinaire référent des Laboratoires des Pyrénées et des Landes

Pour tous ses précieux conseils, sa gentillesse et son regard avisé dans la réalisation de cette thèse.

Sincères remerciements.

Remerciements

A Eric SOURP,

Responsable du service scientifique du Parc National des Pyrénées

Pour son aimable accueil au sein du service scientifique du PNP et sa gentillesse.

Hommages respectueux.

A tous les agents du PNP,

Acteurs de près ou de loin à la veille sanitaire du Parc

Pour leur accueil et pour avoir accepté de partager leurs connaissances et leurs expériences.

Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Sommaire

Liste des figures	10
Liste des tableaux	11
Liste des annexes.....	12
Liste des abréviations	13
Introduction	15
PARTIE I : Le suivi sanitaire de la faune sauvage au PNP	16
A. Le Parc National des Pyrénées	16
1. Historique des parcs nationaux	16
2. Le Parc national des Pyrénées, entre protection et accompagnement	17
3. Le PNP, un territoire agricole.....	19
B. La surveillance épidémiologique de la faune sauvage	20
1. La surveillance épidémiologique	20
2. Surveiller la faune sauvage.....	21
C. Le suivi sanitaire de la faune sauvage sur le PNP	23
1. Historique et objectifs	23
2. Deux modes de surveillance	24
D. La veille évènementielle menée par le PNP	25
1. Objectifs et enjeux de la veille sanitaire évènementielle.....	26
2. Protocole de surveillance passive	26
3. Principaux résultats issus de la veille sanitaire passive	30
E. Evaluation qualitative du système de surveillance passive du PNP.....	36
1. Analyse descriptive de la veille évènementielle menée par le PNP	36
2. Evaluation générale du dispositif et perspectives	44
PARTIE II : La problématique des anticoagulants pour la faune sauvage	52
A. Les anticoagulants, produits de lutte contre les populations de rongeurs	52

1. Les nuisances occasionnées par les populations de rongeurs	52
2. Les pullulations de rongeurs, un phénomène cyclique et plurifactoriel	55
3. La lutte contre les populations de rongeurs	58
4. Propriétés des anticoagulants et lutte contre les rongeurs	59
5. Les anticoagulants, des produits règlementés.....	70
B. Exposition de la faune sauvage non cible aux anticoagulants	73
1. La faune sauvage, une population non ciblée mais exposée aux anticoagulants.....	73
2. Une exposition d'origine anthropique	74
3. Conséquences sur les populations de prédateurs	75
4. Surveillance et diagnostic des intoxications aux anticoagulants	78
C. Discussion : vers une diminution de l'impact de la lutte contre les rongeurs sur la faune sauvage	82
1. Une lutte précoce, raisonnée et collective contre les rongeurs prairiaux	82
2. Vers le développement de nouveaux rodenticides anticoagulants	85
3. Surveiller l'exposition de la faune sauvage non-cible.....	86
PARTIE III : Exposition aux anticoagulants des la faune sauvage du PNP	89
A. Matériels et méthodes	89
1. Collecte des données	89
2. Analyses des données	91
B. Résultats.....	97
1. Localisation des cadavres et causes de mortalité	97
2. Prévalence de l'exposition aux anticoagulants et concentrations mesurées.....	98
3. Espèces exposées aux anticoagulants	99
4. Résultats du modèle logistique et facteurs de risque	101
C. Discussion.....	104
1. Principaux résultats de l'étude	104
2. Validité de l'étude	109

3. Avantages et inconvénients d'une surveillance passive	110
4. Les conséquences de l'exposition aux anticoagulants sur les populations d'animaux sauvages difficiles à établir	111
5. Améliorations du dispositif de surveillance	113
6. Alternatives à l'usage des anticoagulants et gestion	116
Conclusion.....	119
Références bibliographiques	121
Annexes	135

Liste des figures

Figure 1 : Carte du Parc National des Pyrénées	18
Figure 2 : Diagramme de flux des données issues de la veille sanitaire du PNP	30
Figure 3 : Nombre d'animaux découverts par groupe d'espèces (n=487)	32
Figure 4 : Milieux de découverte des animaux collectés dans le cadre de la veille sanitaire du PNP (n=487).....	32
Figure 5 : Nombre de cadavres découverts par année dans le cadre de la veille sanitaire du PNP.....	33
Figure 6 : Nombre d'animaux récupérés par mois depuis la mise en place du dispositif de veille sanitaire du PNP	34
Figure 7 : Causes de mortalité des animaux autopsiés dans le cadre de la veille sanitaire du PNP (n=479).....	35
Figure 8 : Causes de l'intoxication des animaux morts intoxiqués (n=24)	36
Figure 9 : Parcelle en herbe envahie par le Campagnol terrestre. Photo A. Dervaux. (Jacquot, 2013).....	54
Figure 10 : Cycle pluriannuel de croissance des populations du Campagnol terrestre sur 5 ans, dans le cas où aucune action n'est menée (Couval et al., 2013).....	55
Figure 11 : Schéma récapitulatif de la cascade de coagulation sanguine (Roch, 2008).....	61
Figure 12 : Le cycle de la vitamine K (Hodroge, 2011).....	62
Figure 13 : Structure chimique des différentes familles d'anti-vitamines K (Hodroge, 2011)	63
Figure 14 : Action des anti-vitamines K sur le cycle de la vitamine K (Hodroge, 2011).....	64
Figure 15 : Représentation théorique des cinétiques plasmatique et hépatique des rodenticides anticoagulants chez le rat (Roch, 2008).....	65
Figure 16 : Hémorragie interne observée sur un cadavre de vison d'Amérique (a.), et observation de la pâleur des tissus d'un chat forestier (b.)	76
Figure 17 : Evolution de la mortalité de la faune sauvage non cible dont la mort par intoxication aux anticoagulants est confirmée ou suspectée depuis 1998, dans le Doubs (colonne de gauche) et en Auvergne (colonne de droite). Données SAGIR, réseau ONCFS-FNC-FDC. (Couval et al., 2013).....	77
Figure 18 : Lésions hémorragiques observées chez des pigeons intoxiqués par la chlorophacinone : (1) Hémorragies sous-cutanée massives en région cervicale, (2)	

Hémorragie dans la cavité coelomique, (3) Hémorragie sous-cutanée et présence d'appâts dans le jabot, (4) Hémorragie pulmonaire massive. (Sarabia et al., 2008)	80
Figure 19 : Analyses histologiques de tissus provenant de quatre crêcerelles d'Amérique intoxiqués expérimentalement par la diphacinone : (A) Hémorragies hépatiques multifocales (flèches) associées à la dissociation du parenchyme hépatique (dose de 300 mg/kg), (B) Hémorragie (flèche) entre les fibres musculaires d'un muscle strié squelettique (dose de 79 mg/kg), (C) Hémorragie pulmonaire (flèche) comprimant les voies respiratoires (dose de 118.6 mg/kg), (D) Hémorragie (flèche) splénique extra-capsulaire (pointe) (dose de 52.7 mg/kg). (Rattner et al., 2011)	81
Figure 20 : Fèces de « type renard » (Jacquot, 2013)	87
Figure 21 : Localisation des cadavres découverts le long des axes routiers de 2010 à 2018, les individus positifs étant ceux pour lesquels au moins un anticoagulant a été détecté, tandis que les individus sont dits négatifs si aucun anticoagulant n'a été détecté	98
Figure 22 : Concentrations mesurées des anticoagulants détectés	99
Figure 23 : Concentrations mesurées en anticoagulant chez les espèces pour lesquelles au moins deux individus positifs ont été détectés. La ligne orange correspond au seuil de 0.09 µg/g choisi par le PNP comme seuil toxique, tandis que la ligne rouge correspond au seuil de 0.2 µg/g considéré dans de précédentes études (Berny et al., 1997 ; Rattner, Lazarus, et al., 2014 ; López-Perea et al., 2015 ; Lefebvre et al., 2017 ; López-Perea et al., 2019)	101
Figure 24 : Courbe ROC construite à partir de l'échantillon de test du modèle	104

Liste des tableaux

Tableau 1 : Cinétique et métabolisme des anticoagulants (Jacquot, 2013)	66
Tableau 2 : Classification anglo-saxonne des anticoagulants (Damin-Pernik et al., 2017) ...	66
Tableau 3 : Dose létale 50 de différentes molécules anticoagulantes chez la souris (Vandenbroucke et al., 2008)	67
Tableau 4 : Classement des espèces étudiées selon leur régime alimentaire (Ruys et al., 2014 ; Jacquot, Nature Midi-Pyrénées, 2011 ; Gensbøl, 2005)	94
Tableau 5 : Prévalence d'exposition des différentes espèces et concentrations mesurées en anticoagulants	100
Tableau 6 : Résultats des analyses univariées de chaque variable explicative	102
Tableau 7 : Résultats du modèle logistique et odds ratios	103

Liste des annexes

Annexe 1 : Catégorisation des espèces en fonction des objectifs recherchés d'après le protocole de veille sanitaire du PNP	135
Annexe 2 : Exemple d'une fiche de renseignements à remplir lors de la découverte d'un cadavre de mammifère	136
Annexe 3 : Principales zoonoses transmises par les rongeurs (Roch, 2008)	139
Annexe 4 : Classification française des anticoagulants (Roch, 2008)	139
Annexe 5 : Structure de différents anti-vitamines K (BARBIER SAINT HILAIRE, 2012)	140
Annexe 6 : Méthode de comptage des densités d'indices récents de présence	141
Annexe 7 : Avis de traitement à la bromadiolone contre les campagnols (Arrêté du 14 mai 2014, Annexe V)	142
Annexe 8 : Fiche d'enregistrements des traitements contre le Campagnol terrestre	143
Annexe 9 : Fiche de déclaration de mortalité accidentelle de faune non cible liée à l'utilisation de bromadiolone (Arrêté du 14 mai 2014, Annexe VI).....	143
Annexe 10 : Paramètres pharmacocinétiques hépatiques des diastéréoisomères (cis et trans) de différents anticoagulants chez des rats suite à une administration orale unique d'une dose de 3 mg/kg (Damin-Pernik et al., 2017).....	144
Annexe 11 : Lieux de découverte de l'ensemble des cadavres analysés pour les anticoagulants.....	144
Annexe 12 : Domaines vitaux des espèces non semi-aquatiques.....	145
Annexe 13 : Domaines vitaux des espèces semi-aquatiques étudiées.....	146
Annexe 14 : Illustration de la méthode de définition des domaines vitaux pour les espèces semi-aquatiques	147
Annexe 15 : Milieux d'occupation du sol selon la typologie de « Corine Land Cover ». 148	
Annexe 16 : Interprétation de la valeur de l'AUC de la courbe ROC et fiabilité du modèle (Rakotomalala, 2015).....	149
Annexe 17 : Nombre de cadavres découverts dans les vallées du PNP et pourcentage de positifs	149
Annexe 18 : Pourcentage de cadavres positifs, le long des axes routiers, de 2010 à 2018..	150
Annexe 19 : Causes de mortalité des animaux étudiés (n=157)	150
Annexe 20 : Occurrence de détection des différents anticoagulants selon les espèces.....	151

Annexe 21 : Occurrence de détection des anticoagulants chez les individus étudiés	151
Annexe 22 : Molécules détectées et concentrations associées chez les individus pour lesquels plusieurs anticoagulants ont été détectés.....	152
Annexe 23 : Vérification graphique de l'absence de colinéarité entre le pourcentage de milieu urbain et le pourcentage de milieu agricole	152
Annexe 24 : Nombre d'exploitations agricoles dans les vallées du PNP en 2009 (PNP, 2013)	153
Annexe 25 : Surfaces agricoles (dont surfaces fourragères et surfaces en céréales) dans les différentes vallées du PNP (PNP, 2013)	153
Annexe 26 : Distribution des anticoagulants le long de la chaîne alimentaire (Elliott et al., 2016).....	154

Liste des abréviations

FDGDON : Fédération Départementale des Groupements de Défense contre les Organismes Nuisibles

FGAR : First-generation anticoagulant rodenticides

FREDON : Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles

GDON : Groupe de Défense contre les Organismes Nuisibles

GEEFSM : Groupe d'Etude sur l'Ecopathologie de la Faune Sauvage de Montagne

LPL : Laboratoires des Pyrénées et des Landes

LPO : Ligue pour la Protection des Oiseaux

ONCFS : Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage

PNP : Parc National des Pyrénées

ROC : Receiver Operating Characteristic

SAGIR : Surveiller pour Agir

SFEPM : Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères

SGAR : Second-generation anticoagulant rodenticides

STH : Surface Toujours en Herbe

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

Introduction

Les rongeurs font depuis longtemps l'objet de mesures de régulation dans de nombreuses régions du monde. Plusieurs moyens de lutte ont été développés, mais les anticoagulants restent la méthode privilégiée pour contrôler les populations de ces micromammifères. Leur durée d'action permet en effet d'empêcher les rongeurs d'établir un lien entre l'ingestion d'un appât empoisonné et la mort d'un individu. Cette action à effet retardé soulève néanmoins le risque d'exposition des consommateurs de ces micromammifères. Ces derniers peuvent en effet être l'objet d'une intoxication secondaire suite à l'ingestion de rongeurs intoxiqués. Ce risque est d'autant plus important que de nouvelles molécules anticoagulantes, plus toxiques et plus persistantes dans l'organisme, ont été développées.

Dans le Parc National des Pyrénées (PNP), un programme de veille sanitaire a notamment permis de mettre en évidence la présence d'anticoagulants chez certains animaux sauvages, sur un territoire qui s'inscrit pourtant dans une logique de protection de l'environnement.

Dans un premier temps, le dispositif de veille sanitaire appliqué au PNP sera présenté ainsi que les résultats généraux obtenus issus des données collectées par celui-ci. Une analyse descriptive du fonctionnement du réseau sera également réalisée dans le but d'apporter des perspectives d'amélioration. Des données bibliographiques relatives aux anticoagulants, moyens de lutte contre des rongeurs, seront développées dans une deuxième partie. Des méthodes alternatives à l'usage d'anticoagulants ainsi que des moyens de surveillance de leur impact sur la faune sauvage seront également discutés. Enfin, l'étude s'intéressant aux facteurs de risque d'exposition aux anticoagulants des animaux sauvages présents sur le PNP sera développée afin de répondre aux problématiques de gestion de la faune sauvage sur ce territoire et d'améliorer le dispositif de surveillance dans un contexte de réduction de moyens financiers et humains. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur les données collectées par le protocole de veille sanitaire du Parc National des Pyrénées, mis en place à partir de 2009.

PARTIE I : Le suivi sanitaire de la faune sauvage au PNP

La préservation de la biodiversité faisant partie des préoccupations majeures du Parc National des Pyrénées (PNP), ce dernier applique un protocole de suivi sanitaire de la faune sauvage sur son territoire. Dans un objectif de protection de la faune sauvage, le suivi de l'exposition aux anticoagulants fait partie intégrante de ce protocole.

Dans cette première partie, nous nous intéresserons tout particulièrement au dispositif de surveillance du statut sanitaire de la faune sauvage du PNP. Une description de ce programme ainsi que des résultats généraux issus des données collectées seront présentés. Les atouts et points faibles du dispositif seront enfin discutés dans le but d'amener des pistes de réflexion pour le PNP, afin d'optimiser les protocoles dans un contexte de baisse de moyens.

A. Le Parc National des Pyrénées

1. Historique des parcs nationaux

En 1832, les idées de « réserve naturelle » puis de « parc national » ont émergé aux Etats-Unis. L'Arkansas devient la première réserve américaine en 1832 (Sabatier et al., 2010) et en 1864, la vallée du Yosemite est à son tour protégée par un décret.

En 1872, la région du Yellowstone devient le premier « Parc national ». Cette région est dès lors soustraite à toute occupation par des particuliers et mise sous la protection de l'Etat américain. Jusqu'en 1912, quatorze autres parcs nationaux, dont la vallée du Yosemite et des séquoias de Mariposa, sont créés (Jaffeux, 2010).

L'idée se propage ensuite en Europe où les premiers parcs nationaux sont érigés en Suède en 1909, en Autriche en 1913 puis en Suisse en 1914. De nombreux autres pays européens emboîtent également le pas, tels que l'Italie avec la création du Parc national du Grand Paradis en 1922 avec pour objectif la protection du bouquetin (Sabatier et al., 2010).

La France ne reste cependant pas insensible à la volonté de définir des zones de protection de son patrimoine naturel. Des intellectuels, des artistes, des philosophes, des scientifiques ou encore des naturalistes expriment leurs préoccupations devant les menaces que font peser les activités humaines sur certaines espèces emblématiques telles que le Chamois (*Rupicapra rupicapra*) ou le Bouquetin (*Capra ibex*) (Sabatier et al., 2010). Mais ce n'est qu'en 1960 que la France adopte une loi relative à la création de parcs nationaux. La loi

du 22 juillet 1960 énonce alors qu'un « territoire de tout ou partie d'une ou de plusieurs communes peut être classé par décret en conseil d'Etat en « parc national » lorsque la conservation de la faune, de la flore, du sol, du sous-sol, de l'atmosphère, des eaux, et, en général, d'un milieu naturel présent un intérêt spécial et qu'il importe de préserver ce milieu contre tout effet de dégradation naturelle et de la soustraire à toute intervention artificielle susceptible d'en altérer l'aspect, la composition et l'évolution. Le territoire délimité par le décret peut s'étendre au domaine public maritime »¹. L'aménagement et la gestion des parcs nationaux sont confiés à un établissement public national à caractère administratif.

Entre protection de l'environnement, lieu de récréation ou de reconstitution de populations de gibiers, les attentes envers les parcs nationaux sont multiples. Vient alors l'idée de définir les parcs nationaux selon un zonage concentrique comprenant (Sabatier et al., 2010) :

- Une zone centrale ouverte au public mais dotée d'une réglementation stricte dont le respect est assuré par des gardes-moniteurs, qui auront également pour mission d'initier le public à la nature. Cette zone a par la suite été nommée « **zone cœur** ».
- Une zone périphérique où l'accueil touristique peut se développer tout en apportant des améliorations d'ordre social, économique et culturel pour le public, mais également la promotion de la protection de la nature. L'« **aire d'adhésion** » est ainsi définie comme « tout ou partie du territoire des communes qui, ayant vocation à faire partie du parc national en raison notamment de leur continuité géographique ou de leur solidarité écologique avec le cœur, ont décidé d'adhérer à la charte du parc national »².

Les parcs nationaux français démontrent alors une volonté d'allier les activités humaines avec la protection de la nature. Le Parc national de la Vanoise, créé en juillet 1963 fut ainsi le premier parc national français. La France compte aujourd'hui onze parcs nationaux, dont trois en outre-mer.

2. Le Parc national des Pyrénées, entre protection et accompagnement

Le Parc national des Pyrénées (PNP) créé en mars 1967³ est sous la tutelle du Ministère en charge de l'Ecologie. Le PNP est un établissement public à caractère

¹ Loi n°60-708 du 22 juillet 1960 relative à la création des parcs nationaux. Article premier.

² Loi n°2006-436 du 14 avril 2006 relative aux parcs nationaux, aux parcs naturels marins et aux parcs naturels régionaux. CHAPITRE I. Article I.

³ Décret n°67-265 du 23 mars 1967 créant le parc national des Pyrénées occidentales

administratif dont le siège est situé à Tarbes. Celui-ci assure la gestion et l'aménagement du Parc⁴.

Le PNP est composé de six vallées, étalées sur deux départements (les Hautes-Pyrénées et les Pyrénées-Atlantiques) et sur deux régions (Occitanie et Nouvelle Aquitaine), le long de la crête frontière avec l'Espagne. Il est ainsi frontalier avec le Parc national d'Ordesa et du Mont Perdu espagnol.

Le PNP est constitué d'une zone cœur de 45 707 hectares et d'une aire d'adhésion de 128 400 hectares (Figure 1).

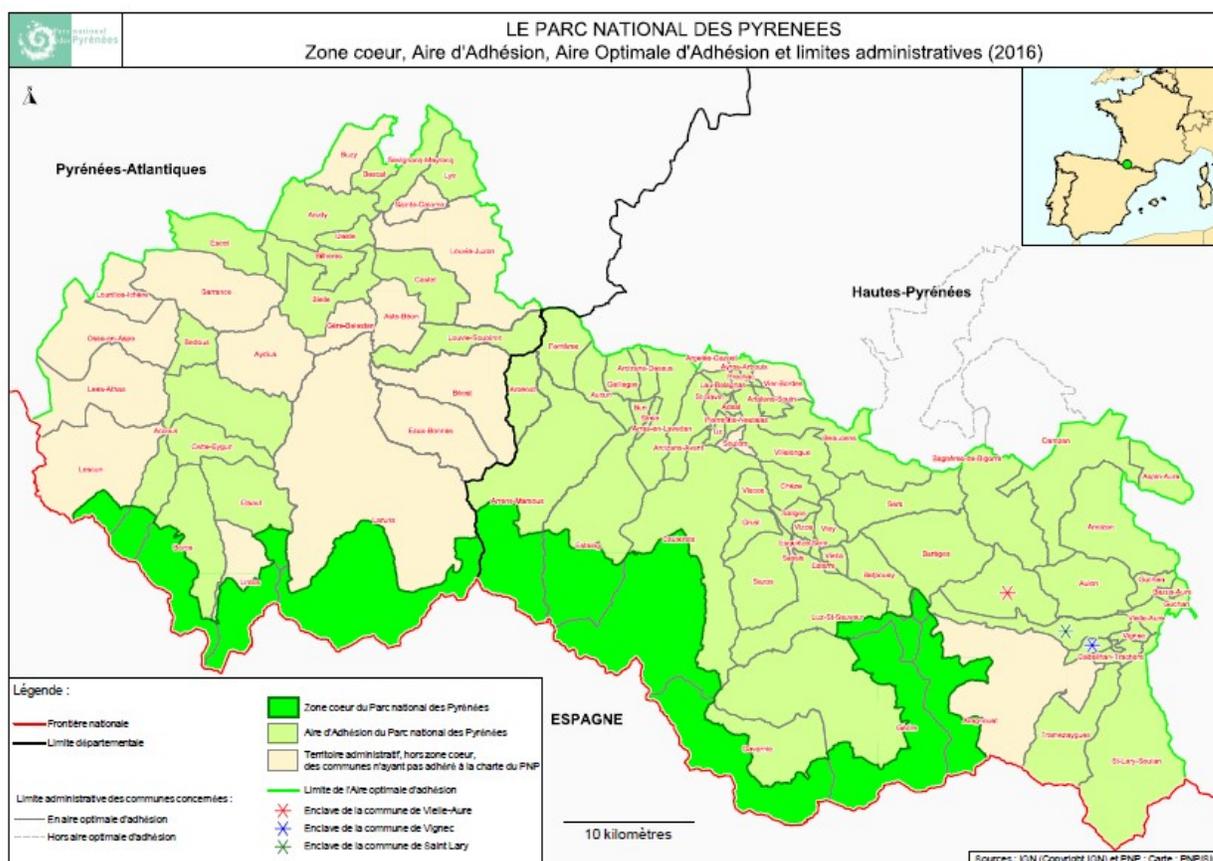


Figure 1 : Carte du Parc National des Pyrénées

Le cœur du PNP, dépourvu d'habitants permanents, correspond à un territoire de montagne allant de 1067 mètres à 3298 mètres d'altitude. Il fait l'objet d'une réglementation spécifique dans un objectif de protection du milieu naturel⁵.

⁴ Décret n° 2009-406 du 15 avril 2009 pris pour l'adaptation de la délimitation et de la réglementation du parc national des Pyrénées occidentales aux dispositions du code de l'environnement issues de la loi n°2006-436 du 14 avril 2006. Article 21.

L'aire d'adhésion du Parc est constituée des communes adhérentes à la charte du PNP⁶. Celle-ci a été élaborée par le Parc ainsi que par les acteurs des vallées pyrénéennes concernées.

Concernant le cœur du PNP, la charte définit les objectifs de protection du patrimoine naturel, culturel et paysager. Dans l'aire d'adhésion, la charte définit des orientations de protection, de mise en valeur et de développement durable, pour lesquelles le Parc est un partenaire des acteurs locaux. La charte définit donc un projet de territoire traduisant la solidarité écologique entre le cœur du parc et ses espaces environnants⁷.

3. Le PNP, un territoire agricole

L'activité agricole présente sur le territoire du PNP est dominée par la présence d'élevages, principalement ovins et bovins. Les types de production et donc les modes d'élevage diffèrent cependant selon les vallées considérées. Les vallées béarnaises (Aspe et Ossau) sont en effet essentiellement occupées par des élevages ovins laitiers et bovins allaitants, tandis que les élevages présents dans les Hautes-Pyrénées sont essentiellement tournés vers la production de viande (ovine et bovine). Le Val d'Azun situé au centre de ces deux régions, présente quant à lui les deux types de production.

Les prairies permanentes représentent 85% des surfaces fourragère du PNP, contre seulement 10% de prairies temporaires.

L'agriculture a donc fortement structuré le paysage du Parc, en le divisant en trois étages fonctionnels :

- Le fond de vallée, siège des exploitations et des champs labourables,
- La zone intermédiaire, lieu de pâturages en intersaisons (lors de la montée et de la descente des estives) et d'implantation de granges,
- L'estive, zone de pâturage estival.

En zone cœur, les estives correspondent à la seule forme d'activité agricole présente. En estive, la pratique du gardiennage s'est essentiellement maintenue dans les vallées des Pyrénées-Atlantiques, en lien avec la transformation fromagère.

⁵ Décret n° 2009-406 du 15 avril 2009 pris pour l'adaptation de la délimitation et de la réglementation du parc national des Pyrénées occidentales aux dispositions du code de l'environnement issues de la loi n°2006-436 du 14 avril 2006. TITRE II.

⁶ Arrêté du 15 février 2006 constatant les adhésions des communes à la charte du territoire

⁷ LOI n° 2006-436 du 14 avril 2006 relative aux parcs nationaux, aux parcs naturels marins et aux parcs régionaux. CHAPITRE I. Article 3.

Avec la simplification des conduites d'élevage, les zones intermédiaires difficiles d'accès sont parfois abandonnées. Certaines au contraire sont toujours fauchées manuellement au cours de la saison estivale, entre deux périodes de pâturage.

Les fonds de vallée sont quant à eux beaucoup plus facilement mécanisables, et donc des lieux privilégiés de culture. Les villages et les exploitations agricoles y sont également implantés (PNP, 2013).

B. La surveillance épidémiologique de la faune sauvage

1. La surveillance épidémiologique

La **surveillance épidémiologique** est définie comme une « méthode d'observation fondée sur des enregistrements en continu permettant de suivre l'état de santé ou les facteurs de risque d'une population définie, en particulier de déceler l'apparition de processus pathologiques et d'en étudier le développement dans le temps et dans l'espace, en vue de l'adoption de mesures appropriées de lutte » (Dufour, Hendrickx, 2011).

Deux principales stratégies peuvent être développées (Dufour, Hendrickx, 2011) :

- Une surveillance passive ou événementielle reposant sur la déclaration spontanée de cas ou suspicions de la maladie surveillée,
- Une surveillance active ou planifiée reposant sur la recherche de données par des actions programmées à l'avance.

Cette activité de surveillance repose généralement sur un réseau mettant en jeu différents acteurs. Les réseaux de surveillance épidémiologique fonctionnent suivant quatre principales étapes (Dufour, Hendrickx, 2011) :

- la collecte des données depuis le terrain,
- la centralisation et la validation de ces données,
- la gestion et l'analyse des données,
- la diffusion des résultats obtenus.

2. Surveiller la faune sauvage

2.1. Des intérêts multiples

Ces différentes stratégies de surveillance peuvent s'appliquer aux animaux domestiques mais également aux animaux sauvages.

L'intérêt de l'épidémiologie pour la faune sauvage est relativement récent et est apparu en premier lieu avec la rage vulpine arrivée en France en 1968, et la mise en place d'un plan d'éradication basé sur la vaccination orale des renards roux. L'étude des maladies de la faune sauvage s'est ensuite poursuivie, avec par exemple celle de la kératoconjunctivite infectieuse présente chez les ongulés de montagne dans les Alpes et les Pyrénées dans les années 1970-1980. Le réseau SAGIR a par la suite été créé en 1986, et s'est quant à lui davantage intéressé aux espèces chassables, chez lesquelles des maladies peuvent avoir un impact sur les densités de populations mais aussi représenter un risque pour la santé publique (Hars et al., 2013).

La surveillance de la santé de la faune sauvage est complémentaire du suivi sanitaire des animaux domestiques. Elle peut fournir des informations primordiales pour comprendre certains événements sanitaires tels que des épisodes de mortalité, comprendre les changements d'expression d'une maladie au cours du temps, et permettre une détection précoce de foyers épidémiques (OIE, 2015). Certaines pratiques d'élevage, telles que les élevages en plein air, peuvent par exemple favoriser la transmission d'agents pathogènes entre espèces domestiques et sauvages. La faune sauvage peut également être victime d'une contamination par les espèces domestiques, pouvant impacter les populations sauvages, comme cela est le cas avec la kératoconjunctivite infectieuse ou la gale (Vallet, 2017).

Le suivi sanitaire de la faune sauvage prend également tout son sens dans le cadre des maladies émergentes. La majorité (75%) des maladies infectieuses émergentes de l'homme sont des zoonoses, ou initialement dues à des agents pathogènes d'origine animale (Artois, Fromont, 2003). La connaissance du statut sanitaire de la faune sauvage est donc importante pour comprendre voire prévenir l'apparition de maladies émergentes chez l'homme, comme l'a montré l'épidémie du SRAS (Syndrome Respiratoire aigu sévère) en 2003. La surveillance et la détection précoce de foyers épidémiques inhabituels ainsi que la collaboration entre les différents réseaux d'épidémiologie-surveillance sont donc essentiels pour limiter les conséquences sur la santé publique (Fontanet, 2007).

La surveillance de l'état sanitaire de la faune sauvage peut donc être bénéfique pour la santé animale, la santé publique mais aussi pour la conservation.

2.2. Les difficultés rencontrées en faune sauvage

Contrairement aux animaux domestiques, il est souvent difficile d'identifier d'éventuels signes cliniques chez la faune sauvage. Ces animaux sont en effet difficiles à localiser et à observer.

Par ailleurs, certains tests diagnostiques n'ont pas été validés pour les espèces sauvages. L'interprétation de certains résultats n'est donc pas toujours aisée, ce qui limite la capacité à détecter un agent pathogène.

Les ressources sont un autre facteur limitant en faune sauvage. L'échantillonnage est en effet souvent faible, limitant ainsi les possibilités de découvrir des événements rares (Petit, 2011). Le partage des données et des connaissances peut néanmoins permettre d'obtenir des résultats acceptables en minimisant les coûts.

2.3. Fonctionnement de la surveillance

Les programmes de surveillance sanitaire reposent généralement sur quatre points clés:

Le système de surveillance doit tout d'abord permettre de **détecter** et d'**identifier** un pathogène ou une maladie grâce à la collecte de données. Une fois cette identification effectuée, les données concernant le problème pathologique sont **analysées** avant d'être **communiquées**. Lorsque suffisamment de données ont été collectées et analysées, des mesures de **gestion** peuvent être mises en place (OIE, 2015).

Deux catégories principales de surveillance sanitaire de la faune sauvage existent (OIE, 2015) :

- Une surveillance passive dont l'objectif est de détecter des maladies ou des agents pathogènes. Cette stratégie met généralement en jeu de nombreux acteurs tels que les chasseurs, les agents en charge de la gestion de la faune sauvage ou des associations de conservation. L'autopsie des animaux morts est alors essentielle pour déterminer les causes de mortalité et identifier des agents pathogènes.

- Une surveillance active cible un nombre restreint de pathogènes d'espèces animales. Elle permet d'obtenir des données fiables pour estimer par exemple des prévalences, la distribution géographique d'un pathogène ou sa distribution dans la population (âge, sexe).

Le choix de la stratégie adoptée dépend de l'objectif recherché ainsi que des ressources disponibles. Plus il y a d'informations générées, plus il est possible de comprendre l'état sanitaire de la faune sauvage, et ainsi de mieux orienter la stratégie de surveillance adoptée.

La surveillance sanitaire de la faune sauvage repose généralement sur plusieurs composantes : un ensemble organisé d'observateurs d'animaux sauvages, des laboratoires d'analyses vétérinaires équipés et compétents, des systèmes de gestion de l'information et de communication (Petit, 2011).

C. Le suivi sanitaire de la faune sauvage sur le PNP

1. Historique et objectifs

Dès la création du PNP en 1967, l'idée d'un suivi sanitaire de la faune sauvage a été émise, poussée par la crainte de maintenir un réservoir sauvage de fièvre aphteuse que l'on tentait d'éradiquer chez le bétail. De 1983 à 2001, des données de mortalité ont alors été relevées et conservées sur des supports de type variable, au siège du PNP à Tarbes. De 2001 à 2007, aucun document relatif à la mortalité de la faune sauvage ne fut transmis à Tarbes. Une volonté de formalisation a alors été exprimée. Le manque de données, tels que des cadavres non identifiés ou des fiches non ou mal complétées, empêchait notamment de faire le lien entre les résultats de l'analyse nécropsique et le contexte dans lequel l'animal avait été découvert. De plus, l'autopsie et/ou les examens complémentaires n'étaient pas systématiquement réalisés, rendant impossible l'analyse des causes de mortalité (Le Moal Nolwenn, 2008).

Avec la volonté d'améliorer le suivi sanitaire de la faune sauvage, une thèse vétérinaire a ainsi été réalisée pour faire un état des lieux de la surveillance au PNP et proposer un protocole. Un protocole de suivi sanitaire des vertébrés sauvages a ainsi été mis en place pour améliorer les connaissances sur ces espèces dans le PNP (Le Moal Nolwenn, 2008). Cinq objectifs ont été identifiés :

- Améliorer la connaissance du statut sanitaire des espèces ciblées et leur évolution dans le temps et dans l'espace
- Identifier et évaluer les impacts des activités humaines sur la pathologie de la faune sauvage et les interactions possibles entre la faune sauvage et la faune domestique
- Détecter rapidement l'apparition d'un phénomène de mortalité inhabituel
- Surveiller le rôle potentiel joué par la faune sauvage dans la circulation de maladies contagieuses et pouvant jouer un rôle dans la sécurité des biens et des personnes
- Pouvoir répondre aux questions des usagers (chasseurs, éleveurs, etc.) et du grand public sur la santé des populations animales et les risques et conséquences tant sur la santé publique des biens et des personnes, que sur le devenir de la biodiversité du Parc.

2. Deux modes de surveillance

2.1. Une veille passive

La veille passive, ou événementielle, correspond à la récupération de cadavres, sans effort particulier de recherche ni de ciblage, en vue de la réalisation d'une autopsie et/ou d'analyses complémentaires.

Les différentes espèces sauvages ont été catégorisées en trois groupes selon leur « importance patrimoniale » (Le Moal Nolwenn, 2008). On différencie alors les espèces de catégories 1, telles que le Gypaète barbu par exemple, pour lesquelles la connaissance des causes de la mort et du statut sanitaire est d'un intérêt majeur pour la conservation de l'espèce et pour lesquels les cadavres sont récupérés systématiquement. Le suivi sanitaire des espèces de deuxième catégorie, telles que l'Isard ou le Vautour fauve, est également intéressant pour comprendre les interactions avec la faune domestique et les activités humaines. Leurs cadavres sont récupérés si leur état le permet ou si des analyses ciblées sur les restes du cadavre sont envisageables. Enfin les cadavres d'espèces appartenant à la troisième catégorie ne seront récupérés qu'en cas de mortalité massive (Annexe 1).

Les cadavres sont ensuite autopsiés dans le but de déterminer la cause de la mort de l'animal.

Dans la suite, nous nous intéresserons en particulier à ce mode de surveillance mené par le PNP.

2.2. Des veilles actives

Le PNP s'intéresse également à certaines espèces dont le suivi est primordial pour la protection du patrimoine naturel du Parc. Il mène alors différents programmes de surveillance d'animaux vivants de certaines espèces.

Le suivi des populations d'isards ainsi que leur état sanitaire a ainsi fait l'objet d'une surveillance active de la part des agents de terrain du PNP à partir des années 1990, suite à l'extension de la kératoconjonctivite. La présence de signes cliniques (toux, boiterie, écoulement oculaire, etc.) pouvant évoquer une kératoconjonctivite étaient recherchée, et des analyses sérologiques ont été réalisées. Un suivi particulier des isards a notamment été mis en place en vallée de Cauterets dans le cadre d'un programme d'étude Hôtes-pathogènes. Les Fédérations de chasse réalisant également ce suivi, le PNP a cessé cette activité depuis 2015.

Certains amphibiens font également l'objet d'une surveillance active. Un champignon pathogène, responsable de la chytridiomycose amphibienne, est en effet recherché chez certaines populations d'euproctes des Pyrénées, dans le cadre d'un programme de recherche mené par le CEFE-CNRS.

Suite au programme de réintroduction du Bouquetin ibérique par le PNP mené depuis 2014, un dispositif de surveillance active de leur statut sanitaire sera également mis en place.

Ces programmes étant coûteux pour le PNP, il est important qu'ils soient intégrés dans des programmes de recherche pour lesquels le Parc est un lieu d'accueil. Les protocoles de suivi devraient également être uniformisés entre les parcs nationaux, tout en restant adaptés au contexte local.

D. La veille événementielle menée par le PNP

Le dispositif de veille sanitaire du PNP a été mis en place dans un contexte de préoccupation de la santé et de protection de la faune sauvage mais aussi pour répondre à certaines craintes de la part des usagers du PNP vis à vis de la transmission d'agents pathogènes aux animaux domestiques (crainte du monde agricole), aux espèces d'intérêt cynégétique (crainte du monde de la chasse), ou présentant un risque pour la santé humaine. Dans un souci d'exemplarité, le PNP a donc instauré un programme de surveillance qui, selon

la charte du PNP, s'inscrit dans un objectif de préservation des équilibres entre les espèces sauvages et les activités humaines.

1. Objectifs et enjeux de la veille sanitaire évènementielle

L'objectif de la veille sanitaire passive du PNP est de participer à la surveillance de l'état de santé de la faune sauvage sur son territoire à partir de la récupération de cadavres.

Celle-ci cherche donc à répondre à différents enjeux :

- Acquérir des connaissances sur la présence et l'occurrence des maladies de la faune sauvage de montagne, ainsi que leur transmission depuis et vers la faune domestique,
- Acquérir des informations sur l'apparition de phénomènes anormaux et communiquer sur ces-derniers,
- Acquérir des connaissances sur le rôle de l'homme : transmission de pathogènes, impact d'activités humaines,
- Mener une réflexion éco-pathologique vis-à-vis de la régulation des populations et identifier des axes de gestion favorables à la biodiversité.

2. Protocole de surveillance passive

2.1. Collecte des cadavres

Les cadavres sont récupérés de manière opportuniste par les gardes monteurs du PNP au cours de leurs tournées sur le terrain. Dans les limites de faisabilité (poids du cadavre, distance à parcourir), ils transportent ensuite le cadavre jusqu'au siège du secteur (un dans chaque vallée) où il sera identifié et congelé. Si l'animal n'est pas transportable, l'agent prend des photographies de ce dernier.

L'enregistrement de la découverte du cadavre est réalisé sur la base de données spatiale du PNP (Obsocc) sur laquelle l'agent découvreur indique l'identifiant du cadavre, ainsi qu'une description du contexte de la découverte. Ces différents renseignements sont également notifiés sur une fiche de commémoratifs sous format papier, qui sera transmise avec le cadavre (Annexe 2).

Les cadavres sont ensuite centralisés au siège du PNP, à Tarbes, où des congélateurs permettent leur stockage. Tout cadavre non identifié ou non doté d'une fiche de commémoratifs est refusé. Lorsque suffisamment de cadavres ont été centralisés, des sessions d'autopsies sont organisées.

2.2. Examens nécropsiques et recherche des causes de mortalité

Les autopsies des animaux retrouvés morts sont réalisées aux Laboratoires des Pyrénées et des Landes (LPL), sur le site de Lagor, avec qui le PNP signe une convention annuelle depuis 2009.

L'objectif de ces examens est d'identifier les phénomènes ayant pu participer à la mort de l'animal. Ils peuvent être d'origine traumatique (collision, chute, etc.), physiologique (vieillesse, dénutrition hivernale), pathologique (parasites, virus, bactéries) ou anthropique (tir, collision routière, collision avec des câbles électriques, piège, intoxication, etc.).

2.3. Examens complémentaires

Des examens complémentaires, à partir de prélèvements réalisés sur le cadavre, peuvent aider à diagnostiquer les causes de mortalité des animaux, en fonction des commémoratifs de découverte et/ou des lésions observées lors de l'autopsie. Certains peuvent également être réalisés de façon systématique dans le but d'améliorer les connaissances sur le statut de certaines espèces vis-à-vis de certains agents pathogènes ou toxiques.

L'essentiel des analyses de laboratoire sont réalisées sur place à Lagor. D'autres sont sous-traitées dans d'autres laboratoires, comme dans le cas de la maladie de carré dont le virus est recherché au laboratoire Scanelis à Toulouse. Les analyses toxicologiques sont également sous-traitées au laboratoire de toxicologie vétérinaire VetAgro Sup à Lyon.

Enfin, certains prélèvements peuvent être conservés sous forme congelée afin de réaliser des analyses supplémentaires en cas de besoin.

2.4. Rapport d'autopsie et causes de mortalité

A l'issue de chaque autopsie, un rapport comprenant l'identification de l'animal, les commémoratifs de découverte, une synthèse lésionnelle pour chaque organe ainsi qu'un bilan

lésionnel général associé à des photographies, et les résultats des analyses complémentaires demandées, est rédigé pour chaque individu. Ce rapport conclut également sur la cause présumée de la mort de l'animal à partir de toutes ces informations.

Le diagnostic nécropsique se décline en quatre rubriques, d'après le référentiel Epifaune mis en place par le réseau SAGIR :

- La cause définitive de la mort correspond à la cause qui a véritablement entraîné ou précipité la mort de l'animal (un sacrifice ou une collision par exemple). Il se peut qu'il n'y ait pas de cause définitive,
- Le processus pathologique principal qui est à l'origine de la mort de l'animal,
- Les processus accessoires qui n'ont vraisemblablement pas causé la mort de l'animal,
- Les autres découvertes d'autopsie.

Chaque rapport est ensuite étudié par un comité mortalité, composé de référents en matière de suivi sanitaire en faune sauvage, qui peut donc donner un avis sur le diagnostic nécropsique et la cause de la mort.

Chaque conclusion est accompagnée d'un indice de confiance du diagnostic sur une échelle allant de 5 à 1 :

- 5 : Diagnostic de certitude
- 4 : Diagnostic de suspicion fondé (basé sur des éléments anatomopathologiques et/ou des examens complémentaires concordants)
- 3 : Diagnostic de suspicion (présence d'éléments anatomopathologiques et/ou résultats d'examens complémentaires évocateurs mais insuffisants ou non concordants)
- 2 : Hypothèses de diagnostic (éléments anatomopathologiques et/ou résultats d'examens complémentaires très insuffisants ou absents)
- 1 : Pas de conclusion (conclusion impossible ou cause indéterminée)

2.5. Restitution et comités

Les résultats des analyses nécropsiques sont ensuite validés par un **comité mortalité** constitué de vétérinaires référents spécifiques (isard et autres ongulés de montagne, rapaces et autres oiseaux, mustélinés et autres carnivores) et fait également appel aux représentants des GTV 64 et 65 et de l'ONCFS. La mission de ce comité est de pouvoir relire et discuter des

causes de mortalité des animaux analysés au cours de l'année, afin de limiter le risque de subjectivité de certains cas difficiles, chacun pouvant apporter sa propre expérience.

Les résultats de l'ensemble des analyses et conclusions issues de la veille sanitaire sont ensuite restitués annuellement sous la forme d'un rapport écrit et d'une présentation orale lors d'une journée dédiée au **comité de pilotage**. Du fait de l'implantation du PNP sur deux départements et deux régions, le comité de pilotage est constitué de nombreux membres tels que :

- le vétérinaire référent des LPL,
- le chef du service « Connaissance du patrimoine naturel » ainsi que le chargé de mission faune du PNP,
- les vétérinaires référents thématiques (petits mammifères, ongulés de montagne et oiseaux),
- des représentants de l'Etat (DREAL Aquitaine, DREAL Occitanie, DDPP 64, DDCSPP 65),
- des représentants de l'ONCFS et de l'ANSES,
- des représentants du monde vétérinaire en activité libérale (GTV 64 et 65),
- des représentants du monde agricole (GDS 64 et 65),
- des représentants du monde de la chasse (Fédérations Départementales des Chasseurs des Pyrénées-Atlantiques et des Hautes-Pyrénées).

Lors de ce comité de pilotage, le protocole de veille passive du PNP peut également être réorienté en fonction des résultats obtenus ou adapté pour être davantage intégré dans des programmes de surveillance plus globaux.

Après la tenue du comité de pilotage, les résultats de la veille sanitaire sont de même présentés et discutés lors d'une journée de restitution à destination des agents du PNP, et notamment des référents « veille sanitaire » de chaque vallée.

2.6. Diagramme de flux des données

Le protocole de veille événementielle réalisée au PNP peut être résumé par le diagramme de flux de données suivant (Figure 2).

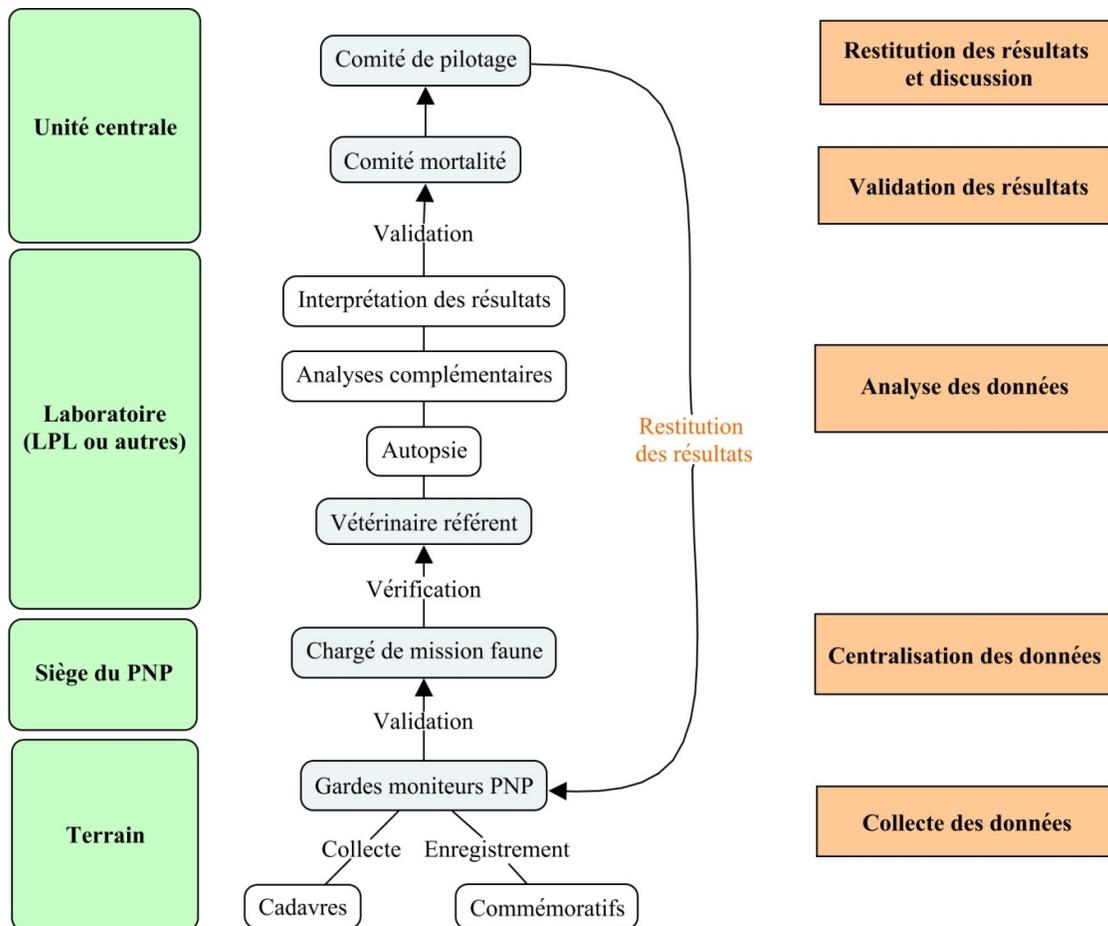


Figure 2 : Diagramme de flux des données issues de la veille sanitaire du PNP

3. Principaux résultats issus de la veille sanitaire passive

Nous nous intéresserons ici seulement aux animaux découverts à partir de 2009, soit à partir du moment où le protocole de veille sanitaire passive fut véritablement mis en place et appliqué.

3.1. Diversité des espèces découvertes

Depuis 2009, 487 cadavres d'animaux ont été découverts, toutes espèces confondues (Figure 3).

Les oiseaux occupent une place importante dans les découvertes. Les oiseaux nécrophages sont essentiellement représentés par les **vautours fauves** qui représentent 81%

des oiseaux nécrophages découverts, mais des milans royaux, des gypaètes barbus ainsi qu'un vautour percnoptère ont également été analysés.

Concernant les oiseaux non nécrophages, les découvertes sont beaucoup plus diversifiées en termes d'espèces. Les rapaces diurnes sont les plus représentés (46,5% des oiseaux non nécrophages) et dominés par les **buses variables** (15% des oiseaux non nécrophages) mais aussi des éperviers d'Europe (10%), des faucons crécerelles (10%), des aigles royaux (4,7%) ainsi que des circaètes Jean-le-Blanc (2,3%), des milans noirs (2,3%), des faucons pèlerins et un faucon crécerellette. Les rapaces nocturnes représentent quant à eux 16% des découvertes d'oiseaux non nécrophages, avec une dominance de chouettes hulottes (11% des oiseaux non nécrophages) mais aussi des effraies des clochers (3%) et des hiboux grand-duc et moyen-duc de façon plus anecdotique. On peut également noter la présence importante de passereaux (29% des oiseaux non nécrophages) tels que des merles noirs (8,5%) ainsi que de nombreuses autres espèces découvertes de façon anecdotique (Grive musicienne, Cincle plongeur, Chocard à bec jaune, Crave à bec rouge, Hirondelle de fenêtre, Geai des chênes). On retrouve également des grands téttras (3% des oiseaux non nécrophages), des hérons cendrés (1,6%) et un canard colvert, un martinet noir, un pic épeiche, un pigeon ramier et une tourterelle turque.

De nombreux petits mammifères sont également récupérés sur le territoire du PNP. Les espèces carnivores sont les plus retrouvées (73% des petits mammifères découverts) avec la dominance du **Renard roux** (22% des petits mammifères), suivi de près par la Martre des pins (13%), le Blaireau (13%) et le Chat forestier (8%), mais également des putois (4%), des visons d'Amérique (4%), des fouines, des genettes, des loutres d'Europe et des belettes. On retrouve également des rongeurs (14% des petits mammifères) tels que des écureuils roux (8%), des lérots, des marmottes ou encore des mulots sylvestres. Des desmans des Pyrénées (3%) et des musaraignes (3%) ont également été découverts. Enfin les chiroptères représentent 5% des petits mammifères récupérés.

Des ongulés sont de même découverts comme des isards (62% des ongulés), des chevreuils (31%) mais aussi des sangliers (3,5%), des bouquetins ibériques et des cerfs.

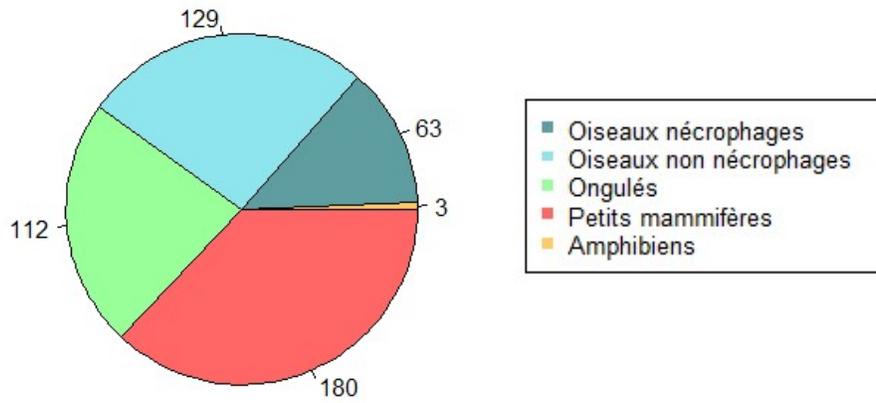


Figure 3 : Nombre d'animaux découverts par groupe d'espèces (n=487)

3.2. Milieux de découverte des animaux

D'après les fiches de commémoratifs remplies par les gardes moniteurs du PNP, les animaux étudiés dans le cadre de la veille passive sont essentiellement découverts le long des **axes routiers** (46%). Les milieux urbains sont également le lieu de découverte de nombreux animaux (13%) au même titre que les milieux ouverts (13%) tels que des prairies ou des estives (Figure 4).

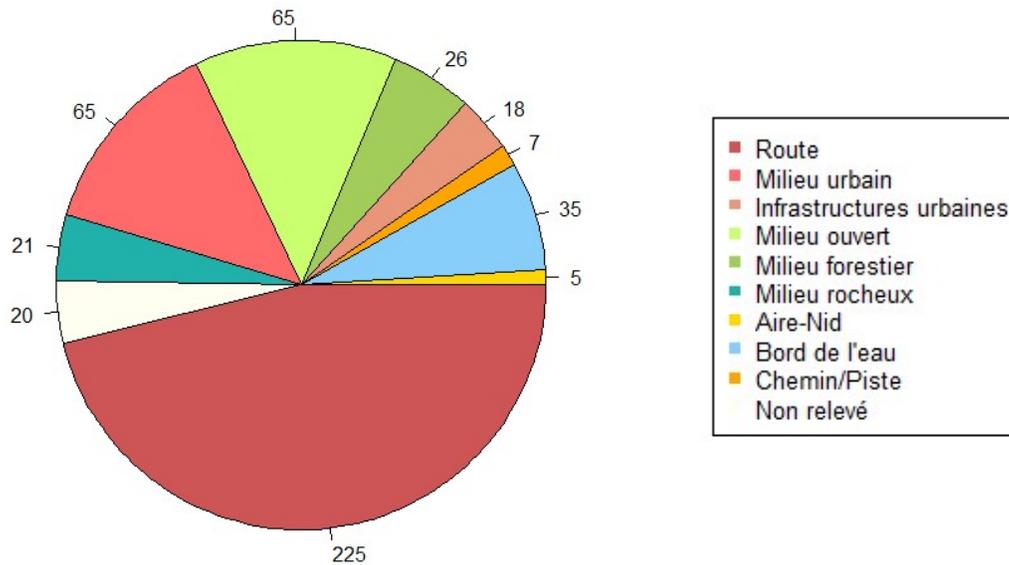


Figure 4 : Milieux de découverte des animaux collectés dans le cadre de la veille sanitaire du PNP (n=487)

3.3. Evolution du nombre de découvertes au cours du temps

Le nombre de cadavres récupérés est relativement stable depuis 2009, avec 49 cadavres découverts par an en moyenne (Figure 5).

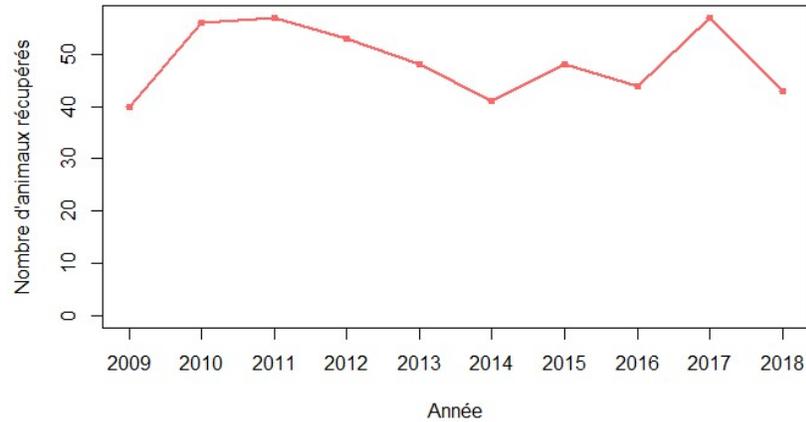


Figure 5 : Nombre de cadavres découverts par année dans le cadre de la veille sanitaire du PNP

On note cependant des variations au cours de l'année avec des périodes d'augmentation du nombre d'animaux récupérés en février, en mai, en juillet, en août et en octobre (Figure 6). Etant donné que beaucoup d'animaux sont découverts le long des axes routiers (Figure 4), nous pouvons supposer que les périodes où le nombre de découvertes augmente correspondent à des périodes de plus grande affluence touristique associées à un trafic routier plus important. Néanmoins, l'écologie des espèces, le climat et les saisons doivent également être pris en compte pour comprendre l'évolution du nombre de découvertes au cours de l'année.

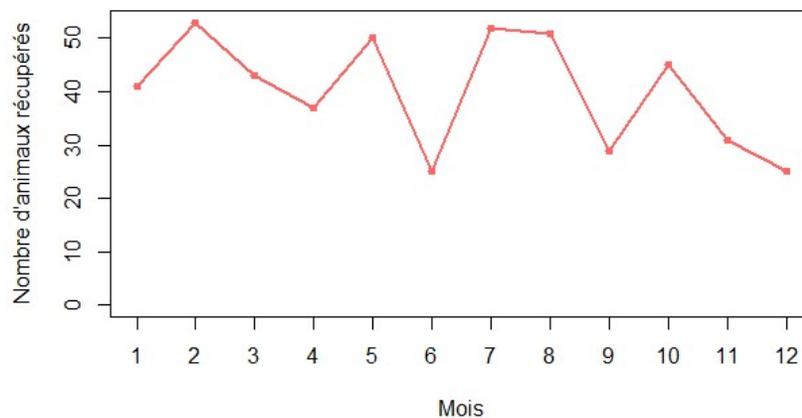


Figure 6 : Nombre d'animaux récupérés par mois depuis la mise en place du dispositif de veille sanitaire du PNP

3.4. Causes de mortalité

L'analyse des causes de mortalité n'a pu être réalisée qu'à partir des animaux pour lesquels une autopsie a été effectuée, soit 479 cadavres.

Elles peuvent être regroupées en différentes catégories :

- **Traumatique** : il peut s'agir d'une collision routière, d'une collision avec un pylône ou des fils électriques, ou encore d'une chute.
- **Infectieux** : différentes lésions peuvent expliquer la mort de l'animal, telles que des signes de pneumonie, de péricardite, de septicémie, de péritonite, une fasciolose hépatique, un parasitisme gastro-intestinal. Une maladie a parfois été mise en évidence, comme la kératoconjunctivite infectieuse ou la pestivirus chez des isards.
- **Prédation** : la prédation peut être une cause directe de la mort d'un animal.
- **Toxique** : Des molécules toxiques d'origine anthropique peuvent être à l'origine d'une intoxication chez les animaux sauvages. Des insecticides tels que le lindane, un insecticide organochloré interdit en France depuis 1998 (INRS) ou le carbofuran sont parfois à l'origine d'une intoxication. Le chloralose auparavant utilisé comme avicide contre les corbeaux ou les pies, ou en tant que rodenticides (INRS), peut également être une cause de mortalité. Les animaux peuvent également présenter des signes d'intoxication au plomb (atteinte de l'appareil locomoteur, digestif, anémie) suite à une ingestion de plomb présent dans l'environnement ou chez les victimes de tir. Les anticoagulants sont une autre cause de mortalité d'origine anthropique. Enfin, l'if à baies peut entraîner une intoxication d'animaux sauvages tels que les chevreuils suite à l'ingestion de la plante.
- **Autre** : cette catégorie regroupe un ensemble de cause de mortalité telles qu'une noyade, un piègeage ou un tir, un amaigrissement ou encore une cause physiologique comme la vieillesse.
- **Indéterminé** : Enfin, il se peut qu'aucune cause de mortalité ne puisse être identifiée suite à l'analyse des commémoratifs et du cadavre.

L'analyse générale de l'ensemble des animaux révèle que les causes traumatiques représentent la majorité des causes de mortalité (53%) (Figure 7). Ce résultat peut être relié au nombre conséquent d'animaux retrouvés le long des axes routiers.

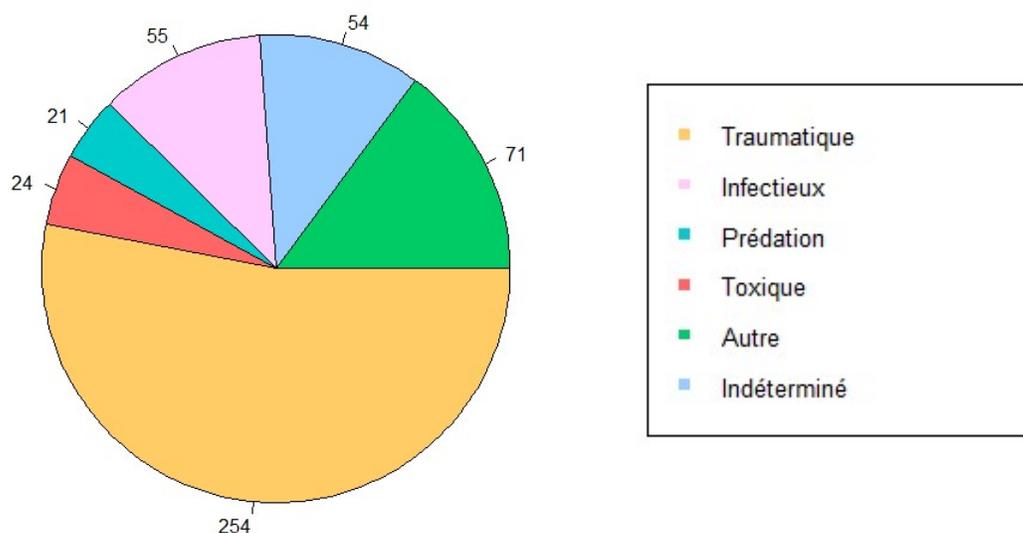


Figure 7 : Causes de mortalité des animaux autopsiés dans le cadre de la veille sanitaire du PNP (n=479)

Les causes traumatiques sont nettement dominantes pour les petits mammifères, chez qui 72% des individus sont morts suite à un traumatisme. Cette origine est également importante chez les oiseaux nécrophages et non nécrophages, avec respectivement 48 et 50.5% des cas de mortalité.

Chez les isards, au contraire, les causes infectieuses sont aussi importantes que les causes traumatiques chacune représentant 30% des cas de mortalité.

3.5. Problématique des intoxications

Même si les causes toxiques n'apparaissent pas comme majoritaires dans les causes de mortalité, elles n'en restent pas moins importantes. Parmi ces causes d'origine essentiellement anthropique, les anticoagulants représentent les causes les plus importantes (Figure 8).

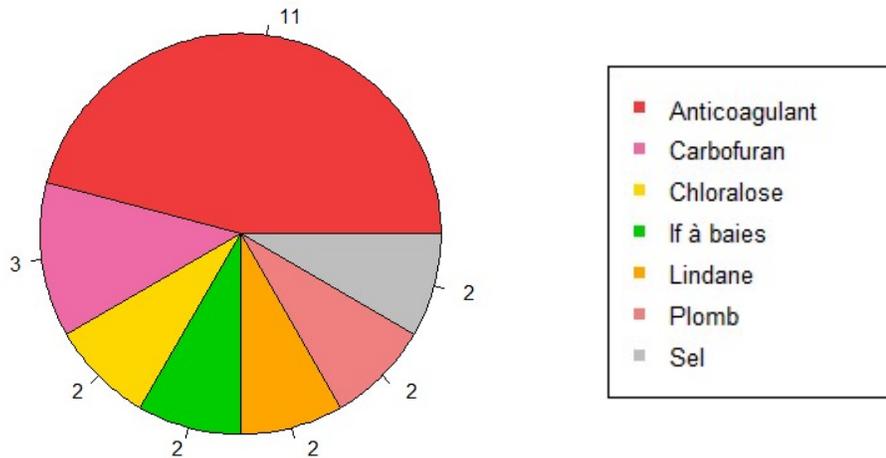


Figure 8 : Causes de l'intoxication des animaux morts intoxiqués (n=24)

Les 24 cas présentés dans la figure 8 sont des animaux pour lesquels les toxiques mis en évidence ont été identifiés comme étant à l'origine de la mort. Il est cependant important de noter que les anticoagulants ont également pu contribuer à la mort d'autres animaux, sans avoir pu être identifiés comme en étant la cause primaire.

E. Evaluation qualitative du système de surveillance passive du PNP

1. Analyse descriptive de la veille événementielle menée par le PNP

Les procédures d'évaluation externe de système de surveillance reposent généralement sur une démarche d'audit avec un questionnement des intervenants du dispositif associé à une grille d'évaluation en vue d'améliorer le fonctionnement du dispositif (Dufour, Hendrickx, 2011). Ici nous ne prétendons pas réaliser une analyse quantitative du réseau mis en place au PNP. Il s'agit simplement d'adopter une démarche d'analyse qualitative externe du réseau afin d'identifier ses points forts et ses points faibles et de soulever des pistes de réflexion.

1.1. Objectifs et contexte de la surveillance

Les objectifs de la veille événementielle du PNP, cités précédemment, sont très larges. De nombreux enjeux gravitent autour de cette surveillance.

Depuis 2013, suite à la signature de la charte du PNP, la veille sanitaire passive est une action menée par le PNP mais sous la gouvernance de son Conseil d'administration. Les élus locaux, présents au sein du Conseil d'administration, participent en effet au suivi de ce programme pouvant notamment répondre aux attentes des locaux et notamment du milieu agricole. La veille passive étant une action du territoire défendue par les élus locaux, sa légitimité en est grandement renforcée.

1.2. Organisation institutionnelle de terrain

Au niveau du terrain, la veille événementielle est assurée par les gardes moniteurs du PNP, chargés de la collecte des données (récupération des cadavres et remplissage de fiches de commémoratifs), et sans qui le dispositif ne pourrait pas fonctionner.

Un agent par secteur (vallée) est nommé référent de la veille sanitaire de son secteur. Celui-ci doit s'assurer que tous les agents disposent des moyens nécessaires pour mener à bien leur mission de récupération de cadavres en cas de découverte (gants, sacs plastiques, gel désinfectant, fiches de commémoratifs), qu'ils ramènent les cadavres qu'ils découvrent (dans les limites du possible) et qu'ils respectent le protocole établi. Le référent a également un rôle de sensibilisation et de communication auprès des autres agents. La participation de l'ensemble des agents de terrain est en effet primordiale.

1.3. Organisation institutionnelle centrale

L'organisation institutionnelle centrale du dispositif de veille sanitaire est bien définie. Elle est constituée de plusieurs personnes et comités.

Le **chargé de mission faune du PNP** est un maillon essentiel au bon fonctionnement de la veille sanitaire. Il est en effet en charge du suivi du déroulement du dispositif et assure le lien avec les agents de terrain. Il veille au bon respect du protocole par ces derniers. Le chargé de mission faune est un intermédiaire entre les agents de terrain et le laboratoire. En cas de découverte anormale, il peut donc avertir rapidement les deux parties, dans le but de mettre en place des mesures de prise en charge rapide du cas.

Les missions des **Laboratoires des Pyrénées et des Landes** (site de Lagor) sont assurées par un **vétérinaire**, en charge de la réalisation des examens nécropsiques, de la demande d'analyses complémentaires, et de l'interprétation des résultats. Ces rôles sont

formalisés dans une convention annuelle signée par les LPL et le PNP, détaillant notamment les modalités de chaque mission pour le vétérinaire.

Une convention est également établie entre le PNP et des **vétérinaires référents** (petits mammifères carnivores, ongulés de montagne, rapaces et autres oiseaux). De par leurs connaissances spécifiques respectives et leurs expertises, ils peuvent assister le vétérinaire responsable des LPL. Leurs rôles sont donc également bien formalisés. Ces référents participent aussi au **comité mortalité** mis en place dans le but de préciser et de valider collégalement le diagnostic de mortalité de chaque animal analysé.

Enfin, le **comité de pilotage** se réunit une fois par an. Au cours de cette réunion, les résultats de la veille sanitaire sont présentés, ainsi que des sujets d'actualité en lien avec le suivi sanitaire de la faune sauvage. D'après les principaux acteurs centraux de la veille sanitaire (le chargé de mission faune et le vétérinaire référent des LPL), les participants sont toujours nombreux et intéressés, et beaucoup d'institutions sont représentées.

1.4. Laboratoires

Les analyses nécropsiques ainsi que l'essentiel des analyses complémentaires sont réalisées sur le site de Lagor des LPL. D'autres analyses complémentaires sont parfois sous-traitées à d'autres laboratoires compétents. Ceci est notamment le cas pour le laboratoire de toxicologie vétérinaire de VetAgro Sup, dirigé par un vétérinaire spécialisé en toxicologie, et dont les techniques sont constamment revues et améliorées. De manière générale, bien que les techniques analytiques n'aient souvent pas été conçues dans un premier temps pour la faune sauvage, leur utilisation ainsi que l'interprétation des résultats obtenus s'améliorent grâce au suivi sanitaire de la faune sauvage sur le long terme. Le vétérinaire référent des LPL dispose également de l'interprétation personnelle du vétérinaire spécialisé en toxicologie de VetAgro Sup lors d'analyses toxicologiques.

Les protocoles d'autopsie utilisés dans le cadre de la veille sanitaire du PNP ainsi que les méthodes de diagnostic nécropsique reposent essentiellement sur les procédures utilisées par le réseau SAGIR et qui visent notamment à déterminer les causes de mortalité des animaux (ONCFS, 2016).

1.5. Outils de surveillance

Concernant la collecte des données, les cadavres découverts par les agents de terrain sont géo localisés et les données sont stockées dans la base de données Obsocc du PNP.

Concernant les moyens matériels, chaque secteur dispose d'un congélateur en état de marche afin de stocker les cadavres jusqu'à leur transfert au siège du Parc à Tarbes. Tous les agents ont également à leur disposition du matériel pour collecter les cadavres (gants, sacs plastiques, gel désinfectant), mais les stocks ne sont pas toujours régulièrement renouvelés.

Le siège du PNP possède des congélateurs afin d'assurer la centralisation et le stockage des cadavres à Tarbes. Ils semblent être suffisants en nombre pour accueillir les cadavres découverts, à condition que ces-derniers soient ensuite régulièrement transférés à Lagor pour analyses. Les capacités de stockage au niveau du laboratoire de Lagor (LPL) sont par contre relativement limitées, puisque le vétérinaire ne dispose que d'une partie d'un congélateur dans lequel seuls des cadavres de petite taille et des prélèvements peuvent être stockés. En cas de transfert de nombreux cadavres à Lagor, le vétérinaire doit donc procéder rapidement aux autopsies.

Au laboratoire de Lagor, le vétérinaire dispose d'une salle dédiée à la réalisation des autopsies. Celle-ci communique également avec une chambre froide dans laquelle les cadavres sont déposés pour gérer la décongélation en vue de l'autopsie, et possède le matériel nécessaire pour procéder aux examens nécropsiques. Une fois l'examen nécropsique et les prélèvements nécessaires réalisés, les cadavres sont gérés par le système d'équarrissage compétent sur le secteur (ATEMAX).

1.6. Modalités de surveillance

En cas de découverte d'un animal sauvage mort, les agents de terrain doivent le récupérer. La collecte de ces cadavres n'est cependant pas systématique. Elle dépend notamment de la possibilité de récupérer ces derniers et de l'intérêt des agents pour la veille sanitaire. Ceux-ci ne fournissent en effet pas toujours le même effort pour récupérer les cadavres et il peut arriver qu'un agent ne soit pas en capacité de récupérer le cadavre, s'il se trouve par exemple en zone de montagne trop éloignée des routes.

La collecte des données peut également être influencée par la baisse du nombre d'agents de terrain. Les effectifs du PNP ont en effet diminué au cours des dix dernières années, passant de 86 à 71 personnes, et affectant principalement les agents de terrain.

Une fois un animal découvert, hors urgence identifiée, il peut exister un délai important entre sa collecte et la communication des possibles causes de sa mort. En effet, la succession de plusieurs épisodes de stockage (au sein des secteurs puis à Tarbes) ainsi que les délais d'obtention de certains résultats d'analyses complémentaires augmentent considérablement le délai d'obtention du bilan nécropsique. Les dates de découverte et d'autopsie étant connues, le délai séparant ces deux événements est en moyenne de 173 jours. Des mesures spécifiques doivent donc être mises en place dans le cas où une réponse rapide sur les causes de mortalité est nécessaire.

Par ailleurs, la veille événementielle se faisant via une collecte opportuniste de cadavres au hasard des découvertes, l'effort de collecte des cadavres n'est donc pas homogène sur l'ensemble du territoire. Certaines zones très fréquentées par les agents de terrain, telles que des axes routiers, peuvent ainsi être des lieux importants de découvertes de cadavres. A l'inverse, certaines parties du territoire, comme les zones de haute montagne, sont moins explorées. Le manque de représentativité de l'ensemble du territoire est donc inhérent au protocole de surveillance passive.

1.7. Gestion des données

Concernant la saisie des données au niveau du terrain, les fiches de commémoratifs d'un animal retrouvé mort doivent normalement être remplies lors du retour de l'agent découvreur au bureau du secteur. Cela n'est cependant pas toujours respecté pour des raisons pratiques (manque de temps en période de forte activité ou défaut d'application du protocole). Du retard dans l'enregistrement des fiches de commémoratifs peut ainsi survenir, et certaines d'entre elles ne sont parfois pas renseignées par l'agent découvreur ou collecteur de l'animal lui-même. Les données saisies peuvent également être incomplètes dans le cas où l'animal a été découvert par une personne différente des gardes moniteurs. Néanmoins, il est important de noter que ces problèmes de saisie de données sont de moins en moins nombreux depuis la mise en place du protocole.

Concernant la gestion des données par le chargé de mission faune du PNP, la surveillance des données enregistrées sur la base Obsocc est assez faible. Par manque de temps et d'ergonomie de la base, les données enregistrées ne sont véritablement contrôlées et

examinées par ce dernier qu'une fois par an. Des phénomènes inhabituels ponctuels peuvent donc passer inaperçus. Par ailleurs, l'analyse des données ne se fait qu'à l'échelle du PNP sans pouvoir prendre en compte d'éventuels problèmes sanitaires détectés aux alentours mais qui pourraient s'étendre au PNP.

Les résultats des analyses nécropsiques et le bilan sur les causes de mortalité sont saisis par le vétérinaire référent des LPL, sous la forme de rapport d'autopsie.

Ces résultats sont ensuite restitués au comité de pilotage mais aussi aux agents de terrain. Les journées de restitution aux agents sont alors l'occasion de leur présenter les résultats de la surveillance et d'en discuter. Ceux-ci, par leur expérience de terrain, peuvent en effet aider à interpréter ou à comprendre certains résultats. Ces deux restitutions ne sont effectuées qu'une fois par an, mais le nombre de réunions peut être augmenté si nécessaire.

1.8. Formation des personnes

Suite à la mise en place du dispositif de veille sanitaire en 2009, une formation sur les bases de la surveillance sanitaire en faune sauvage (intérêts et objectifs, modalités de collecte et principes de biosécurité) a été donnée aux agents de terrain en 2010 par le vétérinaire référent des LPL ainsi que par un vétérinaire de l'ONCFS, et renouvelée en 2011. Tout nouvel agent est depuis formé individuellement par le chargé de mission faune du PNP qui lui explique alors le fonctionnement du protocole de surveillance.

Par ailleurs, depuis 2010, les agents de terrain reçoivent également une formation annuelle, abordant un thème d'intérêt défini selon l'expression de leurs besoins.

Le vétérinaire référent des LPL a été formé par chacun des vétérinaires référents et s'appuie sur leurs connaissances spécifiques concernant notamment des particularités lésionnelles et pathologiques des différents groupes d'espèces. Il participe également aux formations dispensées par le réseau SAGIR aux personnels de laboratoires vétérinaires susceptibles de prendre en charge des cadavres d'animaux sauvages. Grâce à ces partages d'expériences, la qualité du diagnostic nécropsique effectué pour le PNP s'améliore ainsi en continu, tout comme les compétences en termes d'interprétations des analyses complémentaires. Le vétérinaire spécialiste en toxicologie du laboratoire de VetAgro Sup, ainsi que celui du laboratoire d'anatomo-pathologie Vet Diagnostic, participent également beaucoup à l'amélioration de l'interprétation des résultats d'analyses toxicologiques ou histologiques.

De la même manière, les laboratoires font preuve d'efforts de recherches pour développer des méthodes analytiques adaptées en fonction des besoins.

1.9. Communication des résultats

Comme nous l'avons vu précédemment la communication ainsi que le lien avec les agents de terrain sont assurés par la programmation de journées de **restitution** et de formation.

Pour l'information du grand public, des **communiqués de presse** annuels résumant les principaux faits rapportés par la veille passive ont été diffusés jusqu'en 2013. Un article portant sur la veille sanitaire a été rédigé dans le magazine Empreinte du PNP en 2015. Il s'agit d'un magazine réalisé annuellement par le PNP et distribué à l'ensemble des habitants du territoire. En 2019, un article a également été écrit dans ce dernier magazine au sujet de la problématique des anticoagulants sur le PNP, dans le cadre de ce travail. Par ailleurs, un communiqué de presse a été diffusé suite à la découverte d'un ranavirus chez des amphibiens dans le Val d'Azun en 2017.

Les résultats de la veille sanitaire ont également été présentés lors de rencontres du GEEFSM (Groupe d'Etude sur l'Ecopathologie de la Faune Sauvage de Montagne) en 2012 et 2016 et de la SFEPM (Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères) en 2017. Certains résultats, récoltés dans le cadre d'autres systèmes de surveillance, tels que le réseau Vigilance Poison, ont pu faire l'objet d'**articles scientifiques** rédigés par la LPO (Berny et al., 2015) ou encore sur la kérato-conjonctivite infectieuse chez l'Isard (Gelormini et al., 2017). Les résultats ont également pu servir d'éléments dans le cadre du **rapport d'expertise** sur la pestivirose dans les Pyrénées en 2017 (ANSES, 2017) ou encore dans un article abordant les causes d'échec de la reproduction des gypaètes barbus (Razin, Arroyo, 2017). Le Parc accorde donc une importance particulière à valoriser et communiquer les résultats obtenus par la veille sanitaire.

En plus des réunions annuelles du comité de pilotage, la communication sur la veille sanitaire est également effectuée par le vétérinaire référent des LPL qui entretient des contacts réguliers avec des membres du réseau SAGIR, des GDS et des DDPP. Le chargé de mission faune du PNP joue lui aussi ce rôle auprès des fédérations départementales de chasseurs. Il participe en effet aux commissions départementales de la chasse au cours desquelles il peut donner son avis sur d'éventuelles décisions sur la base d'arguments sanitaires issus du dispositif du PNP.

1.10. Mesures de gestion

Différentes mesures de gestion ont pu être mises en place suite à l'identification de problème sanitaire ou d'impacts négatifs de certaines infrastructures humaines.

Des balises ont par exemple été installées sur certains câbles électriques, dans le but de limiter les risques de collision et d'électrocution pour l'avifaune sauvage. Des passages à faune peuvent également être installés sur des axes routiers identifiés comme dangereux par le dispositif de veille sanitaire.

Suite à la mise en évidence du ranavirus chez des amphibiens dans les Pyrénées, des mesures de prophylaxie ont été appliquées pour limiter le risque de transmission.

1.11. Evaluation du système

Dans le cadre d'un bilan quadriennal des actions prévues dans la charte du PNP et menées au cours des années 2014-2017, la veille sanitaire a fait l'objet d'une évaluation en 2018 par un groupe constitué d'élus et de partenaires du territoire du Parc.

Aucune méthodologie d'évaluation ni aucun indicateur n'avaient cependant été définis concernant la veille sanitaire avant cette évaluation. Celle-ci concernait les différents types de surveillance (passive et active) menée par le PNP. La distinction des deux types de surveillance et les objectifs attendus de chacune d'entre elles ne semblaient cependant pas être bien identifiés.

Cette évaluation a conclu à une bonne appropriation de la veille sanitaire par les agents de terrain et une bonne reconnaissance de la part des partenaires (agricoles, chasseurs, vétérinaires) de l'utilité de cette surveillance sur le territoire. La nécessité de procéder à davantage d'analyses des données pour mieux valoriser les résultats de la veille sanitaire et pouvoir mettre en place des actions concrètes et adaptées au contexte local semblait également importante.

De plus, dans une optique de mutualisation des stratégies sanitaires des différents parcs nationaux en France, le PNP a fait l'objet d'une évaluation de son dispositif de veille sanitaire en 2019.

2. Evaluation générale du dispositif et perspectives

2.1. Un réseau stable et fonctionnel

Une qualité principale du dispositif de veille passive du PNP réside dans sa **formalisation**. En effet, des protocoles et des conventions définissent clairement les rôles de chacun des participants, permettant de gagner en efficacité et d'optimiser le nombre et la qualité des données collectées. Le nombre de cadavres collectés mais non analysés a notamment été fortement réduit depuis 2009.

La stabilité du réseau repose également sur une bonne **communication** entre les différents acteurs (terrain, siège du PNP et LPL) qui entretiennent des relations de qualité. Le faible nombre d'interlocuteurs facilite aussi les échanges.

2.2. Un réseau bien accepté

Le dispositif de surveillance sanitaire passive de la faune sauvage du PNP est aujourd'hui bien accepté par l'ensemble des participants. La communication régulière entre les différents acteurs ainsi que les restitutions annuelles des résultats permettent de maintenir l'implication des agents de terrain. Globalement intéressés et actifs, ils sont à la base du système de surveillance.

Du point de vue interne au PNP, **l'implication** et les **échanges** d'informations entre les agents de terrain et les acteurs centraux démontrent l'acceptation du système. Cette qualité peut également être mise en avant du point de vue externe avec l'importante **participation** et le fort intérêt des institutions autres que le PNP lors du comité de pilotage. Le suivi et l'animation du réseau, assurés par le chargé de mission faune du PNP et le vétérinaire référent de LPL, permettent notamment de maintenir l'intérêt des différents intervenants pour la veille sanitaire du PNP.

La surveillance passive de l'état sanitaire de la faune sauvage étant incluse dans la charte du PNP, elle est également une action du territoire. La participation des élus locaux lors de la mise en place de cette action renforce donc son acceptabilité et sa légitimité sur le PNP.

La reconnaissance du travail mené par le PNP est également visible par le fait que de nombreux particuliers signalent la découverte de cadavres aux agents du PNP.

2.3. Un fonctionnement personne-dépendant

Bien qu'un grand nombre d'institutions s'intéressent au dispositif de surveillance du PNP, celui-ci semble néanmoins personne-dépendant. Le fonctionnement de ce programme repose en effet fortement sur deux personnes centrales (le chargé de mission faune du PNP et le vétérinaire référent de LPL). Des solutions alternatives (autres personnes voire autres laboratoires) pourraient être prévues pour assurer la continuité du fonctionnement du dispositif dans le cas où ces personnes centrales ne puissent pas respecter leurs engagements.

Le faible nombre de personnes fortement impliquées dans le fonctionnement du réseau peut représenter un frein au réajustement de ce dernier si cela est nécessaire. En effet, bien que le nombre d'intervenants au comité de pilotage soit important, celui-ci permet davantage d'assurer la transparence des données issues de la veille sanitaire vis-à-vis du territoire du PNP, qu'une véritable discussion autour des objectifs recherchés par le dispositif.

Le comité de pilotage ne semble pas être suffisant pour permettre la redéfinition des objectifs ou la réorientation du réseau si cela est nécessaire. Un autre groupe de travail pourrait donc être constitué afin de répondre à ces dernières attentes et permettre ainsi l'évolution du réseau en fonction des besoins. Pour se faire, celui-ci devrait notamment inclure des épidémiologistes capables d'aider le réseau à définir des protocoles de surveillance adaptés aux objectifs identifiés au préalable.

2.4. Une surveillance généraliste utile pour le territoire

Le réseau mis en place au PNP correspond à un dispositif de surveillance généraliste en termes d'espèces et d'impacts sanitaires et anthropiques. Cette caractéristique offre l'opportunité de surveiller l'état sanitaire des animaux de façon globale. Les objectifs d'un tel réseau ne sont cependant pas des actions de prévention ou de contrôle, mais simplement de suivi. Dans ce contexte, il est donc difficile de mesurer l'utilité du réseau et des informations produites sur le contrôle des maladies et l'évaluation des actions de lutte mises en place. L'utilité d'un tel réseau se mesure davantage par son apport dans les choix stratégiques de surveillance de la santé des animaux domestiques et des hommes, et de gestion et conservation des espèces sauvages. Celui-ci peut également avoir un intérêt pour la recherche scientifique ainsi que pour la sensibilisation du public.

Le fort intérêt de nombreuses institutions pour le dispositif de veille sanitaire montre son utilité pour différents acteurs du territoire tels que le milieu agricole, le monde de la chasse et les vétérinaires libéraux.

2.5. Un territoire surveillé restreint vis-à-vis de certains problèmes sanitaires

La veille sanitaire se limite au territoire du PNP, contrairement à l'extension éventuelle de certaines maladies contagieuses. La connaissance du statut sanitaire de la faune sauvage à une échelle plus large que celle du PNP serait donc intéressante pour améliorer les capacités de détection de phénomènes anormaux du réseau, et ainsi la connaissance du statut sanitaire de la faune sauvage. Le protocole de veille sanitaire du PNP étant basé sur celui du réseau SAGIR, il pourrait notamment être facilement intégré dans des dispositifs de surveillance plus globaux.

Dans cette optique, le PNP, ainsi que d'autres parcs nationaux, participent à une tentative de mutualisation des stratégies sanitaires. La saisie et la gestion des données se feront alors sur la base de données Epifaune du réseau SAGIR à partir de l'année 2020, permettant un partage de l'ensemble des données entre les différents réseaux en vue de la détection précoce de phénomènes anormaux à une échelle plus large que celle du PNP.

2.6. Des résultats fiables mais non représentatifs de l'ensemble du territoire

Les données produites semblent être pertinentes vis-à-vis d'un objectif de suivi global de la santé de la faune sauvage, dans un contexte où les moyens humains et financiers sont réduits.

Cependant, le protocole de collecte des cadavres ne garantit pas la représentativité du territoire, étant donné que certaines zones sont très peu explorées comparativement à d'autres. Les données collectées ne permettent pas de refléter correctement la distribution dans le temps et dans l'espace d'un éventuel problème sanitaire. Le réseau doit donc avoir conscience de ses limites. En faune sauvage, de nombreuses données manquantes, telles que l'abondance et la répartition des espèces dans leur milieu naturel, ainsi que des limites relatives à la collecte de données (importante étendue des milieux naturels, inaccessibilité de certaines zones, difficulté de découverte des cadavres de petite taille) sont à prendre en compte dans l'analyse des données par les gestionnaires.

Une seule personne étant responsable des analyses nécropsiques et de la gestion des données (vétérinaire référent des LPL), nous pouvons considérer que ces données sont reproductibles, les procédures d'analyses étant bien définies. Ceci facilite la comparaison des résultats des différents examens nécropsiques entre eux et au cours du temps. Ce suivi est également rendu possible par l'archivage et la conservation des données dans le temps, permettant de rechercher certaines informations précises si besoin.

La reproductibilité de la saisie de commémoratifs par les agents de terrain n'a pas été vérifiée. Or, même si les agents de terrain sont globalement impliqués dans le dispositif de surveillance, des différences d'intérêt persistent, et peuvent influencer la collecte des données et donc la capacité à détecter une éventuelle anomalie. Il serait donc intéressant de s'assurer que dans une situation donnée, deux agents de terrain enregistrent les mêmes informations. La qualité des informations saisies pourrait également se mesurer par le nombre de fiches commémoratives incomplètes ou mal remplies.

2.7. Une détection rapide d'évènements inhabituels difficile malgré un réseau fonctionnel

Comme évoqué précédemment, un tel réseau ne permet pas de détecter précocement des évènements de mortalité inhabituelle. En effet, le **délai** important entre la collecte des cadavres et l'obtention du rapport d'autopsie concluant sur la cause de la mort de l'animal, limite fortement les capacités du réseau de surveillance à détecter précocement un phénomène rare ou difficilement observable depuis le terrain. Seule l'observation d'une mortalité importante ou de signes cliniques évidents peuvent alors permettre de le détecter rapidement.

La **flexibilité** du réseau peut alors être un atout pour compenser ce retard dans l'obtention des résultats. Celle-ci correspond à la capacité du réseau à s'adapter rapidement à des changements de fonctionnement ou des besoins de nouvelles informations dans des situations particulières, tout en maintenant sa structure préétablie. Cette caractéristique est notamment permise par un réseau fonctionnel dans lequel chaque acteur connaît ses missions, mais est aussi facilitée par un territoire de taille réduite et un faible nombre d'interlocuteurs. Cette flexibilité peut donc permettre d'apporter des informations supplémentaires en cas de signalement d'un évènement anormal. Ces modifications au niveau de la collecte des données et des analyses doivent néanmoins être prises en compte par la suite.

Cette flexibilité repose également sur les agents de terrain. Grâce à leur présence régulière sur le terrain, leur connaissance du territoire, mais aussi leurs compétences en termes de suivi des populations, ils peuvent être en capacité de détecter rapidement des phénomènes anormaux (comme des épisodes de mortalité importante). Le réseau a ainsi déjà fait preuve de réactivité lors d'épisodes de mortalité inhabituelle, comme cela a été le cas lors de la découverte du ranavirus suite à la découverte de mortalité massive d'amphibiens en Val d'Azun. Dans de telles situations des mesures de prise en charge peuvent être mises en place rapidement, notamment grâce au lien existant entre les différents acteurs du réseau.

Par ailleurs, le PNP dispose d'un autre atout pouvant compléter le système de surveillance déjà mis en place. Les agents de terrain ont en effet la possibilité de notifier, sur la base de données Obsocc, l'observation d'évènements inhabituels tels que des signes cliniques observés sur certains animaux. Ils peuvent également signaler la présence d'un cadavre même s'il n'a pas pu être récupéré. Le suivi rapproché de telles observations pourrait donc être une source d'informations complémentaires du protocole de veille passive classique, permettant ainsi de détecter plus rapidement d'éventuels processus anormaux.

2.8. Mesures de la performance du réseau de surveillance

Comme nous l'avons évoqué précédemment, il est difficile d'évaluer quantitativement l'impact d'un système de surveillance passive. Dans le cas où aucun évènement inhabituel ne survient, il est difficile de savoir si cela est dû à un manque de sensibilité de la surveillance ou s'il s'agit juste d'une situation normale. L'impact d'un dispositif passif peut davantage être apprécié du point de vue qualitatif. Nous pouvons nous demander en quoi il influence la prise de certaines décisions, l'adoption de mesures de gestion ou de conservation d'espèces, mais aussi quel est son intérêt pour la recherche, ou pour le développement des connaissances.

Les performances internes du réseau peuvent par contre être plus facilement évaluées de façon quantitative. Or, comme nous l'avons vu précédemment, le dispositif de surveillance ne prévoit pas d'indicateurs précis sur lesquels s'appuyer pour évaluer son fonctionnement. Des indicateurs de performance pourraient donc être définis pour évaluer le fonctionnement du système au niveau des différents étages.

La qualité de la collecte des données peut par exemple être évaluée par les indicateurs suivants :

- Nombre de cadavres observés mais non récupérés
- Durée moyenne entre la découverte d'un cadavre et son enregistrement sur la base Obsocc
- Pourcentage de cadavres récupérés non enregistrés sur Obsocc
- Pourcentage de fiches de commémoratifs mal renseignées
- Pourcentage de cadavres qui parviennent au laboratoire en étant correctement identifiés et accompagnés d'une fiche de commémoratifs bien renseignée

Au niveau des analyses, d'autres indicateurs pourraient être définis comme par exemple :

- Pourcentage d'animaux correctement identifiés pour lesquels un examen nécropsique est réalisé
- Pourcentage d'animaux, pour lesquels une ou des analyses complémentaires sont prévues dans le protocole, et pour lesquels la ou les analyses sont effectivement réalisées et interprétées
- Pourcentage de prélèvements faisant effectivement l'objet d'une analyse complémentaire
- Est-ce que tous les animaux autopsiés ont un rapport d'autopsie concluant sur la cause de leur mort ?

Concernant la restitution des données, nous pourrions nous intéresser à différents éléments :

- Le taux de participation au comité de pilotage
- Est-ce que tous les participants au comité mortalité sont présents ou actifs lors de réunion ?
- Un bilan de la surveillance a-t-il bien lieu une fois par an pour chaque groupe de destinataires (comité de pilotage et référents sanitaire du PNP) ?
- Est-ce que l'ensemble des acteurs ou participants à la veille sanitaire reçoivent un bilan écrit des résultats ?

Nous pourrions également nous assurer qu'une formation à destination des agents de terrain a bien lieu au moins une fois par an.

D'autres indicateurs de fonctionnement du système pourraient être proposés. Pour chacun des indicateurs définis, il serait ensuite important de définir des objectifs, afin de pouvoir ensuite évaluer le système au cours du temps, voire adapter certains objectifs.

2.9. Conclusion et perspectives

Le réseau de surveillance passive du PNP est un réseau fonctionnel et stable assurant une surveillance généraliste de la faune sauvage en vue de la détection de phénomènes sanitaires anormaux. Il s'agit d'un réseau sentinelle reposant notamment sur la connaissance du territoire et de la faune par les gardes moniteurs du PNP ainsi que sur leur importante présence sur le terrain. Les découvertes des cadavres étant néanmoins opportunistes, des phénomènes inhabituels peuvent rester invisibles pour le dispositif. Par ailleurs, les données n'étant véritablement analysées qu'une fois par an, des phénomènes ponctuels peuvent passer inaperçus. La réactivité et la flexibilité du réseau permettent cependant la mise en place rapide de mesures de gestion si cela est nécessaire.

Concernant le fonctionnement du réseau, bien qu'une bonne communication soit établie entre les différents acteurs, celui-ci reste très dépendant d'un faible nombre de personnes sur lesquelles reposent le suivi et l'animation du dispositif. La participation d'autres acteurs, tels que des épidémiologistes, permettrait d'élargir le nombre de personnes situées à la base du système et de mieux faire évoluer les orientations du dispositif en fonction des besoins. Un autre groupe de travail pourrait ainsi être constitué dans le but de réfléchir spécifiquement aux objectifs du réseau et les moyens mis en œuvre pour y répondre.

La mutualisation des stratégies de surveillance sanitaire de différents parcs nationaux est également l'occasion de réfléchir sur les objectifs recherchés. L'inclusion des données issues de la veille sanitaire du PNP dans des systèmes de surveillance à plus grande échelle permettrait également d'améliorer la capacité de détection de phénomènes de mortalité anormale.

Lors de plusieurs réunions réalisées au cours des dernières années, les différents acteurs de la veille sanitaire ont affiché leur volonté de valoriser les données issues de ce dispositif.

Une des problématiques importantes au niveau du PNP concerne les pullulations de campagnols. Plusieurs actions, notamment menées dans les vallées des Hautes-Pyrénées, avaient pour objectif de lutter contre des-derniers, tout en minimisant l'usage d'anticoagulants. Le soutien d'une lutte alternative non chimique contre les populations de campagnols en cas de pullulation faisait notamment partie des orientations prises en aire d'adhésion par la charte du PNP.

Avec pour volonté de diminuer l'impact négatif des activités anthropiques sur la faune sauvage, le PNP a alors proposé de valoriser les données issues de la veille sanitaire, dans le but de mettre en place des mesures de gestion. L'étude suivante portant sur l'étude de l'exposition de la faune sauvage aux anticoagulants sur le territoire du PNP s'inscrit donc dans ce contexte.

PARTIE II : La problématique des anticoagulants pour la faune sauvage

Avant de présenter l'étude de l'exposition aux anticoagulants de la faune sauvage sur le PNP, nous nous intéresserons, dans cette deuxième partie, aux anticoagulants utilisés dans le cadre de mesures de lutte contre certains rongeurs. Ces-derniers pouvant affecter d'autres populations sauvages non cibles, des moyens permettant la réduction du risque pour la faune sauvage seront discutés.

A. Les anticoagulants, produits de lutte contre les populations de rongeurs

1. Les nuisances occasionnées par les populations de rongeurs

Les produits à base d'anticoagulants sont en premier lieu destinés à lutter contre les populations de rongeurs jugés indésirables. Parmi eux, les espèces responsables de nuisances sont des rongeurs prairiaux tels que le Campagnol terrestre (*Arvicola terrestris*), mais également des rongeurs anthropophiles tels que la Souris domestique (*Mus musculus domesticus*), le Rat surmulot (*Rattus norvegicus*), le Rat noir (*Rattus rattus*) ou encore le Léroty (*Eliomys quercinus*) (Le Louarn, Quéré, 2011).

1.1. Impact sanitaire

Ces différentes espèces de micromammifères peuvent être porteuses de nombreux agents pathogènes et ainsi jouer un rôle dans la transmission de certaines maladies à l'homme ou aux animaux domestiques. La contamination peut se faire de manière directe (morsure, ingestion d'aliments contaminés) ou par l'intermédiaire d'un vecteur piqueur. Les rongeurs peuvent ainsi transmettre différents agents parasitaires, bactériens et viraux (Le Louarn, Quéré, 2011) (Annexe 3).

A titre d'exemple de zoonose parasitaire, nous pouvons citer l'échinococcose alvéolaire, due au développement dans le foie de la larve d'*Echinococcus multilocularis* pour lequel les rongeurs constituent des hôtes intermédiaires du cycle parasitaire. L'homme peut s'infester au contact d'hôtes définitifs (renard, chien, chat) infestés ou suite à l'ingestion de légumes souillés par des fèces contaminés (Le Louarn, Quéré, 2011).

Un autre exemple est celui de la peste qui, à l'échelle mondiale, fait partie des maladies les plus préoccupantes. Avec un réservoir animal essentiellement constitué par les rongeurs commensaux, elle a été à l'origine de 3248 cas et 584 décès dans le monde, entre 2010 et 2015 (OMS, 2016).

De même, la leptospirose humaine fait l'objet de préoccupations grandissantes en France. En 2014-2015, le nombre de cas en France métropolitaine a en effet nettement augmenté atteignant 600 cas par an, soit une incidence de 1 cas pour 100 000 habitants. Cette maladie bactérienne zoonotique est également endémique dans les départements d'outre-mer (Bourhy et al., 2017).

1.2. Impact économique

Les rongeurs sont également capables de causer de nombreux dommages dans les infrastructures humaines ou les cultures. Les micromammifères anthropophiles peuvent en effet dégrader l'isolation ou l'installation électrique des infrastructures humaines et s'alimenter dans des stocks de denrées alimentaires, à l'origine de pertes quantitatives et qualitatives (souillures) (Colazo, Castro, 1997). On considère qu'un rat peut rendre impropre à la consommation 250 à 300 g de blé par jour. La dégradation des emballages est aussi à l'origine d'une altération plus rapide des denrées stockées (Le Louarn, Quéré, 2011). De tels dégâts peuvent être observés dans des bâtiments agricoles mais également dans des refuges du PNP. Les lérots peuvent en effet occasionner des dégâts dans les isolants thermiques de granges peu habitées.

Les rongeurs prairiaux, adaptés à la vie souterraine creusent d'importants réseaux de galeries leur permettant de se nourrir des végétaux tout en étant protégés des prédateurs (Jacob et al., 2014). Les surfaces toujours en herbe (STH) sont des lieux propices au développement des campagnols, leur assurant une ressource alimentaire abondante (Figure 9). Il a ainsi été montré qu'une proportion de STH de plus de 85% était un facteur favorisant la pullulation des campagnols terrestres (Giraudoux et al., 2002).



Figure 9 : Parcelle en herbe envahie par le Campagnol terrestre. Photo A. Dervaux. (Jacquot, 2013)

De par l'importance des surfaces herbagères, les vallées pyrénéennes sont ainsi régulièrement confrontées à des périodes de pullulation de campagnols :

- vallée de Luz-Saint-Sauveur au cours des années 2008 à 2009,
- val d'Azun en 2008-2010 puis 2015-2018,
- vallée d'Aure en 2016.

Les dommages causés par le Campagnol terrestre peuvent entraîner des pertes de rendement de 30 à 80% (Le Louarn, Quéré, 2011). Les pertes sont donc quantitatives, mais également qualitatives (Jacob et al., 2014). En effet, la présence de terre dans les fourrages récoltés en altère la qualité nutritionnelle et la conservation (Singleton, 2010). Les surcoûts engendrés par les dégâts occasionnés (usure du matériel par la terre, achat de nouvelles semences, achat de fourrages, etc.) s'ajoutent au travail supplémentaire nécessaire (entretien du matériel, alternance fauche-pâturage). Dans le Jura, lors d'une pullulation de campagnols, l'augmentation de la charge de travail a entraîné un surcoût de 10000€ par agriculteur pour une année (Fernandez-de-Simon et al., 2019). Une étude réalisée en Espagne a montré que ces périodes caractérisées par des dommages sur les cultures suivaient directement une période de pullulation des rongeurs (Luque-Larena et al., 2013).

2. Les pullulations de rongeurs, un phénomène cyclique et plurifactoriel

2.1. Un cycle de développement pluriannuel

Ces micromammifères se caractérisent par une importante prolificité, ce qui, dans des conditions favorables, participe à leur pullulation. De tels phénomènes concernant les campagnols ont en effet pu être étudiés dans le département du Doubs en 1998 et 2003 (Giraudoux et al., 2002 ; Decors et al., 2013) ou encore dans le Puy-de-Dôme en 2010-2011 (Decors et al., 2013).

Le Campagnol terrestre, tout comme le Campagnol des champs, fait partie des rongeurs champêtres retrouvés en zones de plaines ou de moyenne montagne, ayant un impact majeur en agriculture. Le Campagnol terrestre présente notamment des pullulations cycliques, avec un pas de temps moyen de cinq ans (Figure 10). En phase de pullulation, ce dernier occasionne d'importants dégâts dans les prairies touchées (Couval et al., 2013).

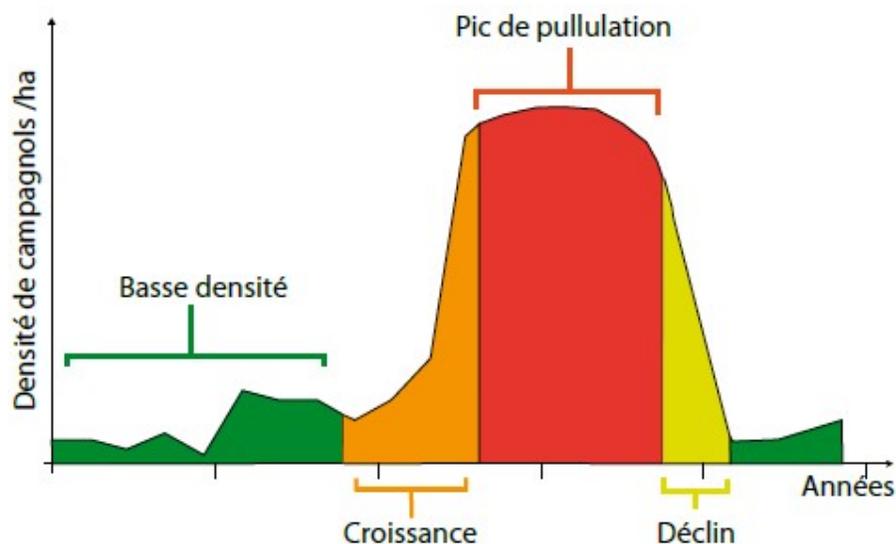


Figure 10 : Cycle pluriannuel de croissance des populations du Campagnol terrestre sur 5 ans, dans le cas où aucune action n'est menée (Couval et al., 2013)

En Europe, des cycles de développement pluriannuels sont généralement observés tous les deux à cinq ans à une échelle régionale (Jacob et al., 2014 ; Luque-Larena et al., 2013). De tels cycles ont été observés sur le PNP de 2008 à 2010 puis de 2015 à 2018 dans le Val d'Azun.

2.2. Facteurs déterminant la dynamique de population des rongeurs

La variation de l'abondance d'une espèce est dépendante de nombreux facteurs.

Des facteurs intrinsèques à l'espèce rentrent tout d'abord en jeu, tels que la prolificité et la durée de vie des individus (Le Louarn, Quéré, 2011), mais aussi leur capacité à se disperser et leur sociabilité (Radchuk et al., 2016). Le caractère social des femelles de rongeurs a été étudié et a montré qu'un faible chevauchement des domaines vitaux des femelles, et donc un système social altéré, correspondait à un taux de croissance de la population plus faible (Johnsen et al., 2019).

L'effectif d'une population dépend par ailleurs de facteurs extrinsèques à l'espèce comme les maladies, les conditions météorologiques ou les ressources alimentaires (Le Louarn, Quéré, 2011). Enfin, le rôle des prédateurs est primordial dans la régulation des populations de micromammifères. Des prédateurs généralistes tels que le Renard roux (*Vulpes vulpes*) ou l'Effraie des clochers (*Tyto alba*) sont capables d'adapter leur régime alimentaire en fonction de l'abondance des proies. Il a ainsi été montré que l'importance de la part des campagnols terrestres dans le régime alimentaire des renards roux était associée à la densité des populations de campagnols terrestres (Raoul et al., 2010). Les prédateurs généralistes ont donc un rôle primordial dans la régulation des populations de rongeurs prairiaux, certains allant alors jusqu'à se spécialiser sur une espèce en cas de pullulation. Les prédateurs spécialistes, tels que la Belette d'Europe (*Mustela nivalis*) ou l'Hermine (*Mustela erminea*), jouent eux aussi un rôle très efficace dans la régulation des populations de campagnols (Le Louarn, Quéré, 2011) ainsi que dans l'arrêt des périodes de pullulation.

L'extension et l'homogénéisation des zones agricoles est bénéfique au développement des rongeurs prairiaux. Ces zones sont en effet riches en ressources alimentaires, mais aussi défavorables à l'installation de prédateurs, faute de haies et d'arbres pouvant servir de corridor pour les mammifères prédateurs ou de perchoir pour les oiseaux de proies. Dans ces conditions, les populations de rongeurs peuvent atteindre plus de 2000 individus par hectare (Jacob et al., 2014). Les cultures de luzerne constituent par exemple une ressource alimentaire de qualité tout au long de l'année, permettant aux populations de campagnols de se développer (Jareño et al., 2015). Le contexte paysager prend donc toute son importance puisqu'il influence grandement la densité des proies (rongeurs) et des prédateurs.

Seule la prise en compte de facteurs intrinsèques (tels que la capacité de dispersion, la sociabilité et son impact sur la reproduction) et de facteurs extrinsèques (tels que la prédation)

explique la cyclicité des dynamiques de populations de rongeurs (Radchuk et al., 2016). Une autre étude a également suggéré que les caractéristiques intrinsèques des rongeurs (telles que le comportement social) jouaient un rôle clé dans la période d'accroissement de la population, tandis que des facteurs extrinsèques (prédation, nourriture) étaient à l'origine du déclin de la population de rongeurs, présentant alors une dynamique cyclique (Johnsen et al., 2019).

2.3. Estimation de l'abondance des rongeurs

Estimer l'abondance des populations de rongeurs est primordial pour prévenir les dommages éventuels qu'ils peuvent causer et lutter contre ces populations. Dans cet objectif, les observateurs doivent donc être capables d'identifier les signes de présence des rongeurs.

En milieu agricole, bien que les campagnols creusent des galeries similaires aux taupes, des indices spécifiques peuvent être observés en surface (Giraudoux et al., 1995). Des méthodes de comptage des campagnols ont ainsi été développées. Trois méthodes d'estimation de l'abondance du Campagnol des champs (*Microtus arvalis*) ont notamment été comparées par une étude réalisée en Espagne : capture-marquage-recapture (CMR), piégeage simple et comptage des signes d'activité des campagnols. Concernant cette dernière méthode, 10 à 15 carrés de 30 cm de côté étaient inspectés, tous les 5 à 7 mètres le long d'une trajectoire linéaire (dont 5 étaient situés au bord de la parcelle et 10 à l'intérieur de la parcelle). Dans chaque carré, la présence ou l'absence d'excréments récents (de couleur verdâtre, de texture molle et de 3-5 mm aux extrémités arrondies) et de petits monticules de végétation fraîchement coupés par les campagnols, était observée. Les abondances estimées des campagnols par les méthodes de détection des signes d'activité et de piégeage simple se sont avérées comparables. Celles-ci étaient également bien corrélées à celle obtenue par CMR (considéré comme une méthode plus exacte) (Jareño et al., 2014).

La recherche d'indices de présence des campagnols étant rapide, peu chère et facile à mettre en place, elle semble intéressante pour suivre les populations de campagnols. La formation des observateurs est cependant nécessaire pour comparer les résultats (Jareño et al., 2014).

Une méthode de comptage a été définie comme méthode de référence afin d'encadrer l'utilisation de produits phytopharmaceutiques à base de bromadiolone⁸. Il s'agit d'estimer la densité d'indices de présence récents sur une parcelle.

3. La lutte contre les populations de rongeurs

De par les dégâts occasionnés et leur rôle potentiel dans la transmission de maladies, les rongeurs sont généralement considérés comme des animaux indésirables par l'Homme (Le Louarn, Quéré, 2011). Des stratégies de lutte ont alors été développées.

3.1. La lutte préventive

Le choix des matériaux de construction des bâtiments (grillage, plaque métallique, ciment lisse) permet de limiter l'entrée et l'installation des rongeurs anthropophiles.

La coupe régulière des bordures enherbées (zones de refuges pour les campagnols), une fauche régulière, ou encore le pâturage par des animaux d'élevage sont des facteurs limitant l'installation des populations de rongeurs prairiaux (Jacob et al., 2014). La destruction des galeries par le labour est aussi utile en cas de pullulation de campagnols (Heroldová et al., 2018).

Enfin, les prédateurs constituent un facteur de régulation important. La présence de haies et de perchoirs favorise notamment la présence de prédateurs régulateurs des populations de rongeurs (Coeurdassier et al., 2014). De telles actions ont été mises en place en 2015 en vallée d'Aure avec la pose d'une dizaine de nichoirs visant à favoriser l'installation d'effraies des clochers, grandes consommatrices de rongeurs. Par ailleurs, pour le Renard roux, la Belette (*Mustela nivalis*), la Martre des pins (*Martes martes*) ou encore la Fouine (*Martes foina*), autres prédateurs jouant le rôle de régulateur des populations de rongeurs, et souvent considérés comme nuisibles, les opérations de destruction (tir, piégeage, déterrage) habituellement autorisées, sont normalement suspendues dans les parcelles où des mesures préventives chimiques de lutte contre les surpopulations de campagnols sont mises en œuvre⁹.

⁸ MINISTERE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols nuisibles aux cultures ainsi qu'aux conditions d'emploi des produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone. Annexe II.

⁹ MINISTERE EN CHARGE DE L'ECOLOGIE. Arrêté du 30 juin 2015 fixant la liste, les périodes et les modalités de destruction des espèces d'animaux classés nuisibles. Article 2.

3.2. La lutte offensive

La lutte préventive n'étant pas toujours suffisante pour endiguer le développement des populations de rongeurs, des méthodes curatives ont été mises en place dans les années 1950 (Giraudoux, Delattre, 2009).

Le piégeage fait ainsi partie des méthodes curatives employées. Cette méthode a notamment pu être expérimentée dans plusieurs vallées des Hautes-Pyrénées (vallée d'Aure, de Luz-Saint-Sauveur et d'Azun), dans lesquelles le PNP a participé au financement de campagnes de piégeage ainsi qu'à la création de GDON (Groupement de Défense contre les Organismes Nuisibles) locaux. Lors de pullulation de rongeurs, le piégeage, coûteux en temps, devient cependant parfois insuffisant (Damin-Pernik et al., 2017).

Une autre mesure de lutte contre ces nuisibles est l'utilisation de rodenticides. Des molécules neurotoxiques à action aiguë (crimidine, strychnine) ont été développées pour lutter contre ces micromammifères (Le Louarn, Quéré, 2011), mais les anticoagulants se sont révélés plus efficaces, car davantage adaptés aux caractéristiques sociales et comportementales des rongeurs (Jacquel, 2017). Par conséquent, ils sont aujourd'hui largement utilisés en France : 99% des rodenticides utilisés étaient à base d'anticoagulants en 2004, la molécule la plus utilisée étant la chlorophacinone (75%) puis la bromadiolone (17%) (Fournier-Chambrillon et al., 2004).

4. Propriétés des anticoagulants et lutte contre les rongeurs

4.1. Historique

En 1921, fut pour la première fois décrit un syndrome hémorragique chez le bétail, suite à l'ingestion de mélilot moisi. La substance responsable de cet incident fut découverte en 1941, avec la mise en évidence du dicoumarol. De nouvelles molécules à action similaire ont alors été produites, tel que le coumafène, pour leur intérêt thérapeutique notamment dans le traitement des thromboembolies chez l'homme, mais aussi en tant que rodenticides (Sage, 2008).

Dans les années 1950, la lutte chimique contre les rongeurs a ainsi débuté avec l'utilisation du coumafène, molécule aussi appelée warfarin (Ishizuka et al., 2008). S'en est suivi le développement d'autres molécules formant alors, avec le coumafène, le groupe des

anticoagulants de 1^{ère} génération: le coumatétralyl, la chlorophacinone et la diphacinone (Damin-Pernik et al., 2017).

Néanmoins, l'usage répété de molécules de 1^{ère} génération dans le monde entier a causé l'apparition de résistance chez certains rongeurs comme la Souris grise (*Mus musculus domesticus*), le Rat surmulot (*Rattus norvegicus*) et le Rat noir (*Rattus rattus*) (Hodroge, 2011). Ce phénomène de résistance a été identifié dès 1958 en Ecosse (Boyle, 1960), puis dans de nombreux pays (Ishizuka et al., 2008).

De nouvelles molécules, dites de 2^{ème} génération, ont alors été utilisées à partir des années 1980 : la bromadiolone, le brodifacoum, le difénacoum, le flocoumafène et le diféthialone (Damin-Pernik et al., 2017). Ces dernières sont aujourd'hui couramment utilisées dans la lutte contre les rongeurs.

Les anticoagulants provoquent chez ces derniers une mort différée par hémorragie en agissant sur le mécanisme de coagulation de l'organisme (Hodroge, 2011).

4.2. Mécanisme de la coagulation

Les anticoagulants agissant au niveau de la coagulation plasmatique, il convient de rappeler le mécanisme mis en jeu, ainsi que les principaux acteurs moléculaires.

4.2.a. Physiologie de l'hémostase

Toute rupture de l'intégrité du réseau vasculaire entraîne normalement la formation d'un thrombus plaquettaire assurant l'obturation de la brèche. La vasoconstriction du vaisseau atteint, l'adhésion des plaquettes aux cellules endothéliales, ainsi que leur agrégation constituent la première étape de l'hémostase, aussi appelée hémostase primaire. Ce thrombus plaquettaire, ou clou plaquettaire, reste cependant fragile et temporaire, et doit être consolidé par un réseau protéique stable.

La consolidation de ce thrombus blanc correspond alors à l'hémostase secondaire, ou coagulation plasmatique au cours de laquelle, le fibrinogène plasmatique soluble est transformé en fibrine insoluble enserrant le clou plaquettaire. De nombreux facteurs de la coagulation participent à la coagulation plasmatique. Certains d'entre eux sont dits « vitamine K dépendants ». Ces-derniers, pour lesquels la vitamine K est nécessaire à l'acquisition de leurs propriétés fonctionnelles, sont regroupés sous le nom de PPSB : prothrombine (facteur II), proconvertine (facteur VII), facteur de Stuart (facteur X) et facteur

anti-hémophilique B (facteur IX). La cascade de la coagulation plasmatique aboutit alors à la production de la thrombine responsable de la transformation du fibrinogène en fibrine assurant le maintien de l'intégrité vasculaire (Figure 11).

A l'issue de la réparation vasculaire, suivra une étape de fibrinolyse permettant la dégradation de la masse fibrino-plaquettaire (de Revel, Doghmi, 2004).

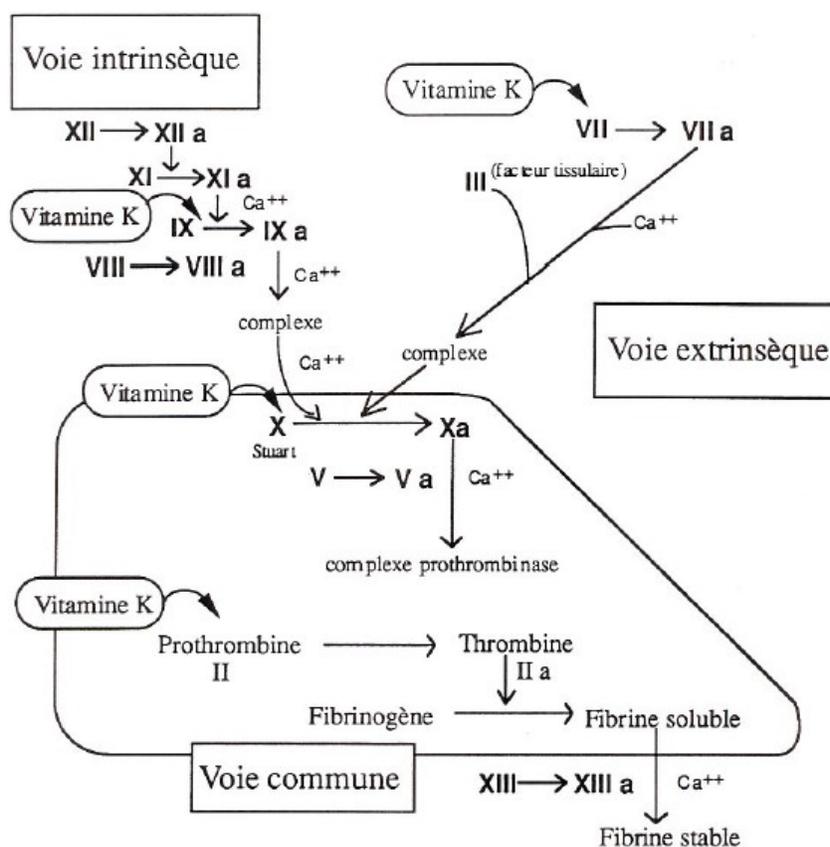


Figure 11 : Schéma récapitulatif de la cascade de coagulation sanguine (Roch, 2008)

4.2.b. Rôle de la vitamine K

La vitamine K regroupe un ensemble de composés chimiques apparentés de type quinone (Hodroge, 2011). Elle existe sous différentes formes : la vitamine K1 essentiellement retrouvée dans les légumes verts, la vitamine K2 d'origine animale, ou la vitamine K3 produite par synthèse (Siguret, 2006). La vitamine K est liposoluble et rapidement absorbée par le tube digestif en présence de sels biliaires. Une petite quantité sera ensuite stockée dans le foie, tandis que 60-70% de la vitamine K ingérée sera éliminée par voie biliaire ou urinaire (Hodroge, 2011).

La vitamine K1 est la forme majeure utilisée dans l'activation des facteurs de coagulation vitamine K dépendants (PPSB). Celle-ci est essentiellement concentrée dans le foie, également lieu de synthèse des précurseurs des PPSB (Hodroge, 2011).

4.2.c. Le cycle de la vitamine K

Pour continuer à maintenir une production suffisante en facteurs de coagulation, la vitamine K est régénérée lors du cycle de la vitamine K (Stafford, 2005). La vitamine K-2,3-époxyde obtenue après la gamma-carboxylation des protéines vitamine K dépendantes, est en effet recyclée en vitamine K quinone, puis en vitamine K hydroquinone, afin de maintenir un stock suffisant de vitamine K hydroquinone nécessaire à la cascade de la coagulation (Hodroge, 2011). Ce cycle met notamment en jeu l'enzyme vitamine K époxyde réductase (Stafford, 2005) pour catalyser ces différentes étapes (Figure 12).

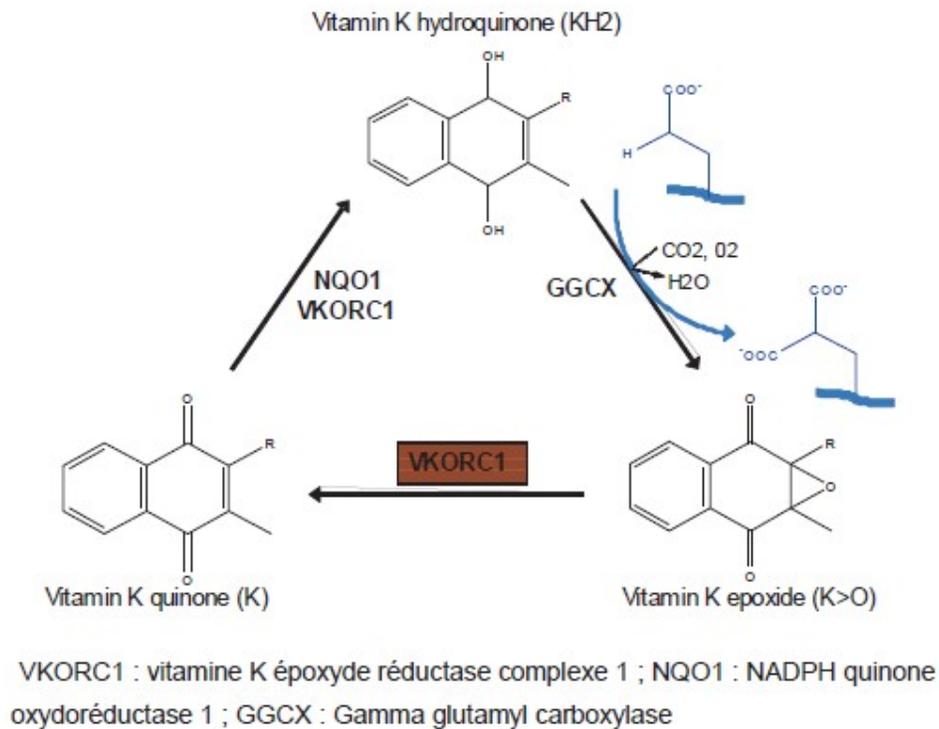


Figure 12 : Le cycle de la vitamine K (Hodroge, 2011)

4.3. Mécanisme d'action des anticoagulants

Les anticoagulants sont des dérivés de trois molécules, présentant une analogie structurale avec la vitamine K (Roch, 2008) (Figure 13).

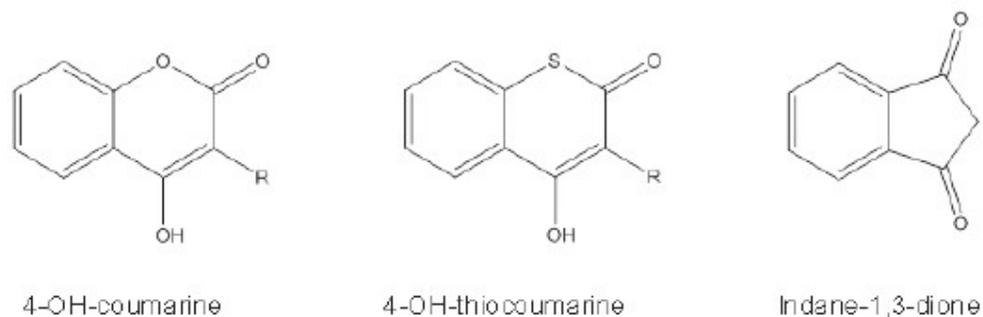
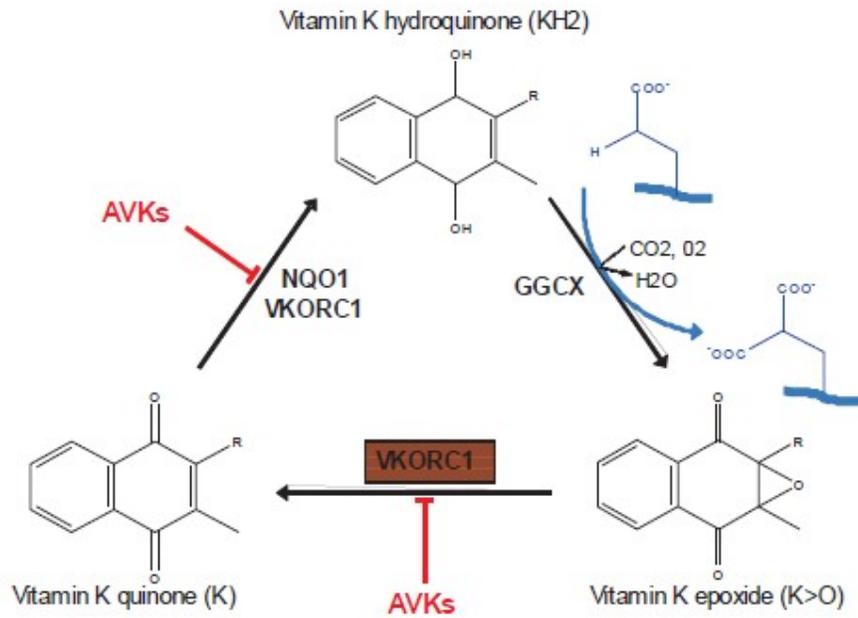


Figure 13 : Structure chimique des différentes familles d'anti-vitamines K (Hodroge, 2011)

Certains anticoagulants sont des dérivés de la 4-hydroxy-coumarine. C'est le cas du coumafène, du coumachlore, du coumatétralyl, du flocoumafène, du difénacoum, du brodifacoum et de la bromadiolone. La diphacinone et la chlorophacinone sont des dérivés de l'indane-1,3-dione (Roch, 2008). Enfin, la diféthialone est un dérivé de la 4-hydroxy-thiocoumarine (Hodroge, 2011).

Aussi appelés anti-vitamines K (AVK), ils inhibent l'enzyme vitamine K époxyde réductase (VKOR) responsable du recyclage de la vitamine K dans l'organisme (Lefebvre et al., 2017) (Figure 14).



VKORC1 : vitamine K époxyde réductase complexe 1 ; NQO1 : NADPH quinone oxydoréductase 1 ; GGCX : Gamma glutamyl carboxylase ; AVK : Anti Vitamine K

Figure 14 : Action des anti-vitamines K sur le cycle de la vitamine K (Hodroge, 2011)

Les réserves de l'organisme en vitamine K1 sont très limitées. L'absence de régénération de la vitamine K1 aboutit à l'épuisement de ces réserves et donc à des troubles de l'hémostase secondaire (Roch, 2008) puisque les facteurs de la coagulation PPSB (facteurs II, VII, IX et X) ne pourront plus être activés (Ishizuka et al., 2008). Ceci aura pour conséquence d'augmenter les temps de coagulation et donc de retarder la formation de la fibrine (Hodroge, 2011), et à terme d'entraîner la mort de l'animal suite à des hémorragies (Lefebvre et al., 2017).

4.4. Propriétés pharmacocinétiques des anticoagulants

Les anticoagulants sont rapidement absorbés dans l'organisme, notamment au niveau du duodénum. Leur absorption est maximale 6 heures après l'ingestion, et totale au bout de 24 heures. Au cours de leur transport sanguin, ces derniers présentent une forte fixation aux albumines plasmatiques (70 à 99% selon la molécule considérée) (Mallet, 2017), entraînant leur libération progressive et donc une action prolongée. Les anticoagulants sont ensuite distribués au foie via la veine porte, où ils vont s'accumuler (Figure 15) (Roch, 2008).

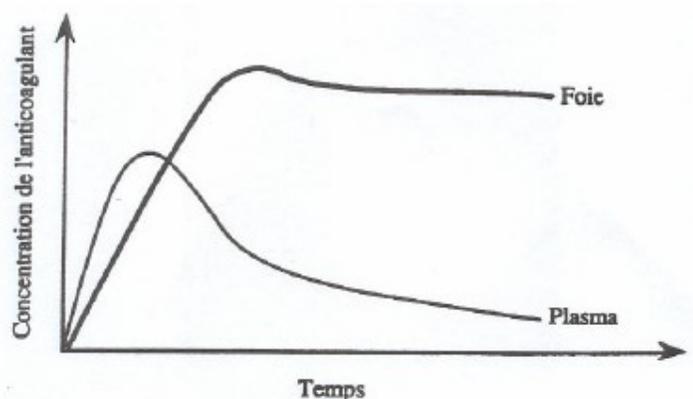


Figure 15 : Représentation théorique des cinétiques plasmatique et hépatique des rodenticides anticoagulants chez le rat (Roch, 2008)

Le passage transplacentaire possible, tout comme dans le lait, peut avoir des conséquences sur le fœtus (Mallet, 2017).

En raison de leur forte affinité pour les récepteurs hépatiques, les anticoagulants vont présenter une forte persistance dans le foie, toutefois variable en fonction de la molécule considérée, à l'origine de la persistance de leur toxicité (Mallet, 2017).

Les anticoagulants de 2^{ème} génération aussi appelés SGAR (second generation anticoagulant rodenticide) sont principalement excrétés sous forme de molécules mères, tandis que ceux de 1^{ère} génération (FGAR - first generation anticoagulant rodenticide) sont essentiellement métabolisés (Jacquot, 2013) (Tableau 1). Dans le foie, ces-derniers subissent des biotransformations, notamment par les cytochromes P450. Les anticoagulants sont ensuite éliminés essentiellement par voie biliaire, sous forme glucuroconjuguée, puis les métabolites obtenus sont hydrolysés au niveau intestinal et sont réabsorbés par un cycle entéro-hépatique, prolongeant leur activité toxique (Roch, 2008).

L'élimination des anticoagulants dans le foie est biphasique avec tout d'abord une diminution rapide des concentrations suivie d'une deuxième phase d'élimination plus lente, chacune des phases ayant un temps de demi-vie qui lui est propre. Par exemple, chez le rat, la diminution des concentrations hépatiques de bromadiolone pendant la première phase d'élimination se fait avec une demi-vie de 17 jours, et en 318 jours au cours de la deuxième phase (Sage, 2008). L'élimination terminale fécale de la chlorophacinone est quant à elle beaucoup plus rapide puisqu'elle atteint 90% en deux jours (Mallet, 2017).

Le tableau suivant illustre les variations de métabolisme des différentes molécules, les temps de demi-vie correspondant à la deuxième phase d'élimination (Tableau 1).

Tableau 1 : Cinétique et métabolisme des anticoagulants (Jacquot, 2013)

Génération	Substance active	Absorption	Organe d'accumulation	Demi-vies dans le plasma (jours, chez la souris) ¹	Demi-vies dans le foie (jours, chez la souris) ¹	Demi-vies dans le foie (jours, chez le rat) ²	Forme d'excrétion dominante	Voie d'excrétion majoritaire
1	Chlorophacinone	Rapide (4 à 24 h) et efficace (69 à 100 %)	Foie essentiellement	11,7	35,4	NA	Métabolites	Fécale
	Coumafène			14,9	66,8	NA		Rénale
	Coumatétralyl			0,52	15,8	55		Rénale
2	Brodifacoum			91,7	307,4	150-200	Molécule mère	Fécale/Rénale
	Bromadiolone			33,3	28,1	170-318		Fécale
	Difénacoum			20,4	61,8	118		Fécale
	Diféthialone			38,9	28,5	126		Fécale
	Flocoumafène			26,6	93,8	215		Fécale

4.5. Classification toxicologique des anticoagulants

Les différentes molécules anticoagulantes peuvent être classées en fonction de leur persistance et de leur toxicité.

La classification anglo-saxonne classe les anticoagulants en deux catégories : les anticoagulants de 1^{ère} (FGAR) et de 2^{ème} (SGAR) génération. Les FGAR sont toxiques par ingestion répétée, tandis que les SGAR se caractérisent par une toxicité et une persistance dans l'organisme plus importantes (Mallet, 2017) permettant une toxicité après une ingestion unique (Rossi, 2004). Nous retiendrons cette dernière classification (Tableau 2).

Tableau 2 : Classification anglo-saxonne des anticoagulants (Damin-Pernik et al., 2017)

1 ^{ère} génération	2 ^{ème} génération
Coumafène	Brodifacoum
Coumatétralyl	Bromadiolone
Clorophacinone	Difénacoum
Diphacinone	Diféthialone
	Flocoumafène

La classification française différencie les molécules selon leur durée de persistance dans l'organisme (Annexe 4). Les anticoagulants sont ainsi classés en trois générations.

4.6. Toxicité des anticoagulants

Par leur action inhibitrice, mais réversible, sur la cascade enzymatique responsable de la coagulation, les anticoagulants entraînent un arrêt de l'hémostase. Des signes cliniques tels que des hémorragies internes spontanées peuvent alors survenir plusieurs jours après l'ingestion d'anticoagulants, faute d'activation de la coagulation. Il a ainsi été montré que des souris mouraient un à sept jours après l'ingestion du toxique (Vandenbroucke et al., 2008).

Les anticoagulants de 2^{ème} génération se caractérisent par une toxicité plus importante. Les doses létales entraînant la mort de 50% de la population (DL50), indicatrices d'une toxicité aiguë, sont en effet nettement plus faibles pour les SGAR (Tableau 3).

Tableau 3 : Dose létale 50 de différentes molécules anticoagulantes chez la souris (Vandenbroucke et al., 2008)

Anticoagulants de 1 ^{ère} génération	Dose létale 50 (DL50) (mg/kg)	Anticoagulants de 2 ^{ème} génération	Dose létale 50 (DL50) (mg/kg)
Coumafène	374	Bromadiolone	1,75
Coumatétralyl	<1000	Brodifacoum	0,4
Chlorophacinone	20,5	Difénacoum	0,8
		Flocoumafen	0,8
		Diféthialone	1,29

La toxicité des anticoagulants dépend également de leur persistance dans l'organisme, en étant à l'origine d'une éventuelle bioaccumulation. Le foie est en effet le principal organe d'accumulation des anticoagulants (Sage, 2008). Les SGAR présentent une plus grande affinité aux sites de fixation hépatique, permettant une meilleure persistance au niveau du foie. Le temps de demi-vie hépatique des anticoagulants varie de 15,8 jours pour le coumatétralyl à 307,4 jours pour le brodifacoum chez la souris (Vandenbroucke et al., 2008).

4.7. Propriétés physico-chimiques des anticoagulants

Les rodenticides anticoagulants se présentent sous forme d'appâts prêts à l'emploi, de concentrats liquides servant à la préparation des appâts, ou encore de poudres de pistes qui imprègnent les poils des rongeurs lors de leur passage dans les endroits traités puis ingérés par léchage. La base de l'appât est essentiellement constituée de céréales (avoine, blé, etc) à

laquelle le toxique est ajouté. D'autres appâts, sous forme de granulés ou de blocs paraffinés, sont davantage utilisés en milieu extérieur (Sage, 2008). Dans des milieux fortement humides tels que les égouts, seuls les blocs de paraffine présentent une persistance et une efficacité garantie (Jacquot, 2013).

Les propriétés des anticoagulants varient en fonction de la nature de leur chaîne latérale et de la présence ou non de dérivés halogénés (Annexe 5). La présence de ces dérivés facilite notamment leur identification et leur dosage en toxicologie analytique. Ils se présentent sous différentes formes (poudre ou solide incolores, blancs ou jaunes) (BARBIER SAINT HILAIRE, 2012) et leur caractère insipide et inodore facilite leur utilisation dans les appâts (Roch, 2008).

Ces composés sont relativement stables dans l'environnement (Roch, 2008). Cette stabilité semble moins dépendre des conditions climatiques que du comportement de stockage des rongeurs. La persistance de ces composés a notamment été étudiée à partir de l'exemple de la bromadiolone. Le temps de demi-vie de la bromadiolone varie entre trois et six jours dans les galeries creusées par les campagnols. Une fois les appâts mis en réserve dans des lieux de stockage par les campagnols, sa persistance est nettement augmentée avec des temps de demi-vie d'environ 24 jours au printemps et 42 jours en automne (Sage, 2007). Le comportement de mise en réserve peut donc avoir des conséquences sur une campagne de lutte à base de bromadiolone, en donnant des résultats différés voire en touchant des espèces non ciblées.

4.8. Intérêt des anticoagulants dans la lutte contre les rongeurs

4.8.a. Caractéristiques socio-comportementales des rongeurs

Afin de mettre en place des mesures de lutte contre certaines espèces, il est primordial de connaître l'écologie et le comportement des espèces cibles. La lutte contre des rongeurs à base d'appâts empoisonnés doit donc être adaptée à leur comportement alimentaire et social pour être efficace (Lund, 1988).

La néophobie est une caractéristique fortement limitante pour le contrôle des populations de certains rongeurs. Ce comportement consiste en l'évitement de tout élément inhabituel dans un environnement connu, réduisant ainsi le risque d'être confronté à une situation dangereuse pour l'espèce. La néophobie est notamment présente chez les rats (*Rattus norvegicus*, *Rattus rattus*), et est particulièrement marquée chez les jeunes individus (Lund,

1988). Dans le cadre d'une lutte contre ces rongeurs, ce comportement pourra retarder l'obtention des effets souhaités de plusieurs semaines (Jacquel, 2017).

Le comportement de stockage alimentaire des rongeurs peut également influencer les résultats de campagnes de lutte. Les aliments stockés peuvent en effet ne pas être consommés immédiatement voire jamais. Ce comportement est notamment présent chez les rongeurs prairiaux qui adaptent leur régime alimentaire en fonction des saisons. Le Campagnol terrestre consomme par exemple des jeunes pousses d'herbes au printemps, et des aliments stockés plus nourrissants en automne et en hiver (rhizomes, tubercules, graines) (Lund, 1988).

Enfin, les rats sont également capables d'avoir des préférences alimentaires et de développer certains comportements alimentaires et, notamment apprendre par l'observation. Les expériences alimentaires (positives ou négatives) peuvent être transmises aux jeunes individus par les adultes (Lund, 1988). Ces comportements sociaux limitent donc l'efficacité des rodenticides à action rapide chez des populations de rongeurs.

4.8.b. Caractéristiques des anticoagulants

Le délai d'action des anticoagulants permet de contrer le caractère néophobique de certains rongeurs ainsi que l'apprentissage permis par leur organisation sociale comme chez les rats (Damin-Pernik et al., 2017). En effet, la mort d'un individu quatre à dix jours après l'ingestion de l'appât empoisonné (Jacquel, 2017) empêche les rongeurs d'établir un lien causal entre ces deux événements (Lefebvre et al., 2017). Ce mécanisme d'action permet donc aux anticoagulants de rester efficaces contrairement à des toxiques à action plus rapide.

Le comportement d'un rongeur intoxiqué peut par ailleurs être modifié. Une étude portant sur des rats de laboratoire a en effet montré que 48 heures après l'ingestion d'un appât, les individus intoxiqués présentent des modifications de leur comportement : la période d'activité nocturne diminue tandis que la période d'activité diurne augmente. De plus, contrairement au comportement normal des rats, ces derniers empruntent moins les bordures, et les zones ouvertes sont davantage utilisées (Cox, Smith, 1992). Le comportement normal des rongeurs s'inverse alors, augmentant leur vulnérabilité face à certains prédateurs.

Par ailleurs, l'apparition des signes cliniques d'intoxication tels qu'une démarche chancelante voire une immobilité causées par une éventuelle anémie, et ce malgré la présence de signaux alertant la présence d'un prédateur, sont des facteurs favorisant la prédation de ces individus (Cox, Smith, 1992).

5. Les anticoagulants, des produits règlementés

5.1. Un double usage : biocide ou phytopharmaceutique

Les pesticides, utilisés pour lutter contre les organismes considérés nuisibles, regroupent deux principales catégories de produits¹⁰ :

- Les produits phytopharmaceutiques au sens du règlement (CE) n° 1107/2009
- Les produits biocides comme définis dans la directive 98/8/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 février 1998.

Les anticoagulants existent donc sous différentes formes commerciales selon l'usage qui leur est destiné.

5.1.a Produits phytopharmaceutiques

Certains produits sont qualifiés de produits phytopharmaceutiques (PPP). Ces formulations contiennent notamment des substances actives destinées à « protéger les végétaux ou les produits végétaux contre tous les organismes nuisibles ou prévenir l'action de ceux-ci »¹¹.

De nombreuses espèces de micromammifères, tels que le Campagnol terrestre, la Souris domestique ou le Rat noir, font partie de la liste des organismes nuisibles aux végétaux¹². La propagation de ces espèces pouvant présenter un danger soit à certains moments, soit dans un périmètre déterminé, soit sur certains végétaux, peut alors nécessiter des mesures spécifiques de lutte obligatoire¹³.

Des PPP sont alors autorisés dans le secteur de l'agriculture, à destination des professionnels, pour lutter contre ces micromammifères considérés nuisibles.

¹⁰ DIRECTIVE 2009/128/CE DU PARLEMENT EUROPEEN ET DU CONSEIL du 21 octobre 2009 instaurant un cadre communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable. CHAPITRE I. Article 3. 10.

¹¹ REGLEMENT (CE) N°1107/2009 DU PARLEMENT EUROPEEN ET DU CONSEIL du 21 octobre 2009, concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil. CHAPITRE I. Article 2. 1.

¹² MINISTERE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 31 juillet 2000 établissant la liste des organismes nuisibles aux végétaux, produits végétaux et autres objets soumis à des mesures de lutte obligatoire. Annexe B.

¹³ MINISTERE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 31 juillet 2000 établissant la liste des organismes nuisibles aux végétaux, produits végétaux et autres objets soumis à des mesures de lutte obligatoire. Article 2.

Des organismes à vocation sanitaire (OVS) reconnus dans le domaine végétal dans chaque région¹⁴ ont pour rôle d'organiser et superviser la surveillance, la prévention et la lutte contre les dangers sanitaires de deuxième catégorie, dont les organismes nuisibles cités précédemment font partie¹⁵.

En France, la bromadiolone est autorisée pour le contrôle des campagnols terrestres en plein champ (Jacquot et al., 2013). La réglementation vis-à-vis de l'utilisation de la bromadiolone utilisée en tant que produits phytopharmaceutiques a évolué : la quantité maximale pouvant être appliquée dans les champs a diminué de 20 kg/Ha dans les années 1990 (Fernandez-de-Simon et al., 2019) à 7,5 kg/Ha aujourd'hui¹⁶. Par ailleurs, les PPP contenant de la bromadiolone ne peuvent être distribués que par un organisme à vocation sanitaire, et leur utilisation est exclusivement réservée à des professionnels¹⁷.

5.1.b. Biocides

On entend par produits biocides « les préparations contenant une ou plusieurs substances actives qui sont présentées sous la forme dans laquelle elles sont livrées à l'utilisateur, qui sont destinées à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre de toute autre manière, par une action chimique ou biologique »¹⁸. Les organismes nuisibles sont alors définis comme des « organismes ou pathogènes, dont la présence n'est pas souhaitée ou qui produisent un effet nocif pour l'homme, ses activités ou les produits qu'il utilise ou produit, pour les animaux ou l'environnement »¹⁹.

Les biocides incluent différentes catégories de produits :

- Groupe 1 : Désinfectants
- Groupe 2 : Produits de protection (denrées alimentaires, bois, cuir, etc.)

¹⁴ MINISTERE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 31 mars 2014 portant reconnaissance des organismes à vocation sanitaire dans le domaine animal ou végétal. Annexe.

¹⁵ Décret n° 2012-845 du 30 juin 2012 relatif aux dispositions générales organisant la prévention, la surveillance et la lutte contre les dangers sanitaires de première et deuxième catégorie.

¹⁶ MINISTERE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols nuisibles aux cultures ainsi qu'aux conditions d'emploi des produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone. CHAPITRE II. Article 7.

¹⁷ MINISTERE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols nuisibles aux cultures ainsi qu'aux conditions d'emploi des produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone. CHAPITRE II. Article 9.

¹⁸ DIRECTIVE 98/8/CE DU PARLEMENT EUROPEEN ET DU CONSEIL du 16 février 1998 concernant la mise sur le marché des produits biocides. Article 2. 1.a.

¹⁹ REGLEMENT (UE) N°528/2012 DU PARLEMENT EUROPEEN ET DU CONSEIL du 22 mai 2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides. CHAPITRE I, Article 3.

- Groupe 3 : Produits de lutte contre les nuisibles (rodenticides, avicides, molluscicides, piscicides, insecticides, acaricides, etc.)
- Groupe 4 : Autres produits biocides

Les rodenticides, produits utilisés pour lutter contre les souris, les rats ou autres rongeurs, font donc partie des produits biocides²⁰. Des produits rodenticides sont autorisés pour les professionnels tandis que d'autres le sont pour le grand public²¹.

Concernant l'utilisation de rodenticides par le grand public, les produits pour lesquels le port de gants est nécessaire, ne sont pas autorisés. Par ailleurs, les produits contenant des anticoagulants doivent être conditionnés dans un emballage n'excédant pas 500 grammes et 1,5 kg, respectivement pour ceux destinés à la lutte contre les souris et, les rats ou les rats et les souris²².

Concernant les rodenticides autorisés pour les professionnels, les postes d'appâtage doivent empêcher l'accès aux produits aux enfants et aux animaux non-cibles. Le conditionnement des produits contenant des anticoagulants doit également présenter une masse minimale de 5 kilogrammes²³.

5.2. Lutte chimique au sein du PNP

Les FREDON (Fédération régionale de défense contre les organismes nuisibles) Occitanie et Nouvelle Aquitaine sont des OVS participant à la prévention, la surveillance et la lutte contre les dangers sanitaires, dans le domaine du végétal. Elles agissent en étroite collaboration avec les sections départementales, les FDGDON (Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles).

Plus particulièrement dans le département des Hautes-Pyrénées, trois GDON (Groupement de Défense contre les Organismes Nuisibles) locaux ont été constitués, dans les vallées d'Aure, Luz-Saint-Sauveur et Azun. En association avec des professionnels agricoles locaux, et avec le soutien technique voire financier du PNP, leur rôle est de mettre en place des mesures de surveillance des densités de campagnols dans ces vallées, des mesures

²⁰ REGLEMENT (UE) N°528/2012 DU PARLEMENT EUROPEEN ET DU CONSEIL du 22 mai 2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides. Annexe V.

²¹ MINISTERE EN CHARGE DE L'ENVIRONNEMENT. Arrêté du 20 avril 2017 relatif aux conditions d'utilisation de certaines catégories de produits biocides. TITRE III, Article 5 et 6.

²² MINISTERE EN CHARGE DE L'ENVIRONNEMENT. Arrêté du 20 avril 2017 relatif aux conditions d'utilisation de certaines catégories de produits biocides. TITRE III, Article 5.

²³ MINISTERE EN CHARGE DE L'ENVIRONNEMENT. Arrêté du 20 avril 2017 relatif aux conditions d'utilisation de certaines catégories de produits biocides. TITRE III, Article 6.

préventives telles que la pose de nichoirs pour Effraie des clochers ainsi que des méthodes de lutte telles que le piégeage des rongeurs. L'objectif final des actions entreprises est essentiellement de limiter l'usage d'anticoagulants, aux effets néfastes sur la faune sauvage.

L'usage de produits biocides contenant des anticoagulants est quant à lui beaucoup plus difficile à connaître car moins encadré.

Enfin, il est important de noter qu'en zone cœur du PNP, les mesures destinées à limiter ou réguler les populations d'espèces animales surabondantes sont soumises à autorisation du Directeur du PNP²⁴.

B. Exposition de la faune sauvage non cible aux anticoagulants

1. La faune sauvage, une population non ciblée mais exposée aux anticoagulants

Les anticoagulants n'agissent pas uniquement chez les rongeurs et de fait, des intoxications sont couramment rapportées chez les animaux domestiques, mais aussi chez l'homme et la faune sauvage (Berny et al., 2010).

La faune sauvage non cible peut être affectée par la présence d'anticoagulants dans l'environnement. Certaines espèces telles que le Sanglier (*Sus scrofa*) et les lièvres (*Lepus sp*) peuvent être l'objet d'intoxications primaires suite à l'ingestion directe d'appâts, bien qu'ils ne soient pas la cible première des traitements à base d'anticoagulants (Coeurdassier et al., 2014).

Par ailleurs, des espèces prédatrices ou nécrophages, comme le Renard roux ou la Buse variable (*Buteo buteo*), peuvent être l'objet d'une exposition secondaire suite à l'ingestion d'une proie empoisonnée. Les propriétés des anticoagulants, telles que leur persistance au niveau du foie et leur délai d'action, entraînent leur accumulation après ingestion répétée d'appâts par les rongeurs, augmentant ainsi le risque d'intoxication pour leurs prédateurs (Lefebvre et al., 2017). Ce risque est encore plus important pour les molécules de 2^{ème} génération qui persistent plus longtemps dans l'organisme (Gabriel et al., 2012). Une étude a également suggéré que le risque d'intoxication secondaire des prédateurs de campagnols était

²⁴ MINISTERE EN CHARGE DE L'ECOLOGIE. Décret n°2009-406 du 15 avril 2009 pris pour l'adaptation de la délimitation et de la réglementation du parc national des Pyrénées occidentales. Article 6.

maximal au cours des 15 à 20 jours suivant la mise en place du traitement à base d'anticoagulants, lorsque la densité des rongeurs est encore élevée. Le risque d'exposition semble cependant non négligeable pendant au moins 135 jours (Sage et al., 2008).

Il est important de noter que d'autres micromammifères non cibles, peuvent également être intoxiqués. Suite à la consommation d'appâts, certains invertébrés, moins sensibles aux anticoagulants (Dowding et al., 2010), peuvent aussi devenir des réservoirs d'anticoagulants (Ruiz-Suárez et al., 2014). Ainsi, une étude a mis en évidence que, suite à l'application d'appâts à base de brodifacoum en extérieur, le toxique était présent chez plus de 90% des limaces analysées (Alomar et al., 2018). Les limaces peuvent alors être une source d'exposition secondaire pour leurs prédateurs. Des espèces insectivores telles que les musaraignes ou les hérissons peuvent donc être exposées et même devenir à leur tour une source d'exposition pour leurs prédateurs (Geduhn et al., 2014). Une étude réalisée sur le Hérisson d'Europe (*Erinaceus europaeus*), au Royaume-Uni, a ainsi mis en évidence que 66,7% des 120 hérissons analysés avaient des concentrations détectables en anticoagulants (Dowding et al., 2010). Des oiseaux granivores peuvent aussi ingérer accidentellement des appâts (Sánchez-Barbudo et al., 2012).

La persistance des anticoagulants dans les organismes peut donc aboutir à une contamination des réseaux trophiques, dont les micromammifères constituent une voie d'entrée. L'exposition aux anticoagulants chez de nombreuses espèces de proies élargit donc le spectre des prédateurs exposés.

2. Une exposition d'origine anthropique

Les anticoagulants peuvent être utilisés en plein champ mais aussi au niveau des habitations, des refuges, dans les bâtiments de stockage alimentaire, dans les égouts, dans les lieux de traitement des déchets.

Plusieurs études se sont intéressées à l'exposition des animaux sauvages vivant à proximité de zones urbaines ou agricoles. Il a par exemple été montré que les micromammifères retrouvés dans un périmètre de 15 mètres autour des lieux de dépôt des appâts, étaient davantage intoxiqués et présentaient des concentrations en anticoagulants plus élevées (Geduhn et al., 2014). Le risque d'exposition des prédateurs vivant proches des zones de traitements probables est donc augmenté.

Une association positive entre l'exposition des renards roux et la densité en bétail ainsi que le pourcentage de zones urbaines a aussi été mise en évidence en Allemagne (Geduhn et al., 2015). De même, l'exposition des prédateurs présents en région méditerranéenne espagnole est positivement corrélée à la densité en population humaine (López-Perea et al., 2015). Enfin, en Espagne encore, la présence d'anticoagulants dans la faune sauvage semble être davantage associée à leur utilisation en tant que biocide dans les zones urbaines ou les bâtiments agricoles, qu'à une utilisation en tant que pesticides dans les zones agricoles (López-Perea et al., 2019).

3. Conséquences sur les populations de prédateurs

3.1. Effets sub-létaux

Certaines populations de prédateurs peuvent être affectées par les anticoagulants sans pour autant en mourir.

Les anticoagulants peuvent en effet influencer le succès de reproduction des individus exposés. Le caractère reprotoxique du brodifacoum a notamment été mis en évidence chez l'homme. Des malformations fœtales telles qu'une hypoplasie nasale ou des punctuations au niveau des épiphyses des os longs et du squelette axial peuvent également survenir lors de l'administration de coumafène au cours de la grossesse (Mehndiratta et al., 2010). Les effets embryotoxiques et tératogènes ont aussi été démontrés chez des rattes gravides exposées au coumatétralyl. La mortalité fœtale était en effet augmentée chez les rattes exposées, et le poids corporel des fœtus ainsi que le nombre de fœtus viables étaient diminués chez ces dernières. Les fœtus présentaient notamment d'importants retards de croissance, une micrognathie, ainsi que des œdèmes sous-cutanés généralisés et des hémorragies (Morgan, 2006). Enfin, les conséquences d'une exposition à la bromadiolone sur le succès de la reproduction ont également été montrées chez le Faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) dont les oisillons exposés présentaient une altération de l'état corporel (Martínez-Padilla et al., 2017).

Les anticoagulants affectent également l'état général des individus exposés. Affaiblis, ces derniers peuvent être plus vulnérables vis-à-vis de collisions routières ou de prédatations, suite à une éventuelle baisse de vigilance (Fournier-Chambrillon et al., 2004). L'état général des

animaux exposés pouvant être affectés, ils peuvent également être plus vulnérables face aux pathogènes. Une étude a en effet montré qu'il existait une corrélation positive entre le niveau d'exposition à la chlorophacinone et la charge parasitaire et infectieuse (nombre de pathogènes ou d'espèces parasites trouvés chez un individu) chez la Grande outarde (*Otis tarda*). L'ingestion répétée d'anticoagulants peut donc causer un affaiblissement chronique des individus exposés, pouvant affecter leur survie (Lemus et al., 2011).

3.2. Effets létaux

Des effets létaux, liés à l'altération des fonctions de la coagulation, sont également avérés. Dans la nature, des prédateurs exposés peuvent mourir suite à des blessures bénignes (Gabriel et al., 2012), et des femelles peuvent également mourir suite à des hémorragies lors de la mise-bas. Des micro-hémorragies au niveau de muscles ou d'organes peuvent en effet conduire à des hémorragies spontanées, à l'origine d'hémorragies internes massives pouvant causer la mort de l'animal (Figure 16).

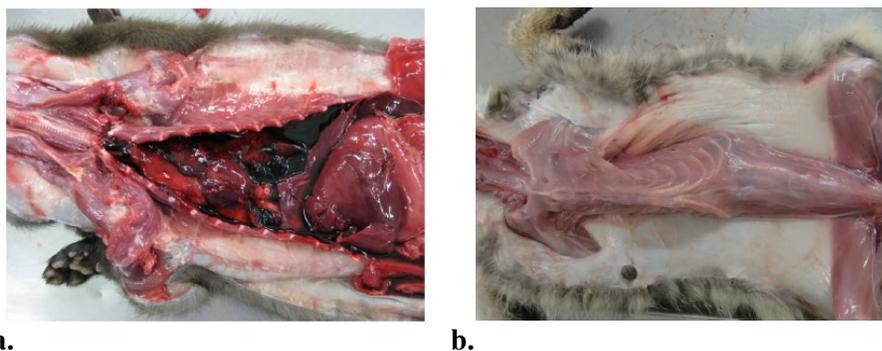


Figure 16 : Hémorragie interne observée sur un cadavre de vison d'Amérique (a.), et observation de la pâleur des tissus d'un chat forestier (b.). Photos C. Novella.

En France, le réseau SAGIR a mis pour la première fois en évidence des épisodes de mortalité massive liés aux anticoagulants dans la faune sauvage dans les années 1990. En 1998, le département du Doubs est notamment le lieu de pullulations importantes de campagnols terrestres à l'origine de traitements intensifs. Une intoxication aux anticoagulants a alors pu être confirmée ou suspectée chez plusieurs espèces sauvages telles que la Buse variable, le Milan royal et le Renard roux (Figure 17).

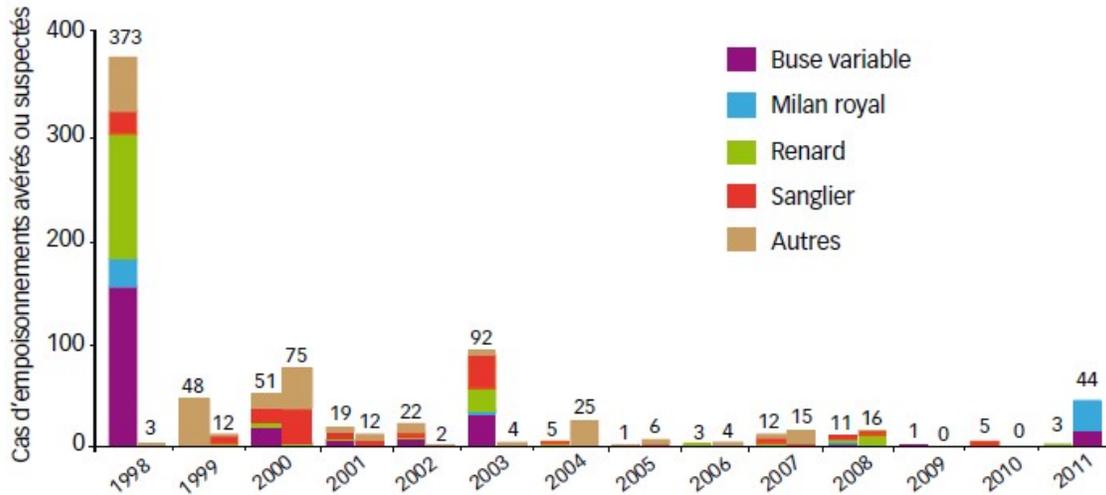


Figure 17 : Evolution de la mortalité de la faune sauvage non cible dont la mort par intoxication aux anticoagulants est confirmée ou suspectée depuis 1998, dans le Doubs (colonne de gauche) et en Auvergne (colonne de droite). Données SAGIR, réseau ONCFS-FNC-FDC. (Couval et al., 2013)

Les anticoagulants peuvent donc représenter une cause de mortalité non négligeable pour certaines espèces. Une étude réalisée au Canada a notamment mis en évidence que 11% de la population de grands-ducs d'Amérique (*Bulbo virginianus*) risquait de mourir intoxiqué suite à l'ingestion d'anticoagulants de 2^{ème} génération (Thomas et al., 2011). De même, des traitements à base de bromadiolone en plein champ ont été incriminés dans la réduction de la densité des renards roux dans le département du Doubs (Jacquot et al., 2013).

Les petits mustélidés ne sont pas non plus épargnés. En effet, ils se nourrissent à la fois de rongeurs vivants et d'individus morts restés dans les galeries souterraines. Des ingestions répétées de campagnols intoxiqués pendant trois jours peuvent entraîner l'apparition de signes cliniques chez l'Hermine (*Mustela erminea*) (Grolleau et al., 1989). Il a également été montré que des traitements à base de bromadiolone entraînaient des déclin saisonniers des populations de petits mustélidés bien que les populations de campagnols soient abondantes (Fernandez-de-Simon et al., 2019). Le facteur explicatif le plus probable de ce déclin semble être une intoxication, le toxique pouvant causer la mort directe d'individus et altérer le succès de la reproduction de l'espèce. Une autre étude a ainsi soulevé la menace représentée par les anticoagulants de 2^{ème} génération sur certaines populations de carnivores sauvages (Alterio, 1996).

Des traitements à base de bromadiolone sont également utilisés pour lutter contre les ragondins (*Myocastor coypus*) ou les rats musqués (*Ondatra zibethicus*). Les mustélidés vivant en milieu aquatique sont alors exposés à ce toxique. Les anticoagulants représentent ainsi une menace supplémentaire pour le Vison d'Europe (*Mustela lutreola*), classé parmi les espèces en danger d'extinction (Fournier-Chambrillon et al., 2004).

Des populations d'espèces menacées peuvent donc être affectées par les anticoagulants. Il a ainsi été montré entre 1992 et 2002, que les anticoagulants étaient une cause d'intoxication majeure pour les milans royaux en France (Berny, Gaillet, 2008), espèce classée sur la liste rouge de l'UICN. De la même manière, les populations de grande outarde, vivant dans les zones de cultures céréalières de la Péninsule Ibérique et considéré comme espèce vulnérable sur la liste rouge de l'UICN, peuvent être sujettes à l'ingestion d'appâts contenant des anticoagulants. Il a notamment été mis en évidence que la prévalence d'exposition des grandes outardes à la chlorophacinone était corrélée aux périodes de pullulation de campagnols. L'ingestion d'anticoagulants par les grandes outardes semblait donc proportionnelle à l'importance des traitements réalisés en plein champ (Lemus et al., 2011).

La faune sauvage est donc à risque d'exposition dans des zones agricoles, urbaines ou péri-urbaines. Nous pouvons alors nous demander si des milieux moins anthropisés sont également le lieu d'une exposition de ces animaux. Une étude a montré que des mustélidés tels que le Pékan (*Martes pennanti*), vivant dans des zones éloignées des zones urbaines et agricoles d'Amérique du Nord, sont également exposés aux anticoagulants. Les rodenticides, à l'origine de mortalités, sont ainsi une menace pour la conservation de cette espèce (Gabriel et al., 2012).

4. Surveillance et diagnostic des intoxications aux anticoagulants

4.1. La surveillance des intoxications en France

La surveillance épidémiologique de la mortalité des oiseaux et des mammifères sauvages en France est assurée par le réseau SAGIR (Surveiller pour Agir), fondé sur le partenariat entre les Fédérations des chasseurs et l'ONCFS (Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage) en 1986. Un des objectifs de ce réseau est de surveiller les effets aigus non intentionnels de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques. Ainsi, le réseau SAGIR a été

reconnu comme le réseau de référence pour la surveillance des effets non intentionnels de la bromadiolone ²⁵. La veille sanitaire du PNP surveille également l'exposition des animaux sauvages aux anticoagulants, et les données collectées alimentent le réseau SAGIR ainsi que le réseau Vigilance Poison géré par la LPO (Ligue pour la Protection des Oiseaux). Le réseau Vigilance Poison est un programme de surveillance de quatre espèces de rapaces nécrophages (Gypaète barbu (*Gypaetus barbatus*), Percnoptère d'Égypte (*Neophron percnopterus*), Milan royal (*Milvus milvus*) et Vautour fauve (*Gyps fulvus*)) dans les Pyrénées, visant à déterminer les causes de mortalité, identifier les menaces (risque de percussion ou d'électrocution) ainsi que le risque toxicologique.

Des autopsies et des analyses toxicologiques sont réalisées par le réseau SAGIR en cas de suspicion d'intoxication. Le dosage des anticoagulants est généralement réalisé à partir de prélèvements hépatiques, lieu d'accumulation des toxiques (Berny et al., 1997).

On parle d'exposition aux anticoagulants lorsqu'une substance chimique a pu être mise en évidence dans un tissu tel que le foie (ONCFS, 2017). Le diagnostic d'une intoxication est quant à lui plus difficile. Il repose sur l'observation de signes cliniques ou de lésions compatibles avec une intoxication associées à la détection d'anticoagulant dans le foie (López-Perea et al., 2015). Dans ce cas, un lien de cause à effet peut être fait entre l'observation de troubles de la coagulation (anémie, hémorragie, absence de coagulation) et la présence du toxique. Les conséquences cliniques sont fortement dépendantes de l'espèce et de la molécule considérée.

4.2. Lésions nécropsiques et diagnostic

Dans le cadre de la surveillance des effets non intentionnels de l'usage d'anticoagulants sur la faune sauvage, l'autopsie d'animaux retrouvés morts est couramment réalisée dans le but de conclure sur la cause de la mort de l'animal. L'intoxication aux anticoagulants présente des lésions nécropsiques caractéristiques, telles que des hémorragies internes généralisées, diffuses et multiples. Elles peuvent être de localisation variable : cavitaire (hémithorax, héméo-abdomen, etc.), organique (hémorragie pulmonaire, hémopéricarde, hémorragie cérébrale, etc.), sous-cutanée (hématome), externe (cavité buccale ou nasale, etc.) (Goube, 2015).

²⁵ MINISTÈRE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols nuisibles aux cultures ainsi qu'aux conditions d'emploi des produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone. CHAPITRE III, Article 12.

Dans une étude, des pigeons empoisonnés par la chlorophacinone présentait par exemple des lésions hémorragiques telles que des hématomes sous-cutanés extensifs en région cervicale, ainsi que des hémorragies dans la cavité cœlomique et des hémorragies pulmonaires (Sarabia et al., 2008) (Figure 18).

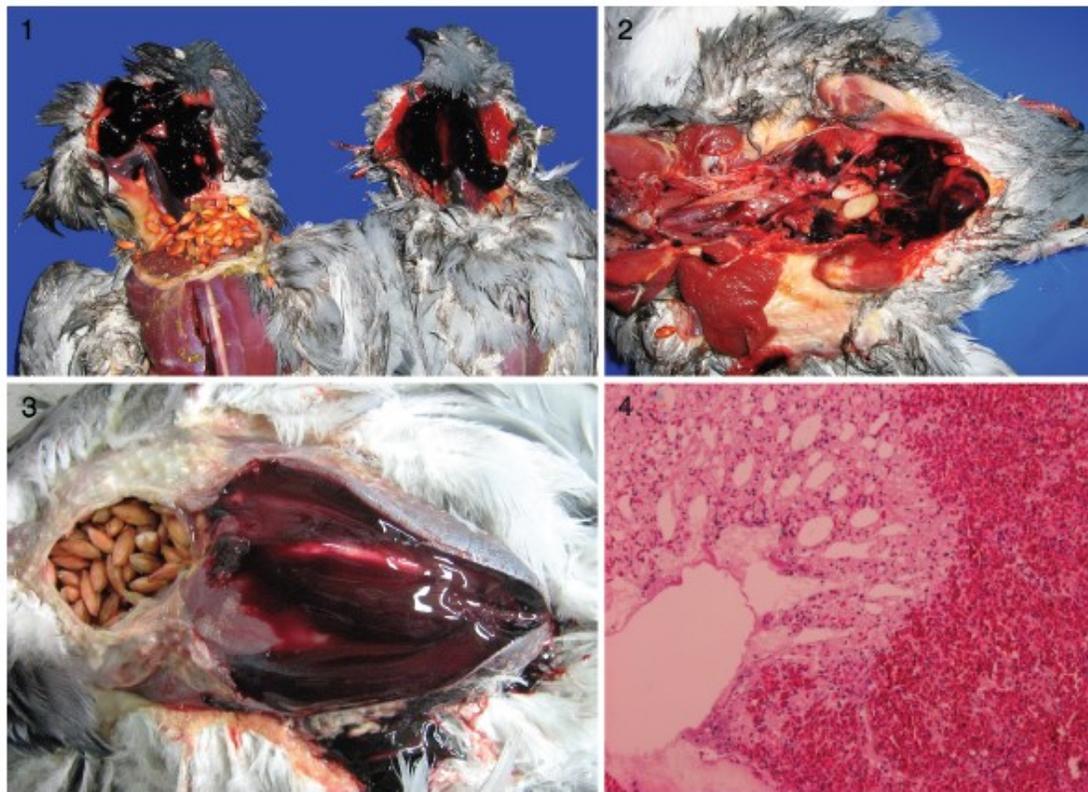


Figure 18 : Lésions hémorragiques observées chez des pigeons intoxiqués par la chlorophacinone : (1) Hémorragies sous-cutanée massives en région cervicale, (2) Hémorragie dans la cavité cœlomique, (3) Hémorragie sous-cutanée et présence d'appâts dans le jabot, (4) Hémorragie pulmonaire massive. (Sarabia et al., 2008)

Lors d'intoxication aux anticoagulants, le sang peut sembler incoagulable (notamment dans les oreillettes), et le caillot intracardiaque peut être absent. Les muqueuses peuvent également paraître pâles (Roch, 2008).

Les lésions nécropsiques ne sont cependant pas toujours suffisantes pour établir un diagnostic d'intoxication. Ceci est d'autant plus vrai pour les animaux sauvages, chez lesquels les commémoratifs ne sont pas connus ou lorsque d'autres événements, tels que des accidents de la route, peuvent compliquer l'établissement du diagnostic.

4.3. L'analyse histologique, une aide au diagnostic

En cas d'absence de lésions macroscopiques ou d'incertitude, l'histologie peut également être informative. Par exemple, dans une étude réalisée sur des crècerelles d'Amérique (*Falco sparverius*) intoxiquées à la diphacinone, seuls des saignements modérés étaient visibles lors de l'autopsie, tandis que des signes hémorragiques ont pu être observés sur différents organes (cœur, foie, reins, poumons, intestin, muscle) lors de l'analyse histologique (Rattner et al., 2011) (Figure 19).

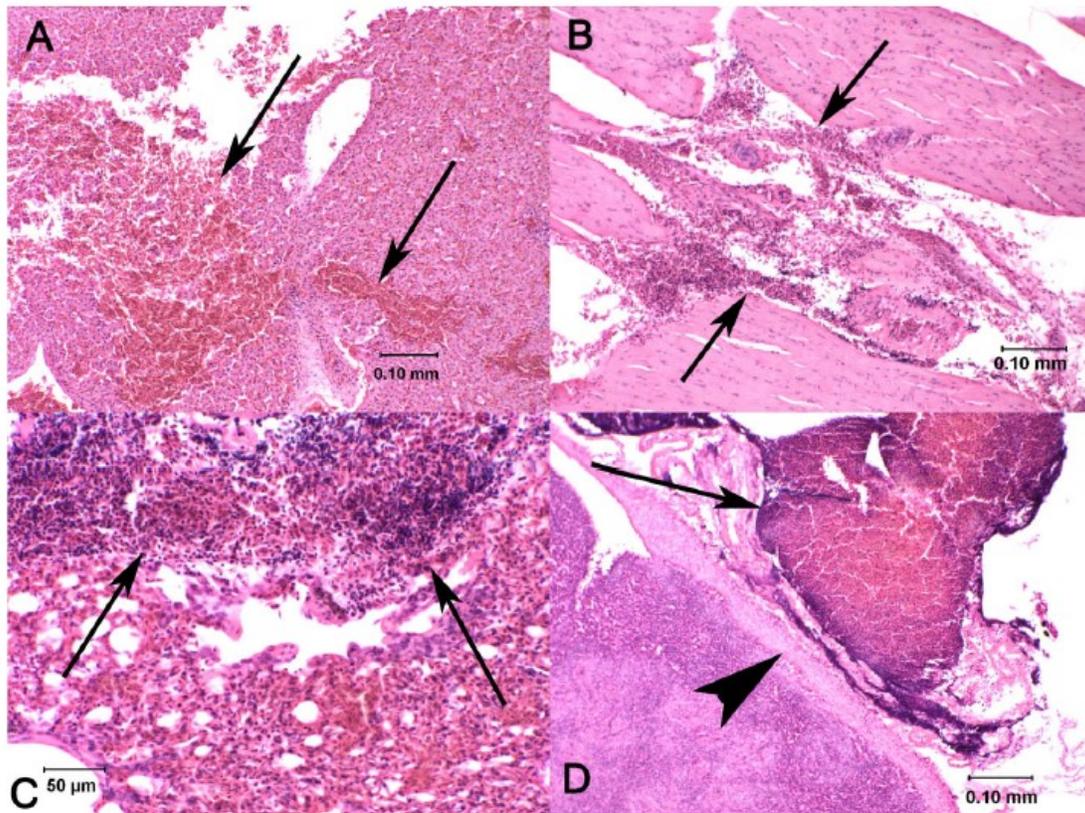


Figure 19 : Analyses histologiques de tissus provenant de quatre crècerelles d'Amérique intoxiquées expérimentalement par la diphacinone : (A) Hémorragies hépatiques multi-focales (flèches) associées à la dissociation du parenchyme hépatique (dose de 300 mg/kg), (B) Hémorragie (flèche) entre les fibres musculaires d'un muscle strié squelettique (dose de 79 mg/kg), (C) Hémorragie pulmonaire (flèche) comprimant les voies respiratoires (dose de 118.6 mg/kg), (D) Hémorragie (flèche) splénique extra-capsulaire (pointe) (dose de 52.7 mg/kg). (Rattner et al., 2011)

Parfois l'analyse histologique du foie peut également révéler une nécrose centro-lobulaire et une micro-vacuolisation des hépatocytes (Goube, 2015).

4.4. Seuils de toxicité et diagnostic d'intoxication

Le diagnostic d'une intoxication aux anticoagulants n'est pas évident. L'animal peut en effet présenter une concentration en toxique compatible avec une intoxication, sans que des signes macroscopiques ne soient déjà visibles, étant donné l'action retardée des anticoagulants.

De plus, les concentrations en anticoagulants associées à une intoxication varient selon l'espèce et l'individu considéré, comme cela a été montré pour les oiseaux de proies (Thomas et al., 2011). Malgré ces variabilités importantes, plusieurs études ont tenté d'établir des seuils de toxicité. Une concentration de 0,2 mg/kg est ainsi régulièrement considérée comme étant le seuil d'intoxication clinique (Berny et al., 1997 ; Rattner, Lazarus, et al., 2014 ; López-Perea et al., 2015 ; Lefebvre et al., 2017 ; López-Perea et al., 2019). Un seuil plus faible de 0.09 mg/kg a été choisi par le PNP comme seuil de toxicité quelle que soit l'espèce considérée.

C. Discussion : vers une diminution de l'impact de la lutte contre les rongeurs sur la faune sauvage

De par leur persistance hépatique, les anticoagulants peuvent présenter une bioaccumulation dans les organismes et donc une contamination généralisée des chaînes trophiques, à l'origine d'effets néfastes potentiels sur les populations sauvages.

Afin de diminuer l'impact de ces composés sur la faune sauvage, les méthodes de lutte doivent être adaptées en parallèle de la surveillance des populations de rongeurs.

Dans cette partie, nous aborderons essentiellement l'usage de PPP.

1. Une lutte précoce, raisonnée et collective contre les rongeurs prairiaux

Tout professionnel du milieu agricole peut s'engager auprès de l'OVS de sa région pour mettre en place une lutte intégrée contre les campagnols prairiaux. Pour cela il peut adhérer à un contrat pluriannuel et participer à une lutte précoce et raisonnée en collaboration avec l'OVS et/ou les sections locales.

1.1. Surveiller les populations de rongeurs pour mieux lutter

Pour être efficace, la lutte contre les campagnols doit être la plus précoce possible, ceci afin d'agir avant que les densités de campagnols ne soient trop élevées. La lutte se fonde alors sur la surveillance de leur population.

La surveillance vise à déterminer, grâce à une observation régulière, la densité des indices de présence des campagnols. Pour cela, l'observateur réalise un parcours sur la plus grande diagonale, divisée en intervalles d'environ cinq pas (d'un mètre chacun). Dans chacun des intervalles, il note la présence ou l'absence d'indices récents de présence des espèces visées (Annexe 6)²⁶.

Les modalités de cette surveillance sont formalisées dans un plan d'action établi par l'OVS de la région. Les antennes locales des OVS, telles que les FDGDON ou les GDON, peuvent participer directement à la surveillance ou indirectement par la diffusion de messages d'information. Les GDON ont notamment tenu informé les habitants des Hautes-Pyrénées de l'évolution des populations de campagnols par la diffusion de bulletins en collaboration avec la Chambre d'agriculture du département et le PNP.

Cette surveillance vise ainsi à limiter l'utilisation d'anticoagulants et donc les risques pour la faune non cible.

1.2. Une lutte raisonnée et collective

De nombreuses méthodes permettent de limiter l'occupation de terres agricoles par des populations de campagnols et peuvent être mises en place pour éviter l'usage d'anticoagulants.

Des pratiques agricoles peuvent notamment gêner l'installation des rongeurs telles que l'alternance fauche-pâturage, le pâturage qui fragilise le réseau de galeries construit par les campagnols, ou encore une fauche précoce qui réduit la présence d'abris potentiels.

D'autres mesures peuvent contribuer à favoriser la pression de prédation naturelle comme la plantation de haies ou la pose de perchoirs et de nichoirs. Une étude a notamment montré que la présence d'oiseaux de proies entraînait une diminution des populations de

²⁶ MINISTÈRE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols nuisibles aux cultures ainsi qu'aux conditions d'emploi des produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone. Annexe II.

rongeurs (Labuschagne et al., 2016). La pose de nichoirs pour Faucon crécerelle ou Effraie des clochers permet à ces oiseaux de proie de disposer de sites de nidification et donc de s'installer plus facilement dans la zone. La disponibilité en nichoirs permet d'augmenter la densité des oiseaux de proie dans la zone concernée, et d'y réduire la densité des campagnols lors de périodes de pullulation dans les prairies (Paz et al., 2013). Cette méthode a notamment été utilisée en vallée d'Aure avec l'installation de nichoirs pour des effraies des clochers.

Par ailleurs, des mesures de piégeage des rongeurs peuvent être mises en place pour diminuer leur densité. Des campagnes de piégeage des campagnols terrestres ont ainsi été menées dans les vallées des Hautes-Pyrénées.

Enfin, la réglementation relative à l'usage d'anticoagulants tels que la bromadiolone a évolué avec la diminution de quantité maximale d'appâts pouvant être appliqués par traitement (7,5 kg par hectare)²⁷ mais aussi la restriction des conditions d'utilisation de PPP contenant de la bromadiolone. De tels produits doivent être utilisés dès lors que les premiers signes de présence des campagnols sont observés afin d'assurer une lutte précoce, mais leur utilisation devient interdite dans toute parcelle où la densité d'indices de présence des campagnols visés est supérieure à 1 sur 3. Les utilisateurs engagés auprès de l'OVS de leur région dans un contrat de lutte intégrée telle que décrite précédemment peuvent utiliser de tels produits jusqu'à une densité en indices de présence de 1 sur 2²⁸. Dans tous les cas, seuls les OVS reconnus peuvent vendre et distribuer les PPP contenant de la bromadiolone aux utilisateurs professionnels²⁹. L'OVS diffuse un avis de traitement (Annexe 7) au moins trois jours ouvrés avant la date de commencement des opérations puis la traçabilité des produits utilisés est assurée par le remplissage de fiches d'enregistrement des traitements (Annexe 8)³⁰.

Dans le but de limiter l'exposition des espèces non-cibles, les appâts doivent être enfouis sous terre, dans les terriers, de façon à rester invisibles en surface³¹. Un suivi doit également être réalisé pendant toute la période de lutte chimique, et durant les deux semaines

²⁷ MINISTERE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols nuisibles aux cultures ainsi qu'aux conditions d'emploi des produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone. CHAPITRE II. Article 7.

²⁸ MINISTERE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols nuisibles aux cultures ainsi qu'aux conditions d'emploi des produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone. CHAPITRE III. Article 13.

²⁹ MINISTERE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols nuisibles aux cultures ainsi qu'aux conditions d'emploi des produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone. CHAPITRE II. Article 8.

³⁰ MINISTERE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols nuisibles aux cultures ainsi qu'aux conditions d'emploi des produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone. CHAPITRE IV. Article 15 et 17.

³¹ MINISTERE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols nuisibles aux cultures ainsi qu'aux conditions d'emploi des produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone. CHAPITRE III. Article 10.

suivant le dernier traitement, afin de vérifier l'enfouissement de tous les appâts, l'absence d'effets non intentionnels sur la faune non cible et l'évolution des densités de rongeurs visés par le traitement. Les cadavres d'animaux empoisonnés doivent être collectés quotidiennement. En cas de découverte de cadavres non visés par le traitement et suspectés d'avoir été empoisonnés, ces-derniers devront être signalés au réseau SAGIR³² (Annexe 9).

Enfin, pour être efficaces, ces mesures de lutte raisonnée doivent être adoptées collectivement dans la zone concernée (Jacquot et al., 2013 ; Fernandez-de-Simon et al., 2019). De telles stratégies agricoles et de gestion du paysage doivent en effet être appliquées par l'ensemble des professionnels agricoles pour empêcher l'installation, voire la réinstallation de campagnols depuis des parcelles voisines, et ainsi diminuer significativement leur densité.

2. Vers le développement de nouveaux rodenticides anticoagulants

Diminuer l'impact de l'usage des anticoagulants sur la faune sauvage peut également passer par le développement de nouveaux produits rodenticides moins à risque pour les prédateurs des rongeurs.

Les SGAR contenus dans les différents rodenticides existent sous forme d'un mélange de deux diastéréoisomères (molécules présentant le même enchaînement d'atomes mais une configuration spatiale différente). Il a été démontré chez des rats que quelque soit le SGAR concerné, les deux diastéroisomères cis et trans d'une molécule présentent la même efficacité pour l'inhibition de la vitamine K époxyde réductase (VKOR). A concentration hépatique identique, les deux diastéréoisomères d'un même SGAR ont donc les mêmes propriétés anticoagulantes (Damin-Pernik et al., 2017).

Ces derniers possèdent cependant des propriétés pharmacocinétiques différentes, l'un deux étant toujours éliminé plus rapidement que l'autre. Concernant le difénacoum, le diféthialone et le brodifacoum, l'isomère cis est plus persistant que l'isomère trans chez le rat. Au contraire, pour la bromadiolone et le flocoumafén, l'isomère cis est éliminé plus rapidement (Annexe 10). Or, dans les rodenticides utilisés actuellement, à l'exception du flocoumafén, le diastéréoisomère le moins persistant est aussi le moins représenté (Damin-Pernik et al., 2017).

³² MINISTERE EN CHARGE DE L'AGRICULTURE. Arrêté du 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols nuisibles aux cultures ainsi qu'aux conditions d'emploi des produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone. CHAPITRE III. Article 12. I et II.

Par exemple, suite à une campagne de lutte contre les campagnols à base de bromadiolone en Auvergne (France), seul l'isomère trans a été retrouvé chez les milans royaux retrouvés morts (Fourel et al., 2017). Celui-ci semblait donc être responsable de l'empoisonnement des rapaces. Dans les mêmes conditions, l'isomère trans de la bromadiolone a été retrouvé chez les renards roux dans des prélèvements hépatiques et dans les fèces. Dans des zones de traitements à base de bromadiolone, les renards roux accumulent donc principalement l'isomère trans de la bromadiolone, alors que l'isomère cis semble être plus rapidement éliminé par les campagnols et/ou les prédateurs (Fourel et al., 2018).

Il serait donc intéressant de développer de nouveaux rodenticides, composés majoritairement du diastéréoisomère ayant le temps de demi-vie le plus court pour chaque anticoagulant. Ainsi, des rodenticides composés de plus de 70% de l'isomère cis de la bromadiolone, ou bien de plus de 70% de l'isomère trans du brodifacoum, difenacoum ou du diféthialone pourraient constituer la 3^{ème} génération de rodenticides anticoagulants. La bromadiolone enrichie en isomère cis réduirait la quantité de résidus hépatiques par quatre chez le rat, comparativement à la bromadiolone utilisée actuellement (Damin-Pernik et al., 2017). Ces nouveaux rodenticides anticoagulants auraient des propriétés anticoagulantes identiques mais leur persistance moindre dans les tissus de l'organisme diminuerait le risque d'intoxication des prédateurs.

3. Surveiller l'exposition de la faune sauvage non-cible

L'usage d'anticoagulants aboutissant à une contamination généralisée des chaînes trophiques, il apparaît primordial de surveiller les effets néfastes éventuels de ces composés dans l'environnement.

Le suivi de l'exposition d'espèces sauvages se fait essentiellement par l'analyse des résidus hépatiques d'individus retrouvés morts. D'autres méthodes pourraient également être informatives.

3.1. Des méthodes non invasives et opérationnelles

Le suivi de l'exposition des carnivores par la collecte et l'analyse de leurs fèces constitue une méthode opérationnelle non invasive. La présence de sang dans les fèces pourrait en effet être un signe d'hémorragie digestive, potentiellement consécutive à l'ingestion d'anticoagulants. Un test utilisé chez l'homme pour le diagnostic du cancer colorectal a ainsi été testé chez le Renard roux. Cependant, ce test ne permet pas de différencier le sang du prédateur du sang des campagnols ingérés. Il ne peut donc pas être utilisé pour détecter des hémorragies intestinales chez les animaux prédateurs (Jacquot, 2013).

La quantification des résidus d'anticoagulants dans les fèces pourrait être une alternative afin de connaître en temps réel le niveau d'exposition des animaux sauvages. L'étude de la cinétique des résidus de bromadiolone dans les fèces de renards roux captifs a montré que des résidus étaient détectables 15 heures après la première exposition et jusqu'à 23 jours minimum après la dernière ingestion. La quantité de résidus présents dans les fèces augmente tout au long de la période d'exposition, puis diminue après la dernière ingestion (Sage et al., 2010). Il existe une relation exponentielle entre les concentrations en bromadiolone dans le foie et les fèces (Sage, 2008). La collecte régulière de fèces (Figure 20) sur crottoirs, permettant d'avoir une idée de l'âge des fèces, pourrait permettre de connaître le niveau d'exposition d'une population de renards dans un secteur, à partir du calcul du pourcentage de fèces positives. Une étude a montré une exposition de 85% des renards roux via l'analyse des résidus hépatiques alors que seulement 29% des individus étaient positifs lors de l'analyse des contenus rectaux (Sage, 2008).



Figure 20 : Fèces de « type renard » (Jacquot, 2013)

Il est également essentiel de tenir compte du temps de demi-vie des anticoagulants dans les fèces soumis aux conditions extérieures. L'étude des temps de demi-vie des anticoagulants

dans les fèces de renards roux a montré que ces durées varient de 5 jours pour la chlorophacinone à 8 jours pour la bromadiolone. Par ailleurs, la probabilité de détecter des fèces avec des résidus détectables diminue de 10% après 7, 2, 10, 5, 3 et 10 jours pour respectivement le coumafène, la chlorophacinone, la bromadiolone, le brodifacoum, le difénacoum et la diféthialone (Prat-Mairet et al., 2017). Par ailleurs, les anticoagulants ne sont pas distribués de façon homogène dans les fèces (Prat-Mairet et al., 2017). Ceci suppose que les fèces devraient être prélevées en entier puis homogénéisées avant l'analyse toxicologique.

L'analyse des pelotes des rapaces pourrait également permettre de suivre leur niveau d'exposition. Une collecte régulière des pelotes d'effraies des clochers dans les nichoirs permettrait de rechercher la présence d'anticoagulants dans des pelotes d'âge connu. Cette espèce, plutôt inféodée au milieu rural, pourrait en effet être une bonne candidate en tant qu'espèce sentinelle (Jacquot, 2013).

La collecte des fèces apparaît donc être une méthode intéressante pour le suivi de l'exposition récente des prédateurs aux SGAR et à la chlorophacinone excrétés par voie fécale (Jacquot, 2013). Ce suivi pourrait se faire en parallèle du suivi des densités de population afin de pouvoir mettre en évidence d'éventuelles relations entre exposition aux anticoagulants et conséquences sur les populations. Nous pourrions par exemple envisager une collecte régulière des fèces suite à des traitements, dans un contexte d'utilisation de PPP (Jacquot, 2013).

3.2. Surveiller d'éventuels épisodes de mortalité

Le suivi des cadavres est important afin de détecter des épisodes de mortalité inhabituelle. Cependant, dans le cas d'une surveillance passive, un manque de standardisation et de méthodologie peut rendre difficile l'interprétation des résultats, ainsi que l'établissement d'un lien entre exposition, traitements aux anticoagulants et conséquences sur les populations sauvages.

L'analyse des résidus hépatiques chez des espèces chassables pourrait être une alternative. Des prélèvements en vue d'un suivi des sangliers serait notamment intéressant pour mettre en évidence une exposition primaire (ingestion directe des appâts) ou secondaire (consommation de rongeurs intoxiqués) (Couval et al., 2013). Les renards piégés ou détruits par tir pourraient également faire l'objet de prélèvements hépatiques systématiques en vue de détecter la présence d'anticoagulants.

PARTIE III : Exposition aux anticoagulants des la faune sauvage du PNP

L'exposition de la faune sauvage aux anticoagulants est une réalité dans de nombreux pays. Néanmoins, les conséquences sur les populations sauvages sont souvent mal connues voire invisibles.

Le PNP, s'inscrivant dans une dynamique de protection de son patrimoine naturel et d'encouragement d'une meilleure gestion de l'environnement, s'est engagé dans un programme de suivi sanitaire de la faune sauvage. Un des objectifs de cette surveillance est d'évaluer l'impact de certaines activités anthropiques. La recherche d'anticoagulants chez la faune sauvage s'inscrit donc dans ce cadre. Plusieurs épisodes de pullulation de campagnols ont en effet eu lieu dans certaines vallées du Parc National des Pyrénées, et ont pu être à l'origine d'une utilisation d'anticoagulants.

L'objectif de cette étude est d'étudier l'exposition aux anticoagulants de la faune sauvage du PNP, à partir des données collectées par le programme de veille sanitaire. Plusieurs facteurs de risque pour l'exposition de la faune sauvage ont ainsi été étudiés, avec pour objectif final la proposition de mesures de gestion sur le territoire du PNP.

A. Matériels et méthodes

1. Collecte des données

1.1. La surveillance de l'exposition aux anticoagulants de la faune sauvage du PNP

Les anticoagulants font l'objet d'une surveillance spécifique sur le PNP. Certaines espèces sont en effet systématiquement soumises à une recherche d'anticoagulants. Les espèces concernées correspondent à l'ensemble des mammifères carnivores découverts (Renard roux, Chat forestier, Genette commune, Martre des pins, Fouine, Belette d'Europe, Hermine, Putois d'Europe, Loutre d'Europe, le Vison d'Amérique et le Blaireau européen), aux oiseaux nécrophages soumis à un Plan National d'Action (Vautour fauve, Gypaète barbu, Vautour percnoptère, Milan royal), et à la Buse variable (définie comme espèce sentinelle pour les oiseaux de proies). Seules ces espèces analysées de façon systématique, au risque d'exposition plus élevé, ont été considérées dans cette étude. Celles-ci étant carnivores ou

nécrophages, nous considérons ici que ces-dernières peuvent faire l'objet d'une exposition secondaire suite à l'ingestion de micromammifères empoisonnés.

La recherche de résidus d'anticoagulants est effectuée sur des prélèvements hépatiques au laboratoire de toxicologie vétérinaire de VetAgro Sup (Lyon). Huit molécules sont systématiquement recherchées : le flocoumafène, le diféthialone, le difenacoum, le coumatétralyl, le coumafène, la chlorophacinone, la bromadiolone et le brodifacoum. Trois autres molécules (férulénol, dicoumarol, coumachlore) ont été recherchées seulement de façon intermittente.

Entre 2010 et 2018, les techniques analytiques ont cependant évolué. De 2010 à 2016, le dosage des anticoagulants se faisait en HPLC (High Performance Liquid Chromatography) avec double détection : fluorescence et UV (Meiser, 2005). La limite de quantification des concentrations en anticoagulants détectés était alors constante pour les prélèvements hépatiques (0.01 µg/g). A partir de l'année 2017, les analyses ont été confiées au laboratoire GIRPA (Angers) utilisant quant à lui la technique LC-MSMS (Chromatographie liquide associée à une double spectrométrie de masse) (Fourel et al., 2010). Avec l'utilisation de cette nouvelle méthode, les limites de quantification ont été abaissées, allant de 0,001 à 0,05 µg/g selon les molécules recherchées.

1.2. Données collectées

Au total, 208 cadavres ont fait l'objet de recherche d'anticoagulants de 2009 à 2018. Cependant, le choix des espèces analysées systématiquement n'ayant été définitif qu'à partir de l'année 2010, seuls les cadavres découverts de 2010 à 2018 ont été pris en compte dans cette étude.

L'essentiel des cadavres étant découvert le long des axes routiers (Annexe 11), la collecte des données n'est pas homogène sur l'ensemble du territoire du PNP. Pour limiter les biais liés à un échantillonnage non représentatif du territoire, nous nous sommes uniquement intéressés aux cadavres découverts le long des axes routiers. En effet, sur le reste du territoire, l'absence de cadavre découvert dans des zones peu explorées par les agents de terrain, ne signifie pas forcément que la faune sauvage n'est pas exposée. Ces zones non explorées, où la prévalence de l'exposition aux anticoagulants n'est pas connue, ne peuvent donc pas être prises en compte.

Par conséquent, le nombre total de cadavres considérés dans cette étude est de 157 animaux faisant l'objet de recherche systématique d'anticoagulants, et découverts le long des axes routiers entre 2010 et 2018.

2. Analyses des données

La sensibilité et la toxicité des anticoagulants étant variables en fonction de l'espèce et de la molécule considérée (Thomas et al., 2011), nous avons ici seulement pris en compte la présence d'anticoagulants chez les animaux sauvages, sans considérer les concentrations mesurées chez les différentes espèces. Nous considérons alors qu'un individu est exposé (ou positif) si l'analyse toxicologique a permis de mettre en évidence la présence d'au moins une molécule anticoagulante. A l'inverse, un individu négatif est un animal pour lequel aucune molécule n'a été mise en évidence par l'analyse toxicologique.

2.1. Analyses descriptives

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés aux variations de la prévalence d'exposition aux anticoagulants selon les espèces étudiées et les différentes vallées. La prévalence observée de l'exposition a été calculée pour chaque espèce considérée, ainsi que pour chaque molécule détectée. Les lieux de découverte des cadavres ont été caractérisés, ainsi que la proportion d'animaux positifs dans les différentes vallées étudiées, à l'aide de QGIS 2.18 (Équipe de développement de QGIS. Système d'information géographique QGIS. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>). Les causes de mortalité des animaux étudiés ont également été notifiées.

2.2. Modélisation du risque d'exposition

Dans cette étude, nous cherchons à identifier des facteurs de risque expliquant l'exposition des animaux sauvages, grâce à une régression logistique. La variable réponse étudiée est une variable binaire correspondant à la présence ou à l'absence d'anticoagulants chez les animaux sauvages. Huit variables pouvant expliquer des différences d'exposition des animaux sauvages ont été étudiées. Ces facteurs prennent en compte divers éléments: la temporalité, la distribution spatiale, des caractéristiques environnementale, taxonomique, le régime

alimentaire et la présence de signes de collision. Le nombre de données étant limité, les modalités des variables catégorielles ont été déterminées de manière à avoir au minimum dix individus dans chacune d'elles (Dohoo et al., 2007).

2.2.a. Description des variables explicatives

Variables temporelles

L'année de découverte a été étudiée afin d'analyser l'évolution de l'exposition des animaux sauvages au cours du temps. La dynamique des populations des rongeurs semble en effet pluriannuelle, et des pics de pullulation peuvent apparaître de manière cyclique tous les 2 à 5 ans (Jacob et al., 2014). Nous supposons ici que les animaux découverts au cours des années de pullulation de rongeurs sont davantage exposés aux anticoagulants. Les années ont été regroupées par catégorie comprenant chacune trois ans (2010 à 2012, 2013 à 2015 et 2016 à 2018).

La saison de découverte a également été prise en compte, étant donné la saisonnalité de la dynamique de population des rongeurs et donc des éventuels traitements à base d'anticoagulants (Fournier-Chambrillon et al., 2004). Nous supposons ici que les animaux découverts en automne et à la fin de l'hiver sont davantage exposés.

Variable spatiale

La vallée de découverte de chaque cadavre est considérée. Les périodes de pullulation de rongeurs ont en effet lieu sur une zone restreinte, et ne sont pas étendues sur l'ensemble du territoire du PNP. Nous nous attendons ici à mettre en évidence une exposition plus importante des animaux sauvages découverts dans les vallées touchées par des pullulations de campagnols. Le nombre de cadavres collectés dans les vallées d'Azun et de Cauterets étant faible, ces deux vallées, proches d'un point de vue géographique, ont été regroupées dans une même catégorie. Les autres vallées du PNP constituent chacune une catégorie.

Variables environnementales

Nous nous sommes intéressés au pourcentage de milieux urbains et agricoles dans le domaine vital des animaux identifiés. En effet, plusieurs études montrent que l'urbanisation et la densité en bétail semblent être associées à l'exposition des animaux sauvages aux anticoagulants (Geduhn et al., 2015 ; López-Perea et al., 2015). L'objectif est de tenter d'identifier l'origine, urbaine ou agricole, de l'exposition de la faune sauvage. L'importance

des milieux urbains et agricoles a ainsi été approchée par le calcul du pourcentage de chacun des milieux dans le domaine vital de chaque individu.

Le domaine vital d'un animal représente la surface définie par l'ensemble de ses déplacements, et dans laquelle il réalise ses activités courantes pour accomplir ses besoins vitaux (BENHAMOU, 1998). Un domaine vital moyen a été défini pour chaque espèce, voire pour chaque sexe si cela était pertinent (Annexe 12). Pour certaines espèces, un domaine vital circulaire théorique a alors été tracé, à l'aide du logiciel QGIS 2.18. Pour cela, un cercle, dont l'aire est égale à la surface du domaine vital de l'individu considéré (Annexe 12), a été tracé autour du lieu de découverte de l'individu.

Ceci n'a cependant pas été possible pour l'ensemble des espèces. Pour le Vautour fauve (*Gyps fulvus*), dont le domaine vital peut atteindre plusieurs centaines voire milliers de km² (<http://observatoire-rapaces.lpo.fr>), nous avons considéré que le territoire du PNP était représentatif, en terme de composition, du milieu de vie des vautours fauves de la zone considérée. Pour cette espèce, le pourcentage des milieux urbain et agricole a donc été calculé sur l'ensemble du PNP.

Pour les mammifères semi-aquatiques, tels que la Loutre d'Europe (*Lutra lutra*) et le Vison d'Amérique (*Mustela vison*), se déplaçant le long des cours d'eau, le domaine vital a été défini de forme linéaire (Jacquot, Nature Midi-Pyrénées, 2011). Un cercle dont le diamètre correspond à la distance moyenne dont l'individu a besoin a alors été tracé autour du lieu de découverte de l'individu considéré (Annexe 13). Puis, une zone tampon linéaire, d'une largeur de 25 mètres de part et d'autre des cours d'eau, a été construite. Le domaine vital de l'individu a alors été défini comme étant la zone tampon linéaire du cours d'eau comprise dans le cercle (Annexe 14). Dans le cas où le cercle s'étend sur une vallée adjacente, le domaine vital de l'individu a été restreint à la vallée de découverte, en faisant l'hypothèse que l'individu reste dans la même vallée.

Les milieux urbains et agricoles ont été définis selon la typologie de la couche européenne « Corine Land Cover », correspondant aux différents milieux d'occupation du sol en Europe (Annexe 15). Selon la nomenclature des types d'occupation du sol, le milieu urbain a alors été défini comme étant le regroupement des tissus urbains continus, des tissus urbains discontinus, des zones industrielles et commerciales et des installations publiques telles que des refuges de montagne. De la même manière, le milieu agricole est défini comme le regroupement des prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole, des systèmes cultureux et parcellaires complexes, et des surfaces essentiellement agricoles interrompues par des espaces naturels importants.

Le **pourcentage de milieu urbain** et le **pourcentage de milieu agricole** au sein du domaine vital de chaque individu a alors été calculé (grâce à l’extension GroupStats de QGIS).

Classe des individus

Les cadavres ont été regroupés dans deux catégories selon la **classe** à laquelle ils appartiennent : mammifères et oiseaux.

Régime alimentaire

L’importance des micromammifères cibles des anticoagulants, dans le régime alimentaire des espèces analysées a été prise en compte. Les différentes espèces ont été distinguées en fonction de leur consommation en micromammifères : régulière ou occasionnelle (Tableau 4) (Ruys et al., 2014 ; Jacquot, Nature Midi-Pyrénées, 2011 ; Gensbøl, 2005). Le Vautour fauve ne se nourrit habituellement pas de micromammifères, mais pour des soucis d’analyse liés à un faible effectif dans la catégorie des espèces consommant occasionnellement des micromammifères, cette espèce a été prise en compte avec ces dernières, au lieu de constituer une troisième catégorie.

Tableau 4 : Classement des espèces étudiées selon leur régime alimentaire (Ruys et al., 2014 ; Jacquot, Nature Midi-Pyrénées, 2011 ; Gensbøl, 2005)

Espèces consommant régulièrement des micromammifères		Espèces consommant des micromammifères de façon occasionnelle	
- Chat forestier	- Belette d’Europe	- Blaireau européen	
- Genette commune	- Vison d’Amérique	- Loutre d’Europe	
- Renard roux	- Putois d’Europe	- Vautour fauve	
- Martre des pins	- Buse variable		
- Fouine	- Milan royal		

Présence de signes de collision

La dernière variable étudiée ici correspond à la présence de signes de collision (véhicule, pylône). Certains individus présentent en effet des indices d’une collision tels que certaines lésions observées à l’autopsie : fractures, écrasement. Le contexte de découverte de l’animal peut aussi orienter vers la suspicion d’une collision telle qu’une découverte en bord de route ou au pied d’un pylône.

Les individus intoxiqués pouvant présenter une baisse de vigilance liée à une faiblesse générale, pourraient être davantage victimes de collision.

2.2.b. Analyses univariées

L'association entre chaque variable explicative et la variable réponse a été testée de façon individuelle, à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2019), afin d'identifier les variables ayant possiblement une influence sur l'exposition de la faune sauvage, et qui seront prises en compte dans un deuxième temps dans un modèle multivarié. Cette étape permet de diminuer le nombre de variables prises en compte dans le modèle et ainsi d'améliorer l'estimation de l'association des variables considérées dans le modèle multivarié avec l'exposition aux anticoagulants (Dohoo et al., 2007).

Variables catégorielles : Dans le cas où le nombre d'individus dans chaque modalité est supérieur à 5, un test du χ^2 a été effectué. Dans le cas inverse, un test de Fisher a été réalisé.

Variables quantitatives : La normalité de la distribution des variables quantitatives a été vérifiée à l'aide d'un test de Shapiro-Wilk, ainsi que l'homogénéité des variances grâce à un test de Levene. Dans notre cas, faute de distribution normale, et ce même après une transformation logarithmique, un test non paramétrique de Mann-Whitney-Wilcoxon a été effectué pour comparer les moyennes de chacune des variables quantitatives en fonction de l'exposition ou non aux anticoagulants. Enfin, l'absence de colinéarité entre les deux variables quantitatives a été vérifiée graphiquement.

Les variables pour lesquelles l'association avec la variable réponse était significative avec un seuil de significativité de 0,20, ont été incluses dans l'analyse multivariée. Les variables dont l'influence est non significative (p-value supérieure à 0.20) sont alors considérées comme non explicatives de la variable réponse (exposition) et non incluses dans l'analyse multivariée.

2.2.c. Régression logistique

Une régression logistique a ensuite été réalisée pour étudier l'influence des variables explicatives sélectionnées par les analyses univariées sur la variable réponse binaire, à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2019).

L'AIC (Akaike Information Criterion) a été utilisé comme critère de sélection pour sélectionner le meilleur modèle. La sélection du modèle minimal adéquat a été effectuée selon une sélection bidirectionnelle (forward et backward).

$$AIC = -2 \times \log(L) + 2 \times (k + 1)$$

Equation 1 : Définition de l'AIC, avec : L le maximum de la vraisemblance du modèle (soit la probabilité d'obtention de l'échantillon observé grâce au modèle), et k le nombre de prédicteurs du modèle (Dohoo et al., 2007).

Le modèle pour lequel l'AIC est le plus faible a été considéré comme le meilleur modèle pour expliquer la présence d'anticoagulants chez les animaux sauvages et donc l'exposition de la faune sauvage du PNP. Plus l'AIC est faible, meilleur est le compromis entre l'ajustement aux données (la prédiction des données) et la simplicité du modèle. Dans le cas où la différence d'AIC entre les deux meilleurs modèles emboîtés était inférieure à 2, le modèle le plus simple a été conservé. Ce critère permet alors de sélectionner le modèle minimal adéquat et donc de respecter le principe de parcimonie.

Le modèle logistique construit nous a ensuite permis de calculer l'odds ratio pour les différentes modalités des variables explicatives. L'odds est défini comme le rapport de la probabilité d'être exposé aux anticoagulants par rapport à la probabilité de ne pas l'être, dans un même groupe (Rakotomalala, 2015).

$$Odds(x) = \frac{P(Y = 1 | X = x)}{1 - P(Y = 1 | X = x)}$$

Equation 2 : Définition de l'odds, avec Y la variable réponse, X l'ensemble des variables explicatives de l'observation de l'évènement Y, x la valeur prise par la variable X (Rakotomalala, 2015).

L'odds ratio (OR) correspond au rapport entre l'odds du groupe considéré et celui du groupe de référence (Rakotomalala, 2015).

$$OR = \frac{Odds(x_1)}{Odds(x_2)}$$

Equation 3 : Définition de l'odds ratio, avec x_1 et x_2 deux valeurs prises par la variable explicative X (Rakotomalala, 2015).

2.2.d. Vérification de l'adéquation du modèle

La base de données, constituée de 157 individus, utilisée dans cette étude, a été divisée en deux groupes : 126 individus (soit 4/5 des animaux étudiés) ont été sélectionnés de manière aléatoire pour entraîner le modèle logistique et estimer les paramètres, tandis que les 31 individus restants (soit 1/5 des individus) ont été utilisés pour vérifier la validité du modèle.

Pour cela, la probabilité attendue d'être exposé a été calculée pour les individus servant de test, à partir du modèle construit précédemment. Une courbe ROC (Receiver Operating characteristic) représentant la sensibilité en fonction de la spécificité du modèle a été construite. Pour un seuil de positivité donné, la sensibilité du modèle correspond à la proportion d'animaux exposés pour lesquels le modèle prédit un résultat d'analyse positif. La spécificité du modèle correspond à la proportion d'animaux non exposés pour lesquels le modèle prédit un résultat d'analyse négatif. On cherche donc à maximiser la sensibilité et la spécificité (donc à minimiser $1 - \text{Spécificité}$). Plus l'aire sous la courbe se rapproche de 1, meilleur est la capacité du modèle à discriminer un résultat positif d'un résultat négatif, et donc meilleure est la prédiction du modèle (Dohoo et al., 2007). Au contraire, plus l'aire sous la courbe se rapproche de 0.5, plus la discrimination d'un résultat positif d'un résultat négatif est mauvaise. Nous considérerons alors la valeur de l'aire sous la courbe ROC pour juger de la validité du modèle précédemment construit (Annexe 16).

B. Résultats

1. Localisation des cadavres et causes de mortalité

La figure 21 présente la localisation des cadavres inclus dans l'étude, découverts le long des axes routiers, de 2010 à 2018. Nous pouvons constater que le nombre de cadavres découverts est très variable en fonction des vallées. Davantage de cadavres ont en effet été collectés en vallée d'Ossau et d'Aspe (Annexe 17). Ces deux vallées représentent 73% des individus pris en compte dans l'étude.

Malgré ces différences notables en termes d'effectifs, la proportion d'animaux positifs est plus importante en vallée d'Ossau, en comparaison aux vallées d'Azun et de Cauterets (Annexe 18). Des proportions élevées d'individus positifs sont également notées dans les

vallées de Luz-Saint-Sauveur et d'Aure. L'exposition de la faune sauvage aux anticoagulants semble donc spatialement hétérogène sur l'aire étudiée.

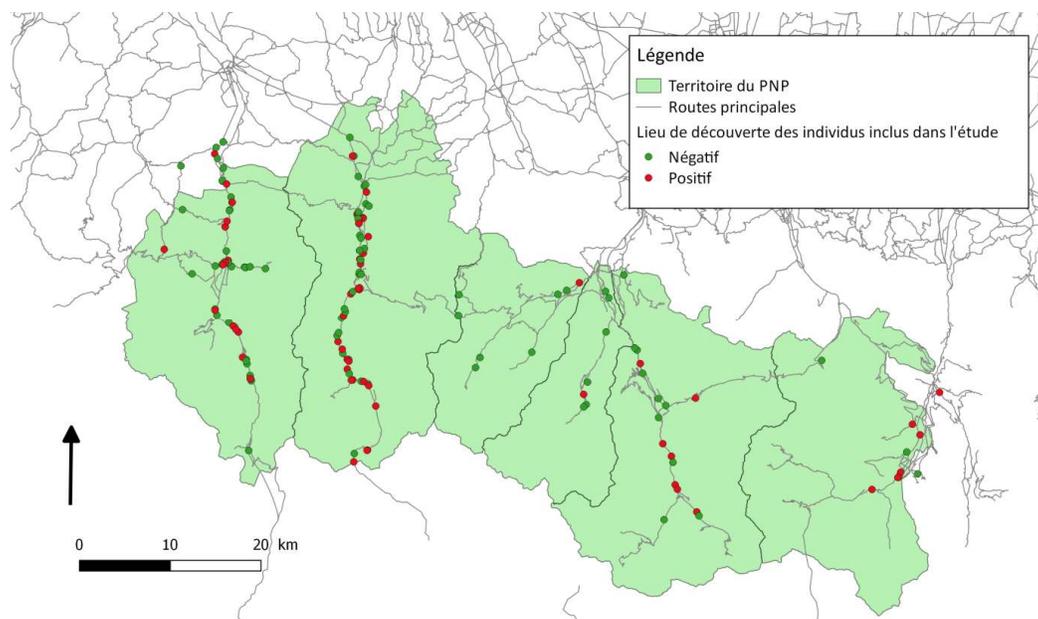


Figure 21 : Localisation des cadavres découverts le long des axes routiers de 2010 à 2018, les individus positifs étant ceux pour lesquels au moins un anticoagulant a été détecté, tandis que les individus sont dits négatifs si aucun anticoagulant n'a été détecté.

Les causes de mortalité des animaux considérés dans cette étude sont essentiellement traumatiques (71.3%) et toxiques (9.6%) (Annexe 19). Les toxiques retrouvés sont essentiellement d'origine anthropique tels que certains insecticides (carbofuran, lindane) ou rodenticides (anticoagulants, chloralose).

2. Prévalence de l'exposition aux anticoagulants et concentrations mesurées

La présence d'anticoagulants a été détectée sur 60 des 157 individus étudiés (38 %). Différentes molécules ont été retrouvées chez les animaux analysés (Annexe 20). La bromadiolone est la molécule la plus fréquemment retrouvée (62% des cas), suivie de la diféthialone (13%) et de la chlorophacinone (12%) (Annexe 21). Les anticoagulants pour lesquels les concentrations mesurées sont les plus élevées sont la chlorophacinone et le

difénacoum avec des concentrations mesurées moyennes respectives de 0.40 µg/g et 0.49 µg/g (Figure 22).

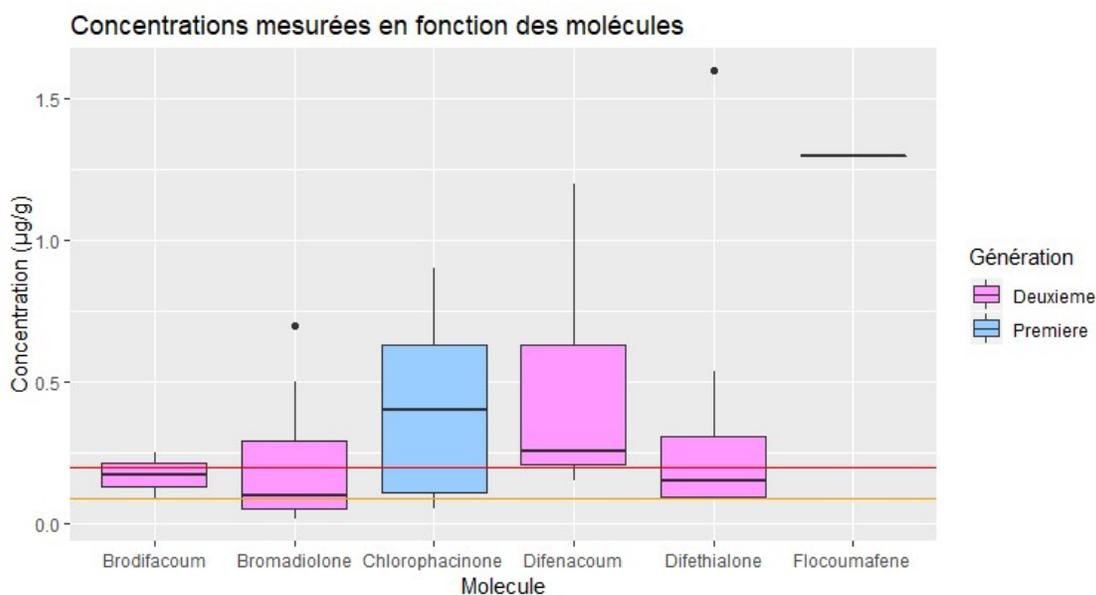


Figure 22 : Concentrations mesurées des anticoagulants détectés

Ligne orange : seuil de 0.09 µg/g choisi par le PNP comme seuil toxique

Ligne rouge : seuil de 0.2 µg/g utilisé dans de précédentes études (Berny et al., 1997 ; Rattner, Lazarus, et al., 2014 ; López-Perea et al., 2015 ; Lefebvre et al., 2017 ; López-Perea et al., 2019)

3. Espèces exposées aux anticoagulants

Nous nous sommes ensuite intéressés aux variations de la prévalence d'exposition chez les différentes espèces étudiées. Parmi les espèces pour lesquelles l'effectif total était suffisant, le Renard roux et la Fouine sont les espèces les plus exposées aux anticoagulants, avec respectivement 62 et 67% de prévalence. De plus, environ 40 % des chats forestiers, des martres des pins, des visons d'Amérique, et des buses variables ont présenté des anticoagulants lors des analyses toxicologiques. Pour le Milan royal et le Vautour fauve, la prévalence de l'exposition est d'environ 30% (Tableau 5).

Tableau 5 : Prévalence d'exposition des différentes espèces et concentrations mesurées en anticoagulants

Espèce	Exposition			Concentration ($\mu\text{g/g}$)			
	Effectif total	Nombre de positifs	Positifs (%)	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum
Mammifères							
Renard roux	34	21	62	0,301	0,17	0,029	1,6
Chat forestier	12	5	42	0,204	0,09	0,03	0,63
Genette commune	4	0	0				
Putois d'Europe	7	1	14	0,180			
Martre des pins	17	7	41	0,112	0,088	0,05	0,34
Fouine	6	4	67	0,315	0,3165	0,09	0,537
Belette d'Europe	2	1	50	0,150			
Blaireau européen	19	3	16	0,509	0,21	0,016	1,3
Loutre d'Europe	5	0	0				
Vison d'Amérique	5	2	40	1,050	1,050	0,9	1,2
Oiseaux							
Buse variable	12	5	42	0,338	0,3	0,05	0,7
Milan royal	7	2	29	0,251	0,251	0,25	0,252
Vautour fauve	27	9	33	0,163	0,06	0,02	0,5

Pour de nombreux individus positifs, la concentration en anticoagulants mesurée est supérieure au seuil de $0.09 \mu\text{g/g}$ choisi par le PNP comme seuil toxique. Le dépassement de ce seuil serait compatible avec l'apparition de signes cliniques. Pour le blaireau européen, la fouine, le renard roux, le vison d'Amérique, la buse variable et le milan royal, plus de 50% des concentrations mesurées en anticoagulants sont supérieures à ce seuil (Figure 23). En considérant un seuil de $0.2 \mu\text{g/g}$, utilisé dans d'autres études, au moins 50% des concentrations mesurées chez les blaireaux, les fouines, les visons d'Amérique, les buses variables et les milans royaux sont supérieures au seuil.

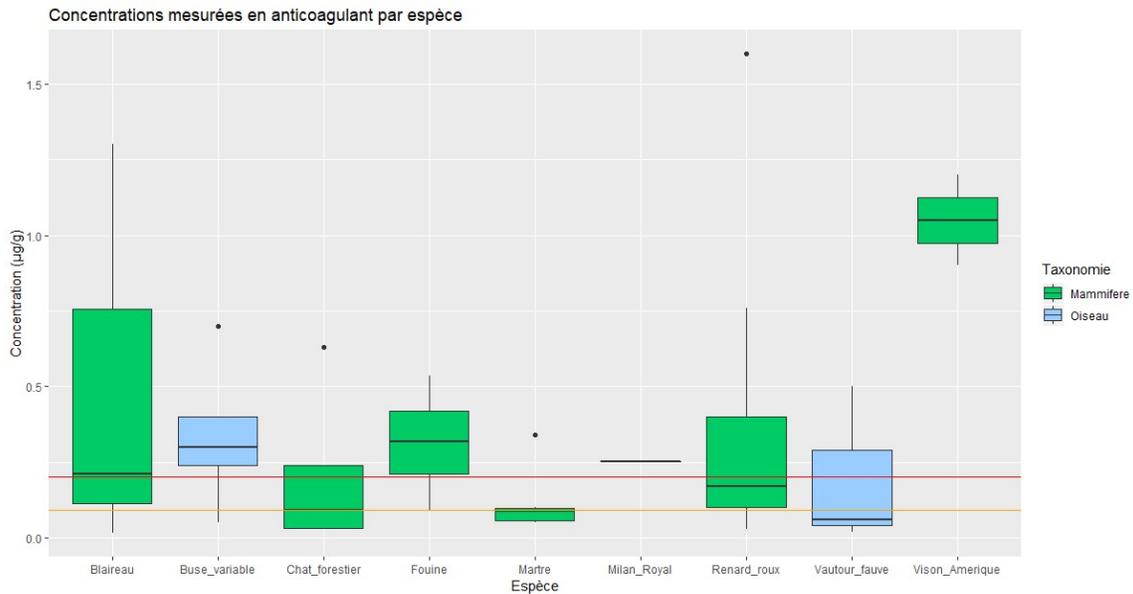


Figure 23 : Concentrations mesurées en anticoagulant chez les espèces pour lesquelles au moins deux individus positifs ont été détectés. La ligne orange correspond au seuil de 0.09 µg/g choisi par le PNP comme seuil toxique, tandis que la ligne rouge correspond au seuil de 0.2 µg/g considéré dans de précédentes études (Berny et al., 1997 ; Rattner, Lazarus, et al., 2014 ; López-Perea et al., 2015 ; Lefebvre et al., 2017 ; López-Perea et al., 2019)

Par ailleurs, cinq individus de l'échantillon étudié (deux fouines et trois renards roux) ont présenté plusieurs anticoagulants lors de l'analyse toxicologique (Annexe 22).

4. Résultats du modèle logistique et facteurs de risque

4.1. Sélection des variables associées à l'exposition de la faune sauvage

L'influence de chaque variable explicative sur l'exposition aux anticoagulants a été testée à l'aide d'une analyse univariée (Tableau 6) et l'absence de colinéarité entre la proportion de zones urbaines et la proportion de zones agricoles a été vérifiée graphiquement (Annexe 23). Les variables retenues par l'analyse univariée pour le modèle multivariée sont l'année de découverte, la vallée de découverte, la consommation de micromammifères et la proportion de zones agricoles (p-value < 0.25).

Tableau 6 : Résultats des analyses univariées de chaque variable explicative

Variable explicative	Catégories	Nombre de négatifs	Nombre de positifs	Test	P-value
Année de découverte	2010 à 2012	44	15	χ^2	0,001
	2013 à 2015	22	30		
	2016 à 2018	31	15		
Saison de découverte	Automne	25	15	χ^2	0,853
	Été	28	14		
	Hiver	28	19		
	Printemps	16	12		
Vallée de découverte	Aspe	36	15	Fisher	0,055
	Ossau	34	30		
	Azun-Cauterets	12	2		
	Luz	11	7		
	Aure	4	6		
Taxon	Mammifères	67	44	χ^2	0,696
	Oiseaux	30	16		
Consommation de micromammifères	Occasionnelle	39	12	χ^2	0,014
	Régulière	58	48		
Collision	Non	29	13	χ^2	0,343
	Oui	68	47		
Pourcentage de zones urbaines	Variable quantitative	Médiane = 0% Moyenne = 5.5%		Mann-Whitney-Wilcoxon	0,814
Pourcentage de zones agricoles	Variable quantitative	Médiane = 13.5% Moyenne = 25%		Mann-Whitney-Wilcoxon	0,189

4.2. Facteurs de risque

Les variables sélectionnées, suite à l'analyse univariée, ont été prises en compte dans un modèle logistique multivarié, dans lequel 126 des 157 individus ont été inclus. La sélection du modèle minimal adéquat basé sur l'AIC indique que l'année, la vallée de découverte, et le régime alimentaire (consommation de micromammifères) sont les variables qui expliquent le

mieux la présence d'anticoagulants dans la faune sauvage du PNP. La proportion de zones agricoles ne semble donc pas expliquer l'exposition des animaux sauvages.

Le modèle logistique obtenu a permis de calculer un odds ratio pour les différentes modalités des variables explicatives. Les facteurs ont été considérés comme significatifs lorsque leur association avec l'exposition en anticoagulants a été prédite avec une p-value inférieure à 0.05. Parmi les variables expliquant la présence d'anticoagulants dans la faune sauvage, certaines de leurs modalités constituent des facteurs de risque pour l'exposition des animaux sauvages. D'après le résultat du modèle sélectionné, les animaux découverts de 2013 à 2015, les animaux découverts en vallée d'Ossau ou encore les espèces consommant régulièrement de micromammifères sont plus à risque d'être exposés (Tableau 7).

Concernant l'année de découverte, l'odds des animaux découverts entre 2013 et 2015 est significativement plus élevé (p-value < 0,05) que celui des animaux découverts de 2010 à 2012. L'odds des animaux découverts de 2013 à 2015 est 5.01 (IC95 = [1,90 ; 14,23]) fois plus élevé que celui des individus découverts de 2010 à 2012.

L'odds des animaux découverts en vallée d'Ossau est 3.11 (IC95 = [1,21 ; 8,46]) fois plus élevé que celui des animaux de la vallée d'Aspe (p-value < 0,05).

Enfin, l'odds des individus consommant régulièrement des micromammifères est 2,52 (IC95 = [1,03 ; 6,58]) fois plus élevé que celui des animaux en consommant de façon occasionnelle.

Tableau 7 : Résultats du modèle logistique et odds ratios

Variable explicative	Catégories	OR	Intervalle de confiance 95%	P-value
Année de découverte	2010 à 2012	Référence		
	2013 à 2015	5,01	1,90 – 14,23	0,001589
	2016 à 2018	1,58	0,56 -4,53	0,390404
Vallée de découverte	Aspe	Référence		
	Ossau	3,11	1,21 – 8,46	0,021231
	Azun-Cauterets	0,24	0,01 – 1,81	0,231544
	Luz	2,42	0,57 – 10,05	0,220141
	Aure	2,88	0,50 – 17,01	0,228723
Consommation de micromammifères	Occasionnelle	Référence		
	Régulière	2,52	1,03 – 6,58	0,048372

4.3. Validation du modèle logistique

Le modèle logistique construit précédemment a enfin été testé avec les individus restant (1/5 de l'échantillon total). L'aire sous la courbe ROC construite avec les valeurs prédites pour les 1/5 des individus est égale à 0.7215 (Figure 24). Le modèle discrimine donc bien les individus exposés des individus non exposés, et peut être considéré comme fiable (Rakotomalala, 2015).

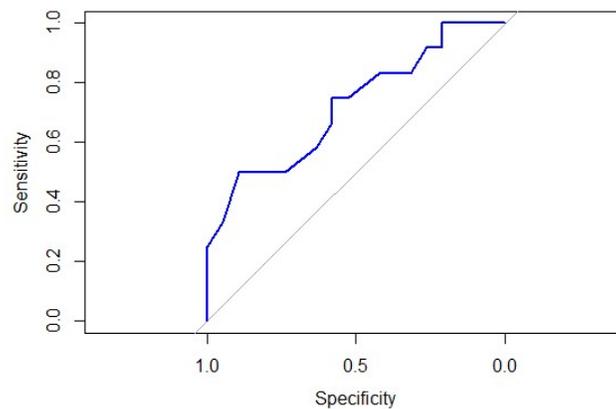


Figure 24 : Courbe ROC construite à partir de l'échantillon de test du modèle

C. Discussion

1. Principaux résultats de l'étude

1.1. Les anticoagulants détectés sur le PNP

L'exposition secondaire des prédateurs aux anticoagulants a été documentée dans de nombreuses régions du monde (López-Perea, Mateo, 2018) et le territoire du PNP n'est pas épargné. La présence de différents anticoagulants, aux propriétés persistantes et bio accumulatrices dans l'organisme (Horak et al., 2018), a en effet pu être mise en évidence dans cette étude chez les mammifères comme chez les oiseaux sauvages.

La bromadiolone est à l'origine de la majorité des cas d'exposition chez les animaux étudiés. Celle-ci peut être le témoin d'une utilisation de ces toxiques par des particuliers, mais également par des professionnels pour lutter contre les ravageurs des cultures. La

bromadiolone étant autorisée pour un usage en plein champ (Jacquot et al., 2013), ceci est cohérent avec son importante présence dans la faune sauvage. Les autres molécules retrouvées témoignent quant à elles d'une utilisation domestique. Des mésusages des produits destinés au grand public, tels qu'une utilisation en plein champ, ne peuvent cependant pas être exclus. Des rodenticides sont en effet en vente libre et peuvent donc être utilisés par des particuliers, ces-derniers étant souvent non informés du risque d'exposition secondaire de la faune sauvage.

1.2. La consommation régulière de micromammifères, un facteur de risque d'exposition aux anticoagulants

Cette étude a montré que les espèces consommant régulièrement des micromammifères présentaient un risque d'exposition aux anticoagulants plus important. Concernant les espèces consommant régulièrement des rongeurs, le Renard roux, dont l'effectif est le plus important, présente une exposition aux anticoagulants dans 62% des cas. D'autres travaux ont également mis en évidence d'importante prévalence d'exposition chez le Renard roux : 85% dans le département du Doubs en France (Fourel et al., 2018), ou encore 60 % en Allemagne et en Espagne (Geduhn et al., 2015 ; López-Perea et al., 2019). Les mustélidés présents sur le territoire du PNP ne sont pas non plus épargnés puisque les espèces telles que la Martre des pins, la Fouine, le Belette et le Vison d'Amérique présentent en moyenne une prévalence d'exposition de 47%. Ce résultat reste cependant plus faible que les prévalences observées dans de précédentes études : 58% des fouines étudiées en Espagne (Sánchez-Barbudo et al., 2012 ; López-Perea et al., 2019) et 79% des pékans analysés en Californie (Gabriel et al., 2012). Enfin, bien que l'effectif des buses variables et des milans royaux ne soient pas très élevés, nous avons pu mettre en évidence la présence d'anticoagulants dans respectivement 42 et 29% des cas sur le territoire du PNP. Des prévalences plus élevées ont été soulignées dans d'autres études : 64,3% des buses variables étudiées en Catalogne (Espagne) (López-Perea et al., 2015) et 88% des milans royaux étudiés en Espagne (Sánchez-Barbudo et al., 2012). Le régime alimentaire de ces deux espèces, essentiellement constitué de micromammifères, vivants ou morts (López-Perea et al., 2019), explique ce fort taux d'exposition.

Au contraire, les espèces se nourrissant de rongeurs de façon seulement occasionnelle telles que le Blaireau européen, la Loutre d'Europe et le Vautour fauve sont moins exposées aux anticoagulants. Ces résultats mettent donc en avant le lien entre la lutte contre les

rongeurs à base d'anticoagulants et l'exposition secondaire des prédateurs consommant ces micromammifères. Nous pouvons cependant noter l'exposition des vautours fauves aux anticoagulants (prévalence de 30%) bien qu'ils ne consomment des cadavres de rongeurs que de façon exceptionnelle. L'interprétation de leur niveau d'exposition est cependant difficile étant donné la taille importante de leur domaine vital (http://observatoire-rapaces.lpo.fr/index.php?m_id=20066). Ces derniers peuvent en effet se déplacer le long de la chaîne pyrénéenne et même traverser la frontière espagnole.

1.3. Une exposition plus importante de 2013 à 2015

Cette étude montre par ailleurs que les animaux découverts entre 2013 et 2015 présentaient des niveaux d'exposition plus élevés. Ceci pourrait être lié à des usages plus importants d'anticoagulants aux cours de ces années. Cependant, les pullulations de campagnols étant très localisées et non suivies sur l'ensemble du territoire du PNP, nous ne pouvons pas établir de lien direct entre des périodes de pullulation de campagnols et l'augmentation de l'exposition de la faune sauvage. Nous pouvons cependant noter que, de 2012 à 2014, plusieurs épisodes des crues se sont succédés dans la vallée des Gaves, de la Neste et de l'Adour. Le rapprochement des micromammifères des habitations, lors des inondations, ont alors pu entraîner une augmentation de l'utilisation de rodenticides par des particuliers. Les commémoratifs ne faisant pas état de pullulation de rongeurs de 2013 à 2015 sur le territoire, l'explication de l'augmentation de la prévalence d'exposition au cours de ces années pourrait donc être les épisodes de crues.

Dans le cadre de la surveillance de l'exposition aux anticoagulants de la faune sauvage, le PNP fait appel à un laboratoire dont les techniques analytiques et les molécules recherchées ont évolué avec le temps. La sensibilité des techniques analytiques étant encore faible de 2013 à 2015, en comparaison à celle utilisée à partir de l'année 2017 (technique LC-MS/MS), ceci accentue donc le niveau d'exposition plus élevé des animaux découverts de 2013 à 2015.

1.4. La faune sauvage de la vallée d'Ossau, une population exposée aux anticoagulants

D'après notre étude, les animaux sauvages de la vallée d'Ossau ont plus de risque d'être exposés aux anticoagulants. Plusieurs explications peuvent alors être données pour

comprendre ce résultat. La vallée d'Ossau se caractérise par une activité agricole et pastorale parmi les plus intenses du PNP. Le nombre d'exploitation agricole y est en effet nettement plus élevé que dans les autres vallées, avec notamment 34% des exploitations agricoles du PNP localisées dans la vallée d'Ossau en 2009 (Annexe 24). De plus, l'élevage, essentiellement de type ovin laitier, est un fort consommateur de ressources fourragères. La culture d'herbe qui occupe une place importante dans le fond de la vallée, est donc un lieu propice au développement des populations des rongeurs prairiaux. Les besoins en fourrages étant supérieurs, les surfaces fourragères y sont bien plus importantes que dans les secteurs d'Aure, Luz, Cauterets et Azun, dominées par un élevage allaitant (Annexe 25).

Bien qu'aucune période connue de pullulation de campagnols n'ait été rapportée dans cette vallée, nous ne pouvons pas exclure l'utilisation d'anticoagulant par les professionnels de l'élevage. La vallée d'Ossau est également caractérisée par un nombre important de cabanes fromagères, occupées par les bergers au cours de la saison d'estive. Ces cabanes peuvent être d'éventuels lieux de traitement contre les rongeurs. La vallée d'Aspe, elle aussi dominée par un élevage laitier, se caractérise cependant par une déprise agricole plus importante que la vallée d'Ossau. Ceci pourrait y expliquer l'exposition moins importante de la faune sauvage aux anticoagulants.

1.5. Des facteurs à l'influence non significative sur l'exposition aux anticoagulants

La saison de découverte

Aucune association n'a pu être mise en évidence entre la saison de découverte des cadavres et l'exposition de la faune sauvage, bien que les fluctuations saisonnières des populations de rongeurs (Jacob et al., 2014) puissent entraîner l'utilisation d'anticoagulants en automne et à la fin de l'hiver (Fournier-Chambrillon et al., 2004). La persistance des anticoagulants dans l'organisme des rongeurs, voire l'ingestion différée d'appâts mis en réserve par ces micromammifères (Le Louarn, Quéré, 2011), rendent difficile l'établissement d'un lien entre une période de traitement et l'impact sur la faune sauvage. Ces derniers peuvent en effet être une source d'exposition pour les prédateurs plusieurs mois après des campagnes de traitements (Fournier-Chambrillon et al., 2004). Le lien direct entre l'utilisation d'anticoagulants et les conséquences non intentionnelles sur la faune sauvage sera davantage visible lors de forts épisodes de mortalité.

La présence de signes de collision

Les signes évocateurs d'une collision ne sont pas non plus associés à l'exposition de la faune sauvage. Plusieurs explications peuvent éclairer ce résultat. Les animaux exposés peuvent en effet présenter seulement des doses faibles n'entraînant pas l'apparition de signes cliniques, et donc pas d'éventuelle baisse de vigilance. Par ailleurs, même en présence de doses élevées, l'effet retardé des anticoagulants peut expliquer l'absence de signes cliniques au moment de la mort de l'animal. Nous ne pouvons donc pas établir de lien entre l'exposition des animaux sauvages et d'éventuelles conséquences neurologiques, telles qu'une baisse de vigilance, pouvant favoriser la survenue d'une collision.

Facteurs environnementaux

Lors d'études précédentes, des facteurs caractérisant les milieux urbains et agricoles ont souvent été associés à l'exposition de la faune sauvage : la densité humaine (López-Perea et al., 2015), l'urbanisation ou encore la densité en bétail (Geduhn et al., 2015 ; López-Perea et al., 2019). Dans cette étude, une autre approche a été testée pour étudier l'influence de l'importance de ces deux milieux sur l'exposition secondaire des animaux sauvages, mais aucun lien n'a pu être mis en évidence. Plusieurs explications peuvent être avancées afin de comprendre cette absence d'association. Le caractère théorique des domaines vitaux limite en effet l'interprétation. La forme du domaine vital réel d'un individu dépend notamment de la distribution des différents types de milieux dans lesquels il évolue préférentiellement (milieu forestier, bocager, etc.) et de l'altitude qui n'a pas été prise en compte ici. Les domaines vitaux ont également été construits autour du lieu de découverte de l'animal. Or celui-ci n'était pas forcément au centre de son domaine vital au moment de sa mort. Les domaines vitaux définis sont donc probablement éloignés du domaine vital réel des individus considérés.

Par ailleurs, la couche « Corine Land Cover » utilisée est une couche européenne, avec un faible niveau de détails et potentiellement peu adaptée aux particularités du milieu montagnard.

Enfin, la couche d'occupation des milieux regroupe différentes zones aux caractéristiques géographiques équivalentes mais pouvant faire l'objet de gestions et d'utilisations différentes.

2. Validité de l'étude

2.1. Validité interne

Nous nous intéressons ici à la fiabilité des résultats obtenus dans l'étude (Dohoo et al., 2007).

Concernant les variables catégorielles, la connaissance du statut des individus (exposé ou non exposé) a pu influencer la méthode de classement des individus, à l'origine d'un réarrangement des individus étudiés dans des catégories incorrectes. Il s'agirait ainsi d'un biais de classement différentiel, puisque les individus que l'on savait exposés ont alors pu être classés dans des catégories inappropriées, en fonction des hypothèses émises précédemment. Le classement des espèces selon leur consommation de micromammifères (régulière ou occasionnelle) a ainsi pu être influencé par la connaissance du niveau d'exposition de chacune d'elles. La constitution de la base de données a en effet été réalisée antérieurement à la mise en place de l'étude. Afin d'éviter un éventuel biais de classement, les catégories auraient donc dû être définies avant la collecte des données. Ceci étant cependant difficile d'un point de vue pratique, le réalisateur de cette étude aurait pu constituer les variables catégorielles sans que le statut des individus ne soit connu par ce dernier.

Concernant les variables quantitatives, un biais de mesure du pourcentage de milieu agricole et urbain peut également être présent. La couche géographique utilisée (Corine Land Cover) étant en effet peu détaillée, le pourcentage de milieu agricole et urbain dans le domaine vital des individus a donc pu être faussé par rapport à la réalité. Si tel est le cas, ce biais de mesure est cependant non différentiel, puisque non lié au statut des individus. Il peut néanmoins être source d'erreur dans l'estimation de l'association entre les variables et l'exposition, entraînant alors l'estimation vers une association nulle (Dohoo et al., 2007).

Par ailleurs, l'évolution des techniques analytiques utilisées lors de la recherche d'anticoagulants est également une limite à l'interprétation des résultats. La variabilité des limites de quantification selon les techniques utilisées influe en effet sur le résultat final de l'analyse (positif ou négatif) et donc sur la prévalence de l'exposition.

Enfin, la difficulté de mise en évidence de facteurs de risque dans cette étude est probablement liée à l'effectif limité de l'échantillon étudié, mais également à la complexité du déterminisme de l'exposition. D'autres facteurs non étudiés peuvent en effet rentrer en jeu

comme l'adaptation des prédateurs à la dynamique de population des proies ou encore l'usage différent de zones agricoles ou urbaines jugé identique d'un point de vue géographique.

2.2. Validité externe

Il s'agit de déterminer si les résultats obtenus à partir de l'échantillon étudié peuvent être généralisés à l'ensemble de la population cible (Dohoo et al., 2007). La population cible correspond ici à l'ensemble des espèces de mammifères et d'oiseaux étudiés dans cette étude, présents le long des axes routiers du PNP.

La validité externe de l'étude dépend notamment de la sélection des individus compris dans cette étude. Pour des raisons pratiques, la collecte des cadavres au bord des routes n'est pas toujours systématique. En effet, dans certains cas le cadavre peut ne pas être récupéré (cadavre non accessible, écrasé, en décomposition, manque d'emplacement pour stationner ou de matériel de transport du cadavre). Lorsque cela est possible, les cadavres sont cependant récupérés, sans distinction d'espèce. Nous pouvons donc considérer qu'il n'y a pas de biais de sélection différentiel et que l'association, entre l'exposition aux anticoagulants présente dans la population étudiée et les différentes variables explicatives, est la même que celle existant dans la population cible.

3. Avantages et inconvénients d'une surveillance passive

En France, la surveillance de la mortalité de la faune sauvage repose essentiellement sur une surveillance événementielle basée sur la collecte des cadavres. Ceci est également le cas au PNP où la déclaration des cas est réalisée par les agents de terrain au hasard de leur découverte. Ce type de surveillance a pour avantage d'être peu coûteuse et peu contraignante en temps. Cependant, les données collectées peuvent parfois être difficile à interpréter faute d'échantillonnage représentatif de la population visée. La mise en place d'une surveillance passive, fondée sur l'observation d'agents de terrain, reste néanmoins un atout pour détecter l'apparition de phénomènes anormaux comme des épisodes de mortalité massive. Ainsi, l'usage d'anticoagulant a par exemple été arrêté au cours de l'hiver 2011-2012 en Auvergne (France) suite à la mort de milans royaux et de buses variables (Giraudoux et al., 2002 ; Jacquot et al., 2013). Cependant, nous pouvons nous demander si une telle veille passive est capable de mettre en évidence l'existence de phénomènes moins visibles, tels que les effets

non intentionnels des anticoagulants sur la faune sauvage. En effet, le nombre de cas détectés est largement sous-estimé, la détection des cadavres étant dépendantes de nombreux facteurs tels que les conditions climatiques, la taille des individus, l'abondance d'animaux charognards ou encore la mobilisation des observateurs.

La veille passive du PNP présente également certaines limites telles qu'un échantillonnage non représentatif du territoire, certaines zones n'étant jamais explorées, ou encore la collecte non systématique des cadavres découverts, selon leur accessibilité et d'éventuelles difficultés pour le transporter. Les agents de terrain ne sont pas non plus en nombre équivalent dans les différentes vallées, et tous ne présentent pas forcément le même intérêt pour la veille sanitaire. L'ensemble de ces facteurs peuvent donc limiter l'interprétabilité des données collectées.

Pour ces différentes raisons, notre étude s'est portée uniquement sur les cadavres trouvés au bord des routes, trajectoires régulièrement empruntés par l'ensemble des agents de terrain. Mais nous pouvons cependant noter des différences d'axes routiers entre les différentes vallées. Certains axes transfrontaliers, telles que dans les vallées d'Aspe et d'Ossau, nettement plus empruntés, peuvent être le lieu de davantage de collision routière, et donc de cadavres potentiellement découverts. Ce facteur pourrait alors expliquer l'effectif plus important de cadavres découverts dans les vallées d'Ossau et d'Aspe.

La détection événementielle de cadavre est donc fortement informatrice mais la mise en place d'une surveillance active pourrait en améliorer l'interprétation, afin de pallier aux biais souvent présents dans ce type de surveillance. Se concentrer sur les animaux découverts le long des trajets régulièrement empruntés par les agents de terrain pourrait être une solution. Le ciblage de cette étude sur les cadavres découverts le long des axes routiers présente cependant lui aussi quelques limites telles que la durée de persistance des cadavres sur les routes. En effet, la plupart des carcasses ne persistent pas plus d'une journée (Santos et al., 2011).

4. Les conséquences de l'exposition aux anticoagulants sur les populations d'animaux sauvages difficiles à établir

4.1. Diagnostic d'une intoxication aux anticoagulants

Les cadavres n'étant pas tous détectés, la surveillance des effets non intentionnels et non visibles de l'usage d'anticoagulants sur la faune sauvage est difficile. A ce facteur, s'ajoute la

difficulté de la réalisation d'un diagnostic d'intoxication. Etant donné l'effet retardé des anticoagulants, la survenue de la mort des individus peut avoir lieu avant même l'apparition d'éventuels signes cliniques. Or le diagnostic d'une intoxication repose généralement sur la correspondance entre la présence d'anticoagulant et de lésions nécropsiques concordantes. L'analyse histologique pourrait alors être un atout pour mettre en évidence des lésions non visibles macroscopiquement (Rattner et al., 2011). La conclusion sur la cause de la mort n'est donc pas toujours facile à établir puisque les concentrations mesurées en anticoagulants ne sont pas forcément reliées à la mort de l'animal (Fournier-Chambrillon et al., 2004). Ceci est d'autant plus vrai pour les individus morts suite à une collision routière pour lesquels des signes hémorragiques ne permettent pas de discriminer une origine uniquement traumatique d'une intoxication sous-jacente.

Ces difficultés s'ajoutent à la complexité de l'établissement de seuil de toxique, associé à l'apparition de signes cliniques (López-Perea, Mateo, 2018), étant donné les variations de sensibilité des espèces et des individus (Thomas et al., 2011). En effet, différents seuils toxiques, toutes espèces confondues, ont été considérés lors d'études précédentes : 0,7 µg/g (Erickson, 2004), 0,1 µg/g (Sarabia et al., 2008). Le seuil de 0,2 µg/g (Berny et al., 1997 ; Rattner, Lazarus, et al., 2014 ; López-Perea et al., 2015 ; Lefebvre et al., 2017 ; López-Perea et al., 2019) reste cependant le plus souvent utilisé. L'interprétation des concentrations mesurées en anticoagulants doit donc se faire avec précaution, les conséquences cliniques pouvant dépendre de la sensibilité de l'individu concerné mais également de la fréquence d'exposition (Rattner, Horak, et al., 2014).

4.2. L'évolution des techniques analytiques utilisées

Dans le cadre de la surveillance de l'exposition aux anticoagulants de la faune sauvage, le PNP fait appel à un laboratoire dont les techniques analytiques et les molécules recherchées ont évolué avec le temps. La capacité d'un test à mettre en évidence la présence d'une molécule dépend du seuil de quantification. En effet, plus le seuil de quantification du test est faible, plus le test est en capacité de détecter la présence de molécules, et donc meilleure sera la sensibilité. L'abaissement des limites de quantification à partir de l'année 2017, grâce à l'utilisation de la technique LC-MS/MS, a donc pu permettre de mettre en évidence la présence d'anticoagulants qui n'auraient pas pu être détectés par les techniques utilisées auparavant (HPLC). Le nombre d'individus positifs (pour lesquels une molécule a été mise en évidence) a donc pu augmenter de manière artificielle, suite à l'amélioration des limites de

quantification. La variabilité des limites de quantification des techniques analytiques utilisées peut donc être un facteur limitant l'interprétabilité des résultats de la surveillance.

5. Améliorations du dispositif de surveillance

5.1. Espèces ciblées par le dispositif de surveillance

5.1.a. Sentinelles de l'exposition de la faune sauvage aux anticoagulants

La surveillance des espèces prédatrices, en bout de chaîne alimentaire et pouvant alors présenter une bioaccumulation d'anticoagulants (Annexe 26), est intéressante pour détecter les conséquences non intentionnelles de l'usage de ces toxiques sur la faune sauvage. Dans cette étude, nous avons montré que la surveillance de l'exposition de la faune sauvage devrait ainsi s'intéresser aux espèces consommant régulièrement des micromammifères. Pour ces raisons, le Renard roux pourrait être une espèce sentinelle intéressante. Son régime alimentaire généraliste, mais pouvant se spécialiser sur les micromammifères lors de pullulation (Fourel et al., 2018), ainsi que sa large distribution en milieu agricole, comme en milieu urbain en font une espèce de choix pour surveiller l'exposition des prédateurs sauvages. Les mustélidés apportent également des informations intéressantes quant aux conséquences de l'usage d'anticoagulants. La Martre des pins et la Fouine pouvant vivre dans des milieux agricoles et/ou urbains, et se nourrir de micromammifères, la surveillance de leur exposition est donc elle aussi intéressante.

La large distribution de la Buse variable, et son régime alimentaire principalement constitué de micromammifères, la rendent elle aussi informative. Cependant le faible effectif de cadavres découverts (n= 12) depuis 2010 ne nous permet pas de connaître avec précision le niveau d'exposition des oiseaux de proies sur le PNP. Certains rapaces nocturnes pourraient également servir de sentinelles. De précédentes études ont en effet démontré l'atteinte de certains rapaces nocturnes avec des prévalences d'exposition élevées tels que 62% (Sánchez-Barbudo et al., 2012). L'Effraie des clochers (*Tyto alba*) semble être un oiseau nocturne particulièrement touché puisque des anticoagulants ont été détectés chez 75% (Sánchez-Barbudo et al., 2012) et 54,5% (López-Perea et al., 2015) des individus analysés lors de précédentes études. Des prévalences d'exposition de 77,8% chez les chouettes hulottes (*Strix aluco*) et de 100% chez les hiboux grand duc en Espagne (*Bulbo bulbo*) (López-Perea et al.,

2015) ont aussi été mesurées. Il a également été démontré que les rapaces nocturnes présentaient des concentrations en anticoagulants significativement plus importantes que les rapaces diurnes, et particulièrement chez les espèces consommant des micromammifères, telles que le Hibou moyen duc (*Asio otus*) et l'Effraie des clochers (Ruiz-Suárez et al., 2014). La surveillance des rapaces nocturnes tels que l'Effraie des clochers et la Chouette hulotte pourrait donc être une source d'information supplémentaire pour l'évaluation et la compréhension de l'exposition de la faune sauvage aux anticoagulants.

Toutefois, pour répondre à un objectif de surveillance des causes de mortalité et des menaces pouvant peser sur des espèces patrimoniales, la prise en compte d'espèces menacées comme le Milan royal reste importante. Le choix des espèces incluses dans la surveillance de l'exposition aux anticoagulants dépend donc des objectifs auxquels la veille sanitaire souhaite répondre.

5.1.b. Espèces dont la surveillance est moins informative

Les espèces ne se nourrissant que de peu de rongeurs telles que le Blaireau européen, la Loutre d'Europe et le Vautour fauve sont au contraire moins exposées. Leur surveillance est donc moins informative pour étudier les effets non intentionnels de l'utilisation d'anticoagulants. Par ailleurs, les vautours fauves, ayant un domaine vital dépassant largement le territoire du PNP, ne sont pas de bons indicateurs du niveau d'exposition de la faune sauvage sur cette zone.

5.2. Améliorer la puissance de la veille sanitaire

La veille passive présentant des limites en termes de nombre d'individus collectés et de représentativité du territoire, il pourrait être intéressant de mettre en place un système participatif qui s'appuierait sur la découverte de cadavres par des particuliers. L'intérêt de la veille sanitaire du Parc et de la découverte des cadavres pourrait faire l'objet d'une communication à des endroits stratégiques tels que des lieux touristiques (refuges de montagne, maisons du Parc, etc.) mais également aux éleveurs vivant en zone de montagne, aux chasseurs ou encore aux agents en charge de l'entretien des routes. La découverte de cadavres pourrait être signalée aux propriétaires de ces différentes structures, qui pourraient à leur tour relayer l'information aux agents de terrain du Parc. Dans le cas où les gardes ne peuvent pas récupérer le cadavre rapidement, les propriétaires volontaires pourraient disposer

de l'équipement nécessaire (sacs poubelles, gants) pour conserver le cadavre jusqu'à l'arrivée de gardes du PNP. Ces-derniers devront cependant interroger le découvreur sur les circonstances de la découverte. Les chasseurs pourraient également être davantage impliqués dans la découverte de cadavres. Enfin, les cadavres de certaines espèces considérées nuisibles, telles que la Martre des pins ou le Renard roux, suite au piégeage par des piègeurs agréés pourraient être récupérés pour analyse. Le nombre de cadavres collectés pourraient ainsi être augmenté, et la représentativité de l'ensemble du territoire du Parc nettement améliorée. La faune sauvage de montagne serait également mieux représentée.

La prospection du territoire étant hétérogène sur l'ensemble du PNP, le manque de représentativité du territoire surveillé pourrait également être évité en ciblant la surveillance sur les cadavres découverts le long des axes routiers. La prise en compte des données collectées le long des trajets habituellement réalisés par les agents serait intéressante car elle n'entraînerait pas de coûts supplémentaires. Les résultats d'analyse de l'ensemble des animaux analysés pourraient par ailleurs être pris en compte, ce qui permettrait que la totalité du budget alloué à la surveillance soit utilisé pour répondre à l'objectif souhaité de la surveillance de l'exposition de la faune sauvage. Cependant, dans ce cas, nous pourrions supposer que les cadavres découverts le long des axes routiers seront davantage exposés aux anticoagulants que le reste de la faune sauvage. Cette méthodologie nécessiterait néanmoins que toutes les trajectoires soient régulièrement empruntées. Chaque axe routier devrait ainsi être emprunté au moins tous les deux ou trois jours afin de réaliser une surveillance optimale respectivement des oiseaux de proie et des mammifères carnivores (Santos et al., 2011). La réalisation de ces trajets devrait également se faire de manière active dans le but de détecter la présence de cadavres et la collecte des carcasses devrait être la plus systématique possible.

5.3. Mieux comprendre l'impact de l'usage d'anticoagulant sur les populations d'animaux sauvages

Les effets non intentionnels de l'utilisation d'anticoagulants étant souvent difficiles à appréhender, la connaissance de la dynamique des populations atteintes serait intéressante (Jacquot et al., 2013). Nous pourrions alors faire le lien entre l'évolution des populations d'espèces sentinelles telles que le Renard roux, la Martre des pins, la Fouine, la Buse variable ainsi que l'Effraie des clochers ou la Chouette hulotte et des campagnes de lutte contre les

rongeurs. Le couplage de la surveillance de l'exposition et le suivi des populations nous permettrait de mieux comprendre les effets éventuels sur la faune sauvage.

Ceci met également en avant l'intérêt d'une surveillance d'espèces relativement abondantes, telles que le Renard roux ou la Buse variable, dont le suivi des populations est plus aisé. La connaissance de la dynamique de ces populations permettrait de détecter plus rapidement des variations anormales.

6. Alternatives à l'usage des anticoagulants et gestion

6.1. Des méthodes alternatives et préventives

De nouveaux produits à base d'anticoagulant, menaçant moins les animaux sauvages doivent encore être développés (Damin-Pernik et al., 2017). Il semble aujourd'hui évident qu'une utilisation réduite des anticoagulants serait bénéfique pour les populations sauvages (Jacquot et al., 2013). Il a été montré qu'un changement des méthodes de lutte, vers des méthodes préventives couplée à une utilisation réduite d'anticoagulants était moins nuisible pour les populations de prédateurs tels que les renards roux (Jacquot et al., 2013). L'usage d'anticoagulants peut même être contre-productif car il peut avoir pour effet de réduire la pression de prédation sur les populations de campagnols par les prédateurs tels que les mustélidés, suite à un déclin des populations des ces prédateurs (Fernandez-de-Simon et al., 2019).

Afin d'éviter les surpopulations de rongeurs prairiaux, des méthodes préventives peuvent être mises en place à large échelle. Le labour constitue une technique intéressante pour détruire les galeries souterraines des campagnols (Heroldová et al., 2018) mais aussi des taupes (*Talpa europea*) dont le réseau souterrain peut favoriser l'installation de campagnols (Coeurdassier et al., 2014). Une fauche précoce, limitant la hauteur de la végétation, ainsi qu'une coupe de la végétation présente le long des bordures des champs, limitent la protection des rongeurs par la végétation et donc leur installation (Jacquot et al., 2013). Ces différentes mesures agronomiques sont cependant difficilement applicables en zone de montagne et peuvent également avoir des conséquences négatives sur la qualité du sol et la biodiversité. D'autres méthodes de gestion des prairies, telles que la rotation de pâture ou l'alternance fauche-pâturage, sont des moyens limitant l'installation des rongeurs prairiaux. Le piégeage

des rongeurs peut également être réalisé mais peut s'avérer insuffisant lors de pullulation de rongeurs (Damin-Pernik et al., 2017).

Enfin, les prédateurs, facteurs de régulation des populations de rongeurs, constituent un service écosystémique important à favoriser. La création de haies, pouvant servir de corridor et de perchoirs pour les prédateurs mammifères et aviaires, facilite leur action régulatrice. Elles limitent également la connectivité entre les prairies pour les campagnols (Coeurdassier et al., 2014). L'installation de nichoirs d'effraies des clochers ainsi que la remise en liberté d'individus issus de centres de soins (Hegalaldia) pourraient également être réalisés dans les différentes vallées du PNP, en privilégiant les zones où cette espèce est absente.

De telles méthodes de lutte préventives et alternatives à l'utilisation d'anticoagulants, mises en place à une échelle régionale ont ainsi pu faire leurs preuves dans le département du Doubs. Elles ont en effet permis de diminuer la quantité d'appâts utilisés en plein champ de 66% dans ce département. Lors de période de faible densité de campagnols, seulement 0.5 kg/Ha étaient suffisants pour contrôler leurs populations (Jacquot et al., 2013). Pour être efficaces, ces méthodes doivent néanmoins être appliquées à large échelle (Fernandez-de-Simon et al., 2019) et doivent être adaptées au contexte local. Une étude réalisée en Auvergne a montré qu'une lutte collective à l'échelle du paysage était possible en zone de moyenne montagne, mais nécessitait une bonne connaissance des dynamiques des populations de rongeurs mais également des contraintes au niveau du paysage et des professionnels agricoles. Les méthodes de lutte doivent être mises en place à plusieurs échelles : celle du paysage (haies favorisant la présence de prédateurs, connectivité entre les prairies), la parcelle (type de cultures, alternance fauche-pâturage) et enfin l'exploitation agricole (piégeage des campagnols et/ou des taupes par exemple) (Perrot, Girardet, 2017).

Enfin, concernant les rongeurs anthropophiles, un guide de bonnes pratiques lors de l'utilisation de rodenticides a été développé en Europe (EBPF, 2002), mais également au Royaume Uni (<http://www.thinkwildlife.org/stewardship-regime/>).

6.2. Implications pour les gestionnaires

Les effets non intentionnels des anticoagulants étant souvent invisibles, voire non connus par le grand public, des informations sur le sujet pourraient être communiquées aux particuliers ainsi qu'aux professionnels du monde agricole. De telles communications ont déjà eu lieu dans plusieurs vallées des Hautes-Pyrénées (Aure, Luz-Saint-Sauveur et Azun), et des

campagnes de piégeage ont même été en partie financées par le PNP lors de période de surpopulations de rongeurs prairiaux. Ces méthodes mériteraient à l'avenir d'être renouvelées, et même d'être étendues à la vallée d'Ossau en particulier. L'adoption de mesures alternatives à l'usage des anticoagulants en plein champ repose cependant sur la volonté des professionnels du milieu agricole, et seule une action globale à l'échelle de la vallée peut être efficace pour limiter les surpopulations de rongeurs prairiaux (Fernandez-de-Simon et al., 2019).

Un meilleur suivi des populations de rongeurs sur l'ensemble du territoire du PNP serait également utile pour identifier les zones à risque pour l'exposition de la faune sauvage. Sur ces zones, la suspension des mesures de destruction d'espèces d'animaux classés nuisibles telles que le Renard roux, la Fouine ou la Martre des pins pourrait être appliquée.

La zone cœur étant une zone réglementée dans laquelle les mesures de régulation des populations d'espèces animales surabondantes sont soumises à autorisation du Directeur du PNP³³, les agents de terrain commissionnés et assermentés du PNP pourraient exercer leur pouvoir de police pour limiter l'usage d'anticoagulants en zone protégée en l'absence d'autorisation, notamment autour des cabanes de bergers et des granges où ces produits pourraient être utilisés. Les zones à proximité de la frontière espagnole, telle que la vallée d'Ossau, où sont présents certains commerces, peuvent également représenter un facteur favorisant l'usage de ces toxiques. Le contrôle des refuges de montagne ainsi que la communication sur les effets non intentionnels des anticoagulants sur la faune sauvage, devraient être réalisés. Les refuges étant des lieux pouvant être favorables à l'installation de rongeurs, tels que les lérots, l'utilisation d'anticoagulants a déjà pu être constaté sur le Parc et ne devrait pas être renouvelée. La sensibilisation des gardiens de refuges sur les effets non intentionnels de l'usage d'anticoagulants devrait être réalisée, et des stratégies alternatives tels que le piégeage devraient y être favorisées.

³³ MINISTERE EN CHARGE DE L'ECOLOGIE. Décret n°2009-406 du 15 avril 2009 pris pour l'adaptation de la délimitation et de la réglementation du parc national des Pyrénées occidentales. Article 6.

Conclusion

Cette étude met en lumière la forte prévalence d'exposition aux anticoagulants dans la faune sauvage du PNP. La proportion d'individus exposés dépasse en effet 40% chez sept espèces étudiées : le Renard roux, le Chat forestier, la Martre des pins, la Fouine, la Belette d'Europe, le Vison d'Amérique et la Buse variable. Nous pouvons également noter des prévalences d'exposition atteignant plus de 60% chez le Renard roux et la Fouine. Cette étude a donc permis de souligner un niveau d'exposition important sur un territoire qui s'inscrit pourtant dans une logique de protection de l'environnement et de développement durable.

L'origine de cette exposition n'a pas pu être mise en évidence, mais l'importance de la présence de la bromadiolone chez les animaux exposés peut laisser supposer une origine agricole. Celle-ci serait notamment probable en vallée d'Ossau, où la faune sauvage est nettement plus exposée que dans les autres vallées du PNP. Un usage domestique ne peut néanmoins pas être exclu. Par ailleurs, cette étude montre que les espèces prédatrices consommant des micromammifères de façon régulière sont également plus exposées aux anticoagulants que celles qui n'en consomment que de façon occasionnelle. Le modèle logistique réalisé a enfin permis de souligner que les animaux découverts entre 2013 et 2015 étaient davantage exposés. Des données supplémentaires sur l'utilisation d'anticoagulants seraient cependant nécessaires pour comprendre cette association.

L'analyse du modèle logistique réalisé met en avant des pistes d'amélioration du dispositif de veille sanitaire. Des espèces sentinelles telles que le Renard roux, la Martre des pins, la Buse variable, mais aussi l'Effraie des clochers, pourraient faire l'objet d'un suivi systématique afin de surveiller les effets non intentionnels de l'utilisation d'anticoagulants sur la faune sauvage. Pour que les données issues de la surveillance soient davantage exploitables, celles-ci devraient également être en lien avec le suivi de la dynamique de ces populations. Disposant d'agents de terrain compétents dans ce domaine, le Parc National est donc un lieu d'intérêt majeur pour aider dans la compréhension des données issues de la veille sanitaire.

Ce travail met également en avant les limites de l'interprétabilité des résultats issus de la veille sanitaire du PNP. Un meilleur ciblage des objectifs recherchés par le dispositif ainsi que la mise en place d'un protocole adapté à ces attentes permettraient de pallier à ces différentes limites. Pour ce faire, le réseau pourrait notamment s'appuyer sur l'aide d'épidémiologistes.

Cette étude souligne également l'intérêt de l'adoption de méthodes préventives et alternatives à l'usage d'anticoagulants, qui pourraient être préconisées dans les zones à fort risque d'exposition aux anticoagulants.

Références bibliographiques

ALOMAR, Hussein, CHABERT, André, COEURDASSIER, Michael, VEY, Danièle et BERNY, Philippe, 2018. Accumulation of anticoagulant rodenticides (chlorophacinone, bromadiolone and brodifacoum) in a non-target invertebrate, the slug, *Deroceras reticulatum*. In : *Science of The Total Environment*. 1 janvier 2018. Vol. 610-611, p. 576-582. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.08.117.

ALTERIO, Nic, 1996. Secondary poisoning of stoats (*Mustela erminea*), feral ferrets (*Mustela furo*), and feral house cats (*Felis catus*) by the anticoagulant poison, brodifacoum: *New Zealand Journal of Zoology*: Vol 23, No 4. In : . 1996. Vol. 23, p. 331-338.

ANSES (éd.), 2017. *Pestivirose dans les Pyrénées - Avis de L'ANSES - Rapport d'expertise collective*. juillet 2017. S.l. : Edition scientifique.

ARTOIS, Marc et FROMONT, Emmanuelle, 2003. LA FAUNE SAUVAGE, INDICATEUR POSSIBLE DU RISQUE DE MALADIE EMERGENTE ? In : . 2003. p. 12.

BARBIER SAINT HILAIRE, P., 2012. *Etude expérimentale du métabolisme du coumatétralyl chez le rat. Implications dans les mécanismes de résistance aux anticoagulants* [en ligne]. Thèse. S.l. : s.n. [Consulté le 19 septembre 2019]. Disponible à l'adresse : <http://alex.vetagro-sup.fr/Record.htm?idlist=2&record=19411687124912398699>.

BENHAMOU, Simon, 1998. Home range in terrestrial mammals. In : [en ligne]. 1998. Disponible à l'adresse : <http://hdl.handle.net/2042/54904>.

BERNY, Philippe et GAILLET, Jean-Roch, 2008. Acute poisoning of Red Kites (*Milvus milvus*) in France: Data from the SAGIR network. In : *Journal of Wildlife Diseases*. avril 2008. Vol. 44, n° 2, p. 417-426. DOI 10.7589/0090-3558-44.2.417.

BERNY, Philippe J., BURONFOSSE, Thierry, BURONFOSSE, Florence, LAMARQUE, François et LORGUE, Guy, 1997. Field evidence of secondary poisoning of foxes (*Vulpes vulpes*) and buzzards (*Buteo buteo*) by bromadiolone, a 4-year survey. In : *Chemosphere*. 1 octobre 1997. Vol. 35, n° 8, p. 1817-1829. DOI 10.1016/S0045-6535(97)00242-7.

BERNY, Philippe, VELARDO, Jordan, PULCE, Corine, D'AMICO, Andrea, KAMMERER, Martine et LASSEUR, Romain, 2010. Prevalence of anticoagulant

rodenticide poisoning in humans and animals in France and substances involved. In : *Clinical Toxicology*. 1 novembre 2010. Vol. 48, n° 9, p. 935-941. DOI 10.3109/15563650.2010.533678.

BERNY, Philippe, VILAGINES, Lydia, CUGNASSE, Jean-Marc, MASTAIN, Olivier, CHOLLET, Jean-Yves, JONCOUR, Guy et RAZIN, Martine, 2015. VIGILANCE POISON: Illegal poisoning and lead intoxication are the main factors affecting avian scavenger survival in the Pyrenees (France). In : *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1 août 2015. Vol. 118, p. 71-82. DOI 10.1016/j.ecoenv.2015.04.003.

BOURHY, P., PICARDEAU, M., SEPTFONS, A., TROMBERT, S. et CART-TANNEUR, E., 2017. Émergence de la leptospirose humaine en France métropolitaine ? Actualités sur la surveillance. In : *Médecine et Maladies Infectieuses*. 1 juin 2017. Vol. 47, n° 4, Supplement, p. S150. DOI 10.1016/j.medmal.2017.03.364.

BOYLE, C. Mary, 1960. Case of Apparent Resistance of *Rattus norvegicus* Berkenhout to Anticoagulant Poisons. In : *Nature*. novembre 1960. Vol. 188, n° 4749, p. 517-517. DOI 10.1038/188517a0.

COEURDASSIER, Michael, RIOLS, Romain, DECORS, Anouk, MIONNET, Aymeric, DAVID, Fabienne, QUINTAINE, Thomas, TRUCHETET, Denis, SCHEIFLER, Renaud et GIRAUDOUX, Patrick, 2014. Unintentional Wildlife Poisoning and Proposals for Sustainable Management of Rodents. In : *Conservation Biology*. 2014. Vol. 28, n° 2, p. 315-321. DOI 10.1111/cobi.12230.

COLAZO, R et CASTRO, Julia, 1997. Los roedores dañinos: Algunos aspectos del control químico y bacteriológico. In : *Rev Invest Pecuarías*. 1 janvier 1997. Vol. 8, p. 1-9.

COUVAL, Geoffroy, TRUCHETET, Denis, COEURDASSIER, Michaël, MICHELIN, Yves, JACQUOT, Marion, GIRAUDOUX, Patrick, BERNY, Philippe, DECORS, Anouk, MORLANS, Shantala, QUINTAINE, Thomas et RENAUDE, Régis, 2013. Pullulations de campagnol terrestre : quels enjeux ? In : *Phytoma*. 2013. n° 664, p. 29-32.

COX, Paula et SMITH, R. H., 1992. RODENTICIDE ECOTOXICOLOGY: PRE-LETHAL EFFECTS OF ANTICOAGULANTS ON RAT BEHAVIOUR. In : *Proceedings of the Fifteenth Vertebrate Pest Conference 1992* [en ligne]. 1 mars 1992. Disponible à l'adresse : <https://digitalcommons.unl.edu/vpc15/86>.

DAMIN-PERNIK, Marlène, ESPANA, Bernadette, LEFEBVRE, Sebastien, FOUREL, Isabelle, CARUEL, Hervé, BENOIT, Etienne et LATTARD, Virginie, 2017. Management of Rodent Populations by Anticoagulant Rodenticides: Toward Third-Generation Anticoagulant Rodenticides. In : *Drug Metabolism and Disposition*. 1 février 2017. Vol. 45, n° 2, p. 160-165. DOI 10.1124/dmd.116.073791.

DE REVEL, T et DOGHMI, K, 2004. Physiologie de l'hémostase. In : *EMC - Dentisterie*. 1 février 2004. Vol. 1, n° 1, p. 71-81. DOI 10.1016/j.emcden.2003.05.001.

DECORS, Anouk, LESAGE C. et MOINET M., 2013. *Bilan 2011 SAGIR*. 2013. S.l. : ONCFS.

DOHOO, I, MARTIN, Wayne et STRYHN, Henrik, 2007. *Veterinary epidemiologic research*. Prince Edward Island : AVC Inc. ISBN 978-0-919013-41-4.

DOWDING, Claire V., SHORE, Richard F., WORGAN, Andrew, BAKER, Philip J. et HARRIS, Stephen, 2010. Accumulation of anticoagulant rodenticides in a non-target insectivore, the European hedgehog (*Erinaceus europaeus*). In : *Environmental Pollution*. janvier 2010. Vol. 158, n° 1, p. 161-166. DOI 10.1016/j.envpol.2009.07.017.

DUFOUR, Barbara et HENDRICKX, Pascal, 2011. *Surveillance épidémiologique en santé animale: 3e édition*. S.l. : Editions Quae. ISBN 978-2-7592-0909-5.

EBPF, 2002. *Guideline on Best Practice in the Use of Rodenticides Baits as Biocides in the European Union*. 2002. S.l. : European Biocidal Products Forum.

ERICKSON, William, 2004. Office of Pesticides Programs Environmental Fate and Effects Division. In : . 2004. p. 230.

FERNANDEZ-DE-SIMON, Javier, COEURDASSIER, Michael, COUVAL, Geoffroy, FOUREL, Isabelle et GIRAUDOUX, Patrick, 2019. Do bromadiolone treatments to control grassland water voles (*Arvicola scherman*) affect small mustelid abundance? In : *Pest Management Science*. 2019. Vol. 75, n° 4, p. 900-907. DOI 10.1002/ps.5194.

FONTANET, Arnaud, 2007. Les enseignements du SRAS. In : *La Presse Médicale*. 1 février 2007. Vol. 36, n° 2, Part 2, p. 299-302. DOI 10.1016/j.lpm.2006.12.005.

FOUREL, Isabelle, DAMIN-PERNIK, Marlène, BENOIT, Etienne et LATTARD, Virginie, 2017. Cis-bromadiolone diastereoisomer is not involved in bromadiolone Red Kite (*Milvus milvus*) poisoning. In : *Science of The Total Environment*. 1 décembre 2017. Vol. 601-602, p. 1412-1417. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.06.011.

FOUREL, Isabelle, HUGNET, Christophe, GOY-THOLLOT, Isabelle et BERNY, Philippe, 2010. Validation of a New Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry Ion-Trap Technique for the Simultaneous Determination of Thirteen Anticoagulant Rodenticides, Drugs, or Natural Products. In : *Journal of Analytical Toxicology*. 1 mars 2010. Vol. 34, n° 2, p. 95-102. DOI 10.1093/jat/34.2.95.

FOUREL, Isabelle, SAGE, Mickaël, BENOIT, Etienne et LATTARD, Virginie, 2018. Liver and fecal samples suggest differential exposure of red fox (*Vulpes vulpes*) to trans- and cis-bromadiolone in areas from France treated with plant protection products. In : *Science of The Total Environment*. 1 mai 2018. Vol. 622-623, p. 924-929. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.12.053.

FOURNIER-CHAMBRILLON, C., BERNY, P. J., COIFFIER, O., BARBEDIEENNE, P., DASSE, B., DELAS, G., GALINEAU, H., MAZET, A., POUZENC, P., ROSOUX, R. et FOURNIER, P., 2004. Evidence of secondary poisoning of free-ranging riparian mustelids by anticoagulant rodenticides in France: Implications for conservation of European mink (*Mustela lutreola*). In : *Journal of Wildlife Diseases*. octobre 2004. Vol. 40, n° 4, p. 688-695. DOI 10.7589/0090-3558-40.4.688.

GABRIEL, Mourad W., WOODS, Leslie W., POPPENG, Robert, SWEITZER, Rick A., THOMPSON, Craig, MATTHEWS, Sean M., HIGLEY, J. Mark, KELLER, Stefan M., PURCELL, Kathryn, BARRETT, Reginald H., WENGERT, Greta M., SACKS, Benjamin N. et CLIFFORD, Deana L., 2012. Anticoagulant Rodenticides on our Public and Community Lands: Spatial Distribution of Exposure and Poisoning of a Rare Forest Carnivore. In : *PLOS ONE*. 13 juillet 2012. Vol. 7, n° 7, p. e40163. DOI 10.1371/journal.pone.0040163.

GEDUHN, Anke, ESTHER, Alexandra, SCHENKE, Detlef, MATTES, Hermann et JACOB, Jens, 2014. Spatial and temporal exposure patterns in non-target small mammals during brodifacoum rat control. In : *Science of The Total Environment*. 15 octobre 2014. Vol. 496, p. 328-338. DOI 10.1016/j.scitotenv.2014.07.049.

GEDUHN, Anke, JACOB, Jens, SCHENKE, Detlef, KELLER, Barbara, KLEINSCHMIDT, Sven et ESTHER, Alexandra, 2015. Relation between Intensity of Biocide Practice and Residues of Anticoagulant Rodenticides in Red Foxes (*Vulpes vulpes*). In : *Plos One*. 29 septembre 2015. Vol. 10, n° 9, p. e0139191. DOI 10.1371/journal.pone.0139191.

GELORMINI, Giuseppina, GAUTHIER, Dominique, VILEI, Edy M., CRAMPE, Jean-Paul, FREY, Joachim et RYSER-DEGIORGIS, Marie-Pierre, 2017. Infectious keratoconjunctivitis in wild Caprinae: merging field observations and molecular analyses sheds light on factors shaping outbreak dynamics. In : *BMC Veterinary Research*. 4 mars 2017. Vol. 13, n° 1, p. 67. DOI 10.1186/s12917-017-0972-0.

GENSBØL, Benny, 2005. *Guide des rapaces diurnes: Europe, Afrique du Nord et Moyen-Orient*. Paris : Delachaux et Niestlé. ISBN 978-2-603-01327-4.

GIRAUDOUX, Patrick et DELATTRE, Pierre, 2009. *Le campagnol terrestre: Prévention et contrôle des populations*. S.l. : Quae. ISBN 978-2-7592-1133-3.

GIRAUDOUX, Patrick, DELATTRE, Pierre, FOLTÊTE, Jean-Christophe, JOSSELIN, Didier, DEFAUT, Régis et TRUCHETET, Denis, 2002. Les "vagues voyageuses" du campagnol terrestre en Franche-Comté. In : *Images de Franche-Comté*. 2002. n° 25, p. 10-13.

GIRAUDOUX, Patrick, PRADIER, Bernard, DELATTRE, Pierre, DEBLAY, Sylvie, SALVI, Dominique et DEFAUT, Régis, 1995. Estimation of water vole abundance by using surface indices. In : *Acta Theriologica*. 15 février 1995. Vol. 40, p. 77-96. DOI 10.4098/AT.arch.95-9.

GOUBE, Anaïs, 2015. *Diagnostic post-mortem des intoxications chez les carnivores domestiques : intérêts et limites de l'autopsie. Etude de 23 cas d'intoxication* [en ligne]. other. S.l. : s.n. [Consulté le 23 septembre 2019]. Disponible à l'adresse : <http://oatao.univ-toulouse.fr/14505/>.

GROLLEAU, G., LORGUE, G. et NAHAS, K., 1989. Toxicité secondaire, en laboratoire, d'un rodenticide anticoagulant (bromadiolone) pour des prédateurs de rongeurs champêtres: buse variable (*Buteo buteo*) et hermine (*Mustela erminea*)1. In : *EPPO Bulletin*. 1989. Vol. 19, n° 4, p. 633-648. DOI 10.1111/j.1365-2338.1989.tb01153.x.

HARS, Jean, GARIN, Bruno, RICHOMME, Céline et PAYNE, Ariane, 2013. DE L'ÉRADICATION À LA RÉAPPARITION DES MALADIES INFECTIEUSES ANIMALES. LES DANGERS DE LA FAUNE SAUVAGE : CONTEXTE ET OUTILS DE GESTION. In : . 2013. p. 14.

HEROLDOVÁ, Marta, MICHALKO, Radek, SUCHOMEL, Josef et ZEJDA, Jan, 2018. Influence of no-tillage versus tillage system on common vole (*Microtus arvalis*) population density. In : *Pest Management Science*. 2018. Vol. 74, n° 6, p. 1346-1350. DOI 10.1002/ps.4809.

HODROGE, Ahmed, 2011. *Les mutations spontanées du gène Vkorc1 chez l'homme et le rat : réalité de la résistance* [en ligne]. S.l. : s.n. [Consulté le 22 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00866731>.

HORAK, Katherine E., FISHER, Penny M. et HOPKINS, Brian, 2018. Pharmacokinetics of Anticoagulant Rodenticides in Target and Non-target Organisms. In : VAN DEN BRINK, Nico W., ELLIOTT, John E., SHORE, Richard F. et RATTNER, Barnett A. (éd.), *Anticoagulant Rodenticides and Wildlife* [en ligne]. Cham : Springer International Publishing. Emerging Topics in Ecotoxicology. p. 87-108. [Consulté le 9 juin 2019]. ISBN 978-3-319-64377-9. Disponible à l'adresse : https://doi.org/10.1007/978-3-319-64377-9_4.

ISHIZUKA, Mayumi, TANIKAWA, Tsutomu, TANAKA, Kazuyuki D., HEEWON, Min, OKAJIMA, Fumie, SAKAMOTO, Kentaro Q. et FUJITA, Shoichi, 2008. Pesticide resistance in wild mammals - Mechanisms of anticoagulant resistance in wild rodents -. In : *The Journal of Toxicological Sciences*. 2008. Vol. 33, n° 3, p. 283-291. DOI 10.2131/jts.33.283.

JACOB, Jens, MANSON, Phil, BARFKNECHT, Ralf et FREDRICKS, Timothy, 2014. Common vole (*Microtus arvalis*) ecology and management: implications for risk assessment of plant protection products. In : *Pest Management Science*. 2014. Vol. 70, n° 6, p. 869-878. DOI 10.1002/ps.3695.

JACQUEL, Thomas, 2017. *Etat des lieux et analyse critique des techniques d'étude et de caractérisation de la résistance de Rattus sp. aux raticides antivitaminés K*. S.l. : VetAgro Sup.

JACQUOT, Emmanuelle et NATURE MIDI-PYRÉNÉES, 2011. *Atlas des mammifères sauvages de Midi-Pyrénées. 3, 3.* Toulouse : Nature Midi-Pyrénées. ISBN 979-10-91776-05-9.

JACQUOT, Marion, 2013. *Usage des rodenticides anticoagulants et conséquences en termes d'exposition et d'impact pour les populations de renard roux* [en ligne]. S.l. : s.n. [Consulté le 23 septembre 2019]. Disponible à l'adresse : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00917412>.

JACQUOT, Marion, COEURDASSIER, Michaël, COUVAL, Geoffroy, RENAUDE, Régis, PLEYDELL, David, TRUCHETET, Denis, RAOUL, Francis et GIRAUDOUX, Patrick, 2013. Using long-term monitoring of red fox populations to assess changes in rodent control practices. In : STEPHENS, Phil (éd.), *Journal of Applied Ecology*. décembre 2013. Vol. 50, n° 6, p. 1406-1414. DOI 10.1111/1365-2664.12151.

JAFFEUX, Henri, 2010. *La longue et passionnante histoire des parcs nationaux français*. Paris : Comité d'histoire du ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement. Pour mémoire.

JAREÑO, Daniel, VIÑUELA, Javier, LUQUE-LARENA, Juan José, ARROYO, Leticia, ARROYO, Beatriz et MOUGEOT, François, 2014. A comparison of methods for estimating common vole (*Microtus arvalis*) abundance in agricultural habitats. In : *Ecological Indicators*. 1 janvier 2014. Vol. 36, p. 111-119. DOI 10.1016/j.ecolind.2013.07.019.

JAREÑO, Daniel, VIÑUELA, Javier, LUQUE-LARENA, Juan José, ARROYO, Leticia, ARROYO, Beatriz et MOUGEOT, François, 2015. Factors associated with the colonization of agricultural areas by common voles *Microtus arvalis* in NW Spain. In : *Biological Invasions*. 1 août 2015. Vol. 17, n° 8, p. 2315-2327. DOI 10.1007/s10530-015-0877-4.

JOHNSEN, Kaja, DEVINEAU, Olivier et ANDREASSEN, Harry P., 2019. Phase- and season-dependent changes in social behaviour in cyclic vole populations. In : *BMC Ecology*. décembre 2019. Vol. 19, n° 1, p. 5. DOI 10.1186/s12898-019-0222-3.

LABUSCHAGNE, Lushka, SWANEPOEL, Lourens H, TAYLOR, Peter J, BELMAIN, Steven R et KEITH, Mark, 2016. Are avian predators effective biological control agents for rodent pest management in agricultural systems? In : *Biological Control*. 1 octobre 2016. Vol. 101, p. 94-102. DOI 10.1016/j.biocontrol.2016.07.003.

LE LOUARN, Henri et QUÉRÉ, Jean-Pierre, 2011. *Les rongeurs de France : Faunistique et biologie revue et augmentée Ed. 3* [en ligne]. S.l. : Editions Quae. [Consulté le 16 mai 2019]. ISBN 978-2-7592-1033-6. Disponible à l'adresse : <http://univ-toulouse.scholarvox.com/book/88805810>.

LE MOAL NOLWENN, 2008. *La surveillance sanitaire de la Faune sauvage dans le Parc National des Pyrénées: état des lieux et proposition d'un protocole*. S.l. : sn. N-2008-018

LEFEBVRE, Sebastien, FOUREL, Isabelle, QUEFFÉLEC, Stéphane, VODOVAR, Dominique, MEGARBANE, Bruno, BENOIT, Etienne, SIGURET, Virginie et LATTARD, Virginie, 2017. Poisoning by Anticoagulant Rodenticides in Humans and Animals: Causes and Consequences. In : *Poisoning - From Specific Toxic Agents to Novel Rapid and Simplified Techniques for Analysis* [en ligne]. S.l. : s.n. [Consulté le 21 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01668708>.

LEMUS, J. A., BRAVO, C., GARCÍA-MONTIJANO, M., PALACÍN, C., PONCE, C., MAGAÑA, M. et ALONSO, J. C., 2011. Side effects of rodent control on non-target species: Rodenticides increase parasite and pathogen burden in great bustards. In : *Science of The Total Environment*. 15 octobre 2011. Vol. 409, n° 22, p. 4729-4734. DOI 10.1016/j.scitotenv.2011.07.007.

LÓPEZ-PEREA, Jhon J., CAMARERO, Pablo R., MOLINA-LÓPEZ, Rafael A., PARPAL, Luis, OBÓN, Elena, SOLÁ, Jessica et MATEO, Rafael, 2015. Interspecific and geographical differences in anticoagulant rodenticide residues of predatory wildlife from the Mediterranean region of Spain. In : *Science of The Total Environment*. 1 avril 2015. Vol. 511, p. 259-267. DOI 10.1016/j.scitotenv.2014.12.042.

LÓPEZ-PEREA, Jhon J., CAMARERO, Pablo R., SÁNCHEZ-BARBUDO, Ines S. et MATEO, Rafael, 2019. Urbanization and cattle density are determinants in the exposure to anticoagulant rodenticides of non-target wildlife. In : *Environmental Pollution*. 1 janvier 2019. Vol. 244, p. 801-808. DOI 10.1016/j.envpol.2018.10.101.

LÓPEZ-PEREA, Jhon J. et MATEO, Rafael, 2018. Secondary Exposure to Anticoagulant Rodenticides and Effects on Predators. In : VAN DEN BRINK, Nico W., ELLIOTT, John E., SHORE, Richard F. et RATTNER, Barnett A. (éd.), *Anticoagulant Rodenticides and Wildlife* [en ligne]. Cham : Springer International Publishing. Emerging Topics in

Ecotoxicology. p. 159-193. [Consulté le 9 juin 2019]. ISBN 978-3-319-64377-9. Disponible à l'adresse : https://doi.org/10.1007/978-3-319-64377-9_7.

LPO MISSION RAPACES, [sans date]. *Cahier Technique Milan royal*. S.I. : LPO.

LUND, M., 1988. Rodent behaviour in relation to baiting techniques. In : *EPPO Bulletin*. 1988. Vol. 18, n° 2, p. 185-193. DOI 10.1111/j.1365-2338.1988.tb00365.x.

LUQUE-LARENA, Juan J., MOUGEOT, Francois, VIÑUELA, Javier, JAREÑO, Daniel, ARROYO, Leticia, LAMBIN, Xavier et ARROYO, Beatriz, 2013. Recent large-scale range expansion and outbreaks of the common vole (*Microtus arvalis*) in NW Spain. In : *Basic and Applied Ecology*. 1 août 2013. Vol. 14, n° 5, p. 432-441. DOI 10.1016/j.baae.2013.04.006.

MALLET, Guillaume, 2017. *Étude prospective et rétrospective des intoxications aux rodenticides anticoagulants chez le chien à l'aide des données du CNITV*. Thèse d'exercice. France : VetAgro Sup.

MARTÍNEZ-PADILLA, Jesús, LÓPEZ-IDIÁQUEZ, David, LÓPEZ-PEREA, Jhon J., MATEO, Rafael, PAZ, Alfonso et VIÑUELA, Javier, 2017. A negative association between bromadiolone exposure and nestling body condition in common kestrels: management implications for vole outbreaks. In : *Pest Management Science*. 2017. Vol. 73, n° 2, p. 364-370. DOI 10.1002/ps.4435.

MEHNDIRATTA, Sumit, SUNEJA, Amita, GUPTA, Bindiya et BHATT, Shuchi, 2010. Fetotoxicity of warfarin anticoagulation. In : *Archives of Gynecology and Obstetrics*. 1 septembre 2010. Vol. 282, n° 3, p. 335-337. DOI 10.1007/s00404-010-1369-5.

MEISER, Heribert, 2005. Detection of Anticoagulant Residues by a New HPLC Method in Specimens of Poisoned Animals and a Poison Control Case Study. In : *Journal of Analytical Toxicology*. 1 septembre 2005. Vol. 29, n° 6, p. 556-563. DOI 10.1093/jat/29.6.556.

MORGAN, Ashraf M., 2006. Teratogenic effect of the coumarinic anticoagulant rodenticide, racumin in white rats. In : . 2006.

NOBLET, Jean-François, 2002. *La martre des pins*. Saint-Yrieix-sur-Charente : Eveil Nature. ISBN 978-2-84000-040-2.

OIE, 2015. *Guidelines for Wildlife Disease Surveillance: an Overview*. février 2015. S.l. : World Organisation for Animal Health.

OMS, 2016. Relevé épidémiologique hebdomadaire. In : . 26 février 2016. Vol. 91, n° 8, p. 89-104.

ONCFS, 2016. *Vade-mecum des laboratoires départementaux d'analyses vétérinaires - Edition 2016 - Le diagnostic des maladies de la faune sauvage libre*. 2016. S.l. : Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage.

ONCFS, 2017. *Réseau SAGIR 2017, Surveillance sanitaire de la faune sauvage en France, Lettre SAGIR N°186*. 2017. S.l. : Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage.

PAZ, Alfonso, JAREÑO, Daniel, ARROYO, Leticia, VIÑUELA, Javier, ARROYO, Beatriz, MOUGEOT, François, LUQUE-LARENA, Juan José et FARGALLO, Juan Antonio, 2013. Avian predators as a biological control system of common vole (*Microtus arvalis*) populations in north-western Spain: experimental set-up and preliminary results. In : *Pest Management Science*. 2013. Vol. 69, n° 3, p. 444-450. DOI 10.1002/ps.3289.

PERROT, Elodie et GIRARDET, Xavier, 2017. Mesure agro-environnementales soutenir la lutte contre le campagnol terrestre à l'échelle du paysage. In : [en ligne]. juin 2017. [Consulté le 16 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <https://hal-clermont-univ.archives-ouvertes.fr/hal-01704663>.

PETIT, Eva, 2011. *Modélisation de données de surveillance épidémiologique de la faune sauvage en vue de la détection de problèmes sanitaires inhabituels*. Thèse de doctorat. 2009-2014, France : Université de Grenoble.

PNP, 2013. *Charte du Parc National des Pyrénées*. janvier 2013. S.l. : Parc National des Pyrénées.

PRAT-MAIRET, Yves, FOUREL, Isabelle, BARRAT, Jacques, SAGE, Mickaël, GIRAUDOUX, Patrick et COEURDASSIER, Michael, 2017. Non-invasive monitoring of red fox exposure to rodenticides from scats. In : *Ecological Indicators*. 1 janvier 2017. Vol. 72, p. 777-783. DOI 10.1016/j.ecolind.2016.08.058.

R CORE TEAM, 2019. *R : A language and environment for statistical computing* [en ligne]. 2019. S.l. : R Foundation for Statistical Computing. Disponible à l'adresse : <https://www.R-project.org/>.

RADCHUK, Viktoriia, IMS, Rolf A. et ANDREASSEN, Harry P., 2016. From individuals to population cycles: the role of extrinsic and intrinsic factors in rodent populations. In : *Ecology*. 2016. Vol. 97, n° 3, p. 720-732. DOI 10.1890/15-0756.1.

RAKOTOMALALA, Ricco, 2015. Pratique de la Régression Logistique. In : . 2015. p. 272.

RAOUL, Francis, DEPLAZES, Peter, RIEFFEL, Dominique, LAMBERT, Jean-Claude et GIRAUDOUX, Patrick, 2010. Predator dietary response to prey density variation and consequences for cestode transmission. In : *Oecologia*. 1 septembre 2010. Vol. 164, n° 1, p. 129-139. DOI 10.1007/s00442-010-1647-8.

RATTNER, Barnett A., HORAK, Katherine E., LAZARUS, Rebecca S., GOLDADE, David A. et JOHNSTON, John J., 2014. Toxicokinetics and coagulopathy threshold of the rodenticide diphacinone in eastern screech-owls (*Megascops asio*): Diphacinone and eastern screech-owls. In : *Environmental Toxicology and Chemistry*. janvier 2014. Vol. 33, n° 1, p. 74-81. DOI 10.1002/etc.2390.

RATTNER, Barnett A., HORAK, Katherine E., WARNER, Sarah E., DAY, Daniel D., METEYER, Carol U., VOLKER, Steven F., EISEMANN, John D. et JOHNSTON, John J., 2011. Acute toxicity, histopathology, and coagulopathy in American kestrels (*Falco sparverius*) following administration of the rodenticide diphacinone. In : *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2011. Vol. 30, n° 5, p. 1213-1222. DOI 10.1002/etc.490.

RATTNER, Barnett A., LAZARUS, Rebecca S., ELLIOTT, John E., SHORE, Richard F. et VAN DEN BRINK, Nico, 2014. Adverse Outcome Pathway and Risks of Anticoagulant Rodenticides to Predatory Wildlife. In : *Environmental Science & Technology*. 5 août 2014. Vol. 48, n° 15, p. 8433-8445. DOI 10.1021/es501740n.

RAZIN, Martine et ARROYO, Beatriz, 2017. Gypaète barbu - Causes d'échec de reproduction. In : . 2017. n° RAPACES de France n°18, p. 42-43.

ROCH, Marilène, 2008. *Intoxications par les rodenticides anticoagulants chez les animaux: synthèse bibliographique et réalisation d'un guide vétérinaire sur la prise en charge des*

animaux intoxiqués par les anticoagulants, à l'usage des professions médicales. Thèse d'exercice. Lyon, France : École nationale vétérinaire.

ROSSI, Stéphanie, 2004. *Contribution à l'étude de la toxicité des anticoagulants rodenticides chez les ruminants*. Thèse d'exercice. Lyon, France : Université Claude Bernard.

RUIZ-SUÁREZ, Norberto, HENRÍQUEZ-HERNÁNDEZ, Luis A., VALERÓN, Pilar F., BOADA, Luis D., ZUMBADO, Manuel, CAMACHO, María, ALMEIDA-GONZÁLEZ, Maira et LUZARDO, Octavio P., 2014. Assessment of anticoagulant rodenticide exposure in six raptor species from the Canary Islands (Spain). In : *Science of The Total Environment*. 1 juillet 2014. Vol. 485-486, p. 371-376. DOI 10.1016/j.scitotenv.2014.03.094.

RUYS, T., STEINMETZ, J. et ARTHUR, C.-P., 2014. *Atlas des Mammifères sauvages d'Aquitaine - Tome 5 - Les Carnivores*. 2014. S.l. : C. Nature. Cistude Nature & LPO Aquitaine

SABATIER, Michelle, MERVEILLEUX DU VIGNAUX, Pierre et JAFFEUX, Henri, 2010. *Pionniers, aux origines des Parcs nationaux : un album de famille*. Montpellier : Parcs nationaux de France.

SAGE, Mickaël, 2007. How environment and vole behaviour may impact rodenticide bromadiolone persistence in wheat baits after field controls of *Arvicola terrestris*? - ScienceDirect. In : [en ligne]. 2007. [Consulté le 16 mai 2019]. DOI 10.1016/j.envpol.2006.09.019. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749106006002>.

SAGE, Mickaël, 2008. *Transfert de bromadiolone (appâts/sols – campagnols de prairie – renards) : Etude environnementale de la persistance et mesure indirecte de l'exposition* [en ligne]. S.l. : s.n. [Consulté le 19 septembre 2019]. Disponible à l'adresse : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00404261>.

SAGE, Mickaël, CŒURDASSIER, Michaël, DEFAUT, Régis, GIMBERT, Frédéric, BERNY, Philippe et GIRAUDOUX, Patrick, 2008. Kinetics of bromadiolone in rodent populations and implications for predators after field control of the water vole, *Arvicola terrestris*. In : *Science of The Total Environment*. 15 décembre 2008. Vol. 407, n° 1, p. 211-222. DOI 10.1016/j.scitotenv.2008.09.003.

SAGE, Mickaël, FOUREL, Isabelle, CŒURDASSIER, Michaël, BARRAT, Jacques, BERNY, Philippe et GIRAUDOUX, Patrick, 2010. Determination of bromadiolone residues in fox faeces by LC/ESI-MS in relationship with toxicological data and clinical signs after repeated exposure. In : *Environmental Research*. 1 octobre 2010. Vol. 110, n° 7, p. 664-674. DOI 10.1016/j.envres.2010.07.009.

SÁNCHEZ-BARBUDO, Inés S., CAMARERO, Pablo R. et MATEO, Rafael, 2012. Primary and secondary poisoning by anticoagulant rodenticides of non-target animals in Spain. In : *Science of The Total Environment*. 15 mars 2012. Vol. 420, p. 280-288. DOI 10.1016/j.scitotenv.2012.01.028.

SANTOS, Sara M., CARVALHO, Filipe et MIRA, António, 2011. How Long Do the Dead Survive on the Road? Carcass Persistence Probability and Implications for Road-Kill Monitoring Surveys. In : *PLOS ONE*. 27 septembre 2011. Vol. 6, n° 9, p. e25383. DOI 10.1371/journal.pone.0025383.

SARABIA, Jaime, SÁNCHEZ-BARBUDO, Inés, SIQUEIRA, Walbens, MATEO, Rafael, ROLLÁN, Eduardo et PIZARRO, Manuel, 2008. Lesions Associated with the Plexus Venosus Subcutaneus Collaris of Pigeons with Chlorophacinone Toxicosis. In : *Avian Diseases*. 1 septembre 2008. Vol. 52, n° 3, p. 540-543. DOI 10.1637/8251-020508-Case.1.

SIGURET, Virginie, 2006. Vitamine K : métabolisme, éléments de physiopathologie, implication dans la variabilité inter- et intra-individuelle de la réponse au traitement par les antivitamines K. In : *Hématologie*. 1 novembre 2006. Vol. 12, n° 6, p. 389-399. DOI 10.1684/hma.2006.0081.

SINGLETON, Grant R. (éd.), 2010. *Rodent outbreaks: ecology and impacts*. Metro Manila, Philippines : IRRI, International Rice Research Institute. ISBN 978-971-22-0257-5.

STAFFORD, D. W., 2005. The vitamin K cycle. In : *Journal of thrombosis and haemostasis: JTH*. août 2005. Vol. 3, n° 8, p. 1873-1878. DOI 10.1111/j.1538-7836.2005.01419.x.

THOMAS, Philippe J., MINEAU, Pierre, SHORE, Richard F., CHAMPOUX, Louise, MARTIN, Pamela A., WILSON, Laurie K., FITZGERALD, Guy et ELLIOTT, John E., 2011. Second generation anticoagulant rodenticides in predatory birds: Probabilistic characterisation of toxic liver concentrations and implications for predatory bird populations

in Canada. In : *Environment International*. 1 juillet 2011. Vol. 37, n° 5, p. 914-920. DOI 10.1016/j.envint.2011.03.010.

VALLET, Marion, 2017. *Le suivi sanitaire de la faune sauvage: 40 ans d'analyses dans le parc national de la Vanoise*. Thèse d'exercice. France : VetAgro Sup.

VANDENBROUCKE, V., BOUSQUET-MELOU, A., BACKER, P. De et CROUBELS, S., 2008. Pharmacokinetics of eight anticoagulant rodenticides in mice after single oral administration. In : *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*. 2008. Vol. 31, n° 5, p. 437-445. DOI 10.1111/j.1365-2885.2008.00979.x.

Annexes

Annexe 1 : Catégorisation des espèces en fonction des objectifs recherchés d'après le protocole de veille sanitaire du PNP

Catégories	Objectifs de la surveillance	Espèces concernées
Catégorie 1	Espèces emblématiques : Connaitre les causes de la mort, le statut sanitaire ou la génétique pour la conservation de l'espèce	<ul style="list-style-type: none"> - Ours brun (<i>Ursus arctos</i>) - Gypaète barbu (<i>Gypaetus barbatus</i>) - Vautour percnoptère (<i>Neophron percnopterus</i>) - Milan royal (<i>Milvus milvus</i>) - Grand tétras (<i>Tetrao urogallus</i>) - Aigle royal (<i>Aquila chrysaetos</i>) - Desman des Pyrénées (<i>Galemys pyrenaicus</i>) - Musaraigne aquatique (<i>Neomys fodiens</i>) - Crossope de Miller (<i>Neomys anomalus</i>) - Loutre d'Europe (<i>Lutra lutra</i>) - Chat forestier (<i>Felis sylvestris</i>) - Genette (<i>Genetta genetta</i>) - Vison d'Europe (<i>Mustela lutreola</i>) - Lagopède alpin (<i>Lagopus mutus</i>)
Catégorie 2	Connaitre l'impact du statut sanitaire sur la dynamique des populations, les interactions avec la faune domestique et l'impact d'activités humaines	<ul style="list-style-type: none"> - Isard (<i>Rupicapra pyrenaica</i>) - Marmotte alpine (<i>Marmotta marmotta</i>) - Crave à bec rouge (<i>Pyrrhocorax pyrrhocorax</i>) - Chocard à bec jaune (<i>Pyrrhocorax graculus</i>) - Perdrix grise de montagne (<i>Perdix perdix hispaniensis</i>) - Vautour fauve (<i>Gyps fulvus</i>) - toutes les autres espèces de Rapaces - Sanglier (<i>Sus scrofa</i>) - Renard roux (<i>Vulpes vulpes</i>) - Vison d'Amérique (<i>Mustela vison</i>) - Putois (<i>Mustela putorius</i>) - Blaireau (<i>Meles meles</i>) - Fouine (<i>Martes foina</i>) - Martre (<i>Martes martes</i>) - Chiroptères - Autres Ongulés sauvages - Lagomorphes
Catégorie 3	Espèces récupérés seulement en cas de mortalité massive.	<ul style="list-style-type: none"> - Reptiles - Amphibiens - Autres espèces d'oiseaux, des micromammifères - Poissons

Annexe 2 : Exemple d'une fiche de renseignements à remplir lors de la découverte d'un cadavre de mammifère

Laboratoires des Pyrénées et des Landes	FICHE DE DEMANDE D'ANALYSE DE LA faune sauvage (mammifères et AUTRES)
Parc national des Pyrénées	

Réception (cadre réservé au laboratoire)	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Date et heure d'arrivée :..... ➤ Mode d'acheminement au Laboratoire : ➤ Réceptionné par : (Nom ou initiales) :..... ➤ État de l'échantillon à réception (anomalies constatées) ➤ Mode de conservation au labo :..... 	<p style="text-align: center;">Numéro de dossier :</p> <div style="border: 1px solid black; height: 25px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: center;">Visa du réceptionnaire :</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>
COMMÉMORATIFS	N° unique terrain :.....
Découvreur : Nom et prénom :	➤ Organisme - Secteur :
➤ Espèce :	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sexe : mâle <input type="checkbox"/> femelle <input type="checkbox"/> indéterminé <input type="checkbox"/> ➤ Age présumé (1) <li style="text-align: center;">Critères utilisés :
➤ Date de découverte : .. / .. / 20 àh	<input type="checkbox"/> Vivant ; état : capture <input type="checkbox"/> malade <input type="checkbox"/> blessé <input type="checkbox"/> .

	<input type="checkbox"/> Mort : date présumée de la mort : . / . / 20
<p>➤ Lieu de découverte de l'échantillon : commune – lieu-dit – altitude – coordonnées) (notat : pour les agents du PNP : la découverte de l'animal mort/blessé est à saisir sous « Contact faune » ce qui permet de récupérer les coordonnées en Lambert III)</p> <p>.....</p>	
<p>➤ Mode de sacrifice (le cas échéant) : date :</p>	
<p>➤ Symptômes constatés sur l'animal avant sa mort, signes relevés sur le cadavre :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	
<p>Est-ce le seul cadavre trouvé sur le site : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>➤ Observations sur les autres animaux du même site :</p>	
<p>➤ Description du milieu, du site (type de milieu : forêt, lande, pelouse, éboulis, route, champ cultivé, prairie fauchée, prairie pâturée, ...) :</p> <p>➤ Proximité d'une aire connue :</p> <p>➤ Oiseau retrouvé dans l'eau :</p> <p>➤ Proximité usines ou autres sources polluantes :</p> <p>➤ Bord route : Proximité décharge :</p> <p>➤ Présence pylônes électriques à proximité :</p> <p>➤ Présence câbles à proximité : électriques : Remontée : Téléphoniques :</p>	
<p>➤ Causes présumées de la mort :</p>	

PRELEVEMENT	
<p style="text-align: center;">(si acheminement direct au labo)</p> <p>➤ Cadavre entier <input type="checkbox"/></p> <p>➤ et/ou prélèvements : <input type="checkbox"/> <i>cochez :</i></p> <p><input type="radio"/> sang tube sec <input type="radio"/> sang tube anticoag</p> <p><input type="radio"/> écouvillons <input type="radio"/> crottes</p> <p><input type="radio"/> autres :</p>	<p style="text-align: center;">ORGANES</p> <p style="text-align: center;">(si autopsie réalisée avant envoi labo) :</p> <p>Auteur :</p> <p>Date :</p> <p>Organes prélevés : *.....</p> <p>*</p> <p>*</p> <p>*</p>
<p>Mode de conservation : <input type="checkbox"/> T ambiante <input type="checkbox"/> mise au frais <input type="checkbox"/> Mise en congélation :</p> <p style="text-align: right; margin-right: 100px;">date : heure :</p>	
<p>Date et heure d'envoi au laboratoire :</p>	
<p>➤ Analyses demandées :</p> <p>.....</p> <p>➤ Examens complémentaires à l'initiative du laboratoire : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/></p> <p>➤ Lesquels :</p>	

COMMENTAIRES
<p>Report ici de toutes remarques concernant soit la découverte et les circonstances, soit lors de l'autopsie ou autres précisions lors de l'analyse :</p>

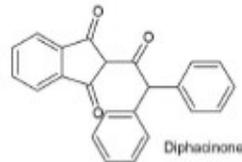
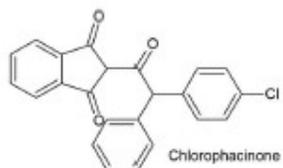
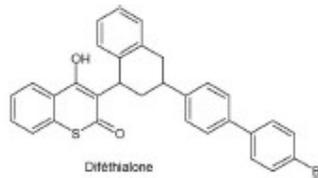
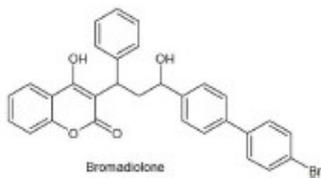
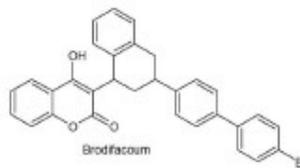
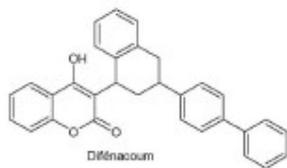
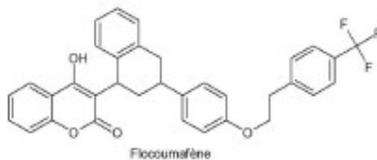
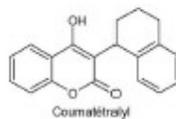
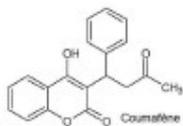
Annexe 3 : Principales zoonoses transmises par les rongeurs (Roch, 2008)

<i>Types de zoonose</i>	<i>Exemples</i>
Zoonoses bactériennes	<ul style="list-style-type: none"> - leptospirose - peste - campylobactériose - listériose - pasteurellose - yersiniose - salmonellose - sodoku (<i>Spirillum morsus muris</i>) - septicémie à <i>Streptobacillus moniliformis</i> - tularémie - bordetellose
Zoonoses virales	<ul style="list-style-type: none"> - rage - chorioméningite lymphocytaire - fièvre hémorragique avec syndrome rénal - encéphalite d'Europe centrale
Zoonoses parasitaires	<ul style="list-style-type: none"> - gale (<i>Sarcoptoïdea</i>) - hyménolépidoses - cryptosporidiose - pneumocytose - giardiose - strongyloïdose - échinococcose
	Rickettsioses
	<ul style="list-style-type: none"> - typhus murin - fièvre boutonneuse - fièvre Q - fièvre varicelliforme
	Protozoonoses
	<ul style="list-style-type: none"> - leishmaniose - toxoplasmose - babésioses
Zoonoses mycosiques	<ul style="list-style-type: none"> - teigne - cryptococcose - candidose

Annexe 4 : Classification française des anticoagulants (Roch, 2008)

Génération	1 ^{ère} génération	2 ^{ème} génération	3 ^{ème} génération
Molécules	Coumafène Coumatétralyl Clorophacinone Diphacinone	Bromadiolone Difénacoum	Brodifacoum Diféthialone Flocoumafène
Durée de persistance	7 à 15 jours	15 à 21 jours	Plus de 3 semaines

Annexe 5 : Structure de différents anti-vitamines K (BARBIER SAINT HILAIRE, 2012)

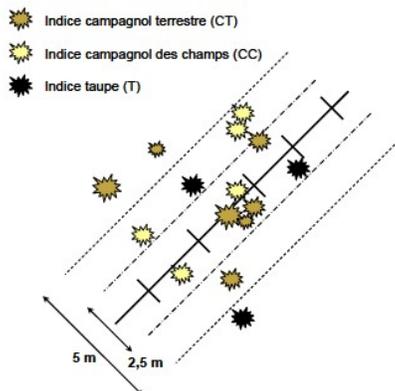


Annexe 6 : Méthode de comptage des densités d'indices récents de présence



METHODE DE COMPTAGE PAR LA TECHNIQUE DE LA DIAGNOLE INDICIAIRE

Méthode de comptage par la technique de la diagonale indiciaire (ou transect)



Sur la fiche de notation, noter « 1 » en cas de présence d'indices et « 0 » en cas d'absence.
Pour évaluer le pourcentage d'infestation :

$$\frac{\sum \text{des intervalles notés « 1 »}}{\sum \text{des intervalles totaux}} \times 100 = \text{pourcentage d'infestation de la parcelle}$$

Campagnol Terrestre et Taupe

Objectif : Mesurer en pourcentage une densité de campagnols terrestres

Échelle : Parcellaire

Méthode : Visuelle, parcourir la plus grande diagonale traversant la parcelle en notant dans chaque intervalle de 5 mètres, la présence d'indices de campagnols terrestres, de campagnols des champs et de taupes sur une largeur de 5 mètres soit 2,5 mètres de part et d'autre de la diagonale. La diagonale choisie sera identifiée au moyen d'un GPS afin de la reproduire pour les notations suivantes.

Campagnol Des Champs

Objectif : Mesurer en pourcentage une densité de campagnols des champs

Échelle : Parcellaire

Méthode : Visuelle, parcourir la plus grande diagonale traversant la parcelle en notant dans chaque intervalle de 5 mètres, la présence d'indices de campagnols terrestres, de campagnols des champs et de taupes sur une largeur de 2.5 mètres soit 1.25 mètres de part et d'autre de la diagonale. La diagonale choisie sera identifiée au moyen d'un GPS afin de la reproduire pour les notations suivantes.

Annexe 7 : Avis de traitement à la bromadiolone contre les campagnols (Arrêté du 14 mai 2014, Annexe V)

**AVIS DE TRAITEMENT À LA BROMADIOLONE
CONTRE LES CAMPAGNOLS**

Région (ou département)
.....

Je soussigné, M., représentant l'organisme à vocation sanitaire reconnu pour le domaine végétal dans la région (ou section départementale de l'organisme à vocation sanitaire reconnu pour le domaine végétal dans la région), informe en application de l'article 17 de l'arrêté ministériel du 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols nuisibles aux cultures ainsi qu'aux conditions d'emploi des produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone, qu'une campagne de lutte précoce collective est entreprise sur la ou les communes de (1) :

du au (sur mois maximum).

1. Diffusion

Cet avis doit parvenir trois jours ouvrés au moins avant la date de début des opérations de traitement à :

La DRAAF/SRAL de	La fédération départementale des chasseurs
La DREAL de	Le service départemental de l'ONCFS de
La DDT(M) de	Le conseil départemental de la chasse et de la faune sauvage
La (les) mairie(s) de	

Cet avis est affiché dans les mairies concernées au moins quarante-huit heures avant le début des opérations.

2. Conditions d'application

Au cours des traitements, en application de l'article 10 de l'arrêté ministériel, les appâts empoisonnés ne seront jamais déposés sur le sol mais systématiquement enfouis de façon à limiter au maximum les risques de consommation par certaines espèces non visées par les traitements.

3. Précautions particulières

Ne pas toucher aux appâts ni aux animaux morts ou mourants.
Ne pas laisser les animaux domestiques divaguer dans les zones concernées pendant la durée du traitement et les deux semaines suivantes, afin de prévenir le risque d'intoxication lié à la consommation d'appâts ou de rongeurs empoisonnés. L'antidote de la bromadiolone est la vitamine K1.
Éviter, par précaution, de consommer le foie des sangliers provenant des secteurs traités, conformément à l'avis de l'AFSSA du 25 juillet 2001, qui indique que, dans les conditions normales d'emploi de la bromadiolone, le risque sanitaire pour l'homme est faible.
Se laver les mains en cas de contact accidentel avec un animal mort ou avec des appâts.

4. Signalement des problèmes éventuels

Signaler tout problème à la mairie et à l'organisme à vocation sanitaire reconnu dans la région :
Adresse :
Téléphone :
Adresse e-mail :

5. Responsabilités

Chaque exploitant agricole ou, à défaut, le prestataire du traitement ou le propriétaire des parcelles est tenu d'informer l'organisme à vocation sanitaire de tout avis de traitement et est responsable de la qualité du traitement appliqué sur ses parcelles. Il est tenu de se conformer aux dispositions de l'arrêté ministériel susvisé ainsi qu'aux dispositions préfectorales, le cas échéant, en vigueur.

L'ensemble des opérations est effectué sous la responsabilité de l'organisme à vocation sanitaire reconnu dans la région pour le domaine végétal et soumis au contrôle de la DRAAF (direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt).

Le représentant de l'organisme à vocation sanitaire de la région pour le domaine végétal

(1) Faire une déclaration par parcelle ou par lieu-dit où ont été retrouvés les cadavres.

Annexe 8 : Fiche d'enregistrements des traitements contre le Campagnol terrestre

	Lutte raisonnée contre le campagnol terrestre FICHE D'ENREGISTREMENT DES TRAITEMENTS	Création : 19/12/2017 Validée par PTM le :
	la FREDON est agréée pour la distribution de produits phytosanitaires par la DRAAF Occitanie sous le numéro d'immatriculation 3400010	19/12/2017 Mise à jour : Version : 1 Diffusion : agriculteurs

SYNTHESE DES TRAITEMENTS CHIMIQUES - 2019

Nom / Prénom ou raison sociale :

Commune :

Date de traitement	Commune	Nom ou N° de parcelle ou d'ilot	Résultat comptage diagonale indiciaire (%)	Surface parcelle (ha)	Quantité d'appâts à la parcelle (kg)	Quantité d'appâts à l'ha (kg)	Autres méthodes de lutte utilisée sur la parcelle (piégeage, perchoir à rapaces, fauche des retus, lutte systématique contre la taupe ...)

Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles Occitanie
 10 chemin de la plaine, 31990 JUUVIGNAC - tél. : 04 67 75 64 46
 fredon@fredonoccitanie.com
 N° SIRET : 395 095 367 00037

Annexe 9 : Fiche de déclaration de mortalité accidentelle de faune non cible liée à l'utilisation de bromadiolone (Arrêté du 14 mai 2014, Annexe VI)

FICHE DE DÉCLARATION DE MORTALITÉ ACCIDENTELLE DE FAUNE NON CIBLE LIÉE À L'UTILISATION DE LA BROMADIOLONE

Je soussigné, (nom, prénom)
 demeurant (adresse)
 déclare, en application de l'article 12 de l'arrêté ministériel du 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols nuisibles aux cultures ainsi qu'aux conditions d'emploi de produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone, la découverte d'animaux non cibles susceptibles d'avoir été empoisonnés par de la bromadiolone :

Date du constat :

Espèce(s) retrouvée(s) :

Nombre de spécimens par espèce :

Commune :

Lieudit (1) :

Dénomination et référence cadastrale de la parcelle (1) :

Diffusion :

Cette déclaration doit être envoyée à la DRAAF/SRAL, à la DREAL et au réseau SAGIR dans les vingt-quatre heures qui suivent l'observation de mortalité.

Précautions particulières liées à la manipulation de cadavre de faune non cible :

Ne pas toucher aux animaux faisant l'objet de la déclaration.

(1) Faire une déclaration par parcelle ou par lieudit où ont été retrouvés les cadavres.

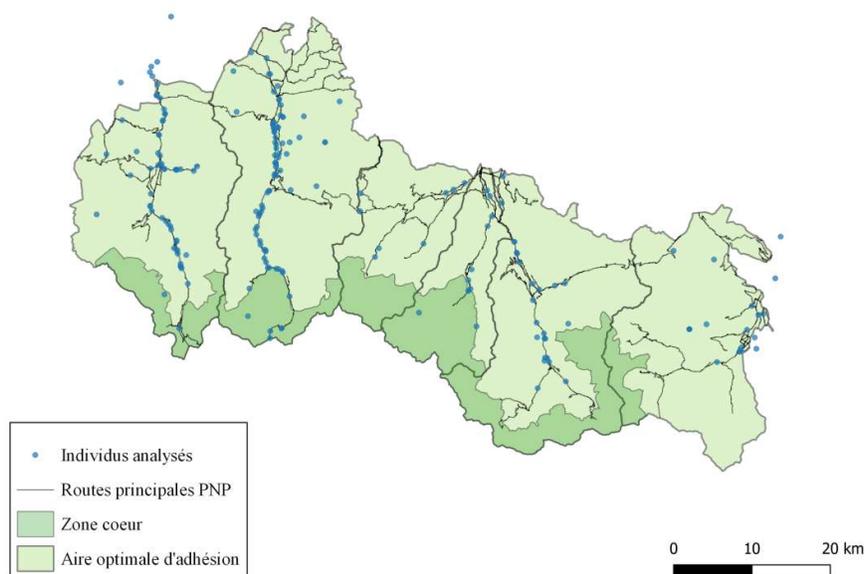
Annexe 10 : Paramètres pharmacocinétiques hépatiques des diastéréoisomères (cis et trans) de différents anticoagulants chez des rats suite à une administration orale unique d'une dose de 3 mg/kg (Damin-Pernik et al., 2017)

Molecule	AUC	$t_{1/2}$ (95% Confidence Interval)	
	$\mu\text{g}\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$	hour	
DFC <i>cis</i> -isomers	709.4 ± 206.10 ^a	78.33 (64.66–99.33)	<i>P</i> = 0.0044
DFC <i>trans</i> -isomers	236.8 ± 87.37 ^a	24.18 (14.67–68.56)	<i>P</i> = 0.0044
BDF <i>cis</i> -isomers	4827 ± 830.40 ^a	120.82 (110.74–732.89)	<i>P</i> < 0.0001
BDF <i>trans</i> -isomers	1665 ± 242.80 ^a	68.73 (57.28–85.84)	<i>P</i> < 0.0001
FLO <i>cis</i> -isomers	1247 ± 176.00	76.73 (60.48–104.91)	<i>P</i> < 0.0001
FLO <i>trans</i> -isomers	2713 ± 446.00	177.45 (145.13–228.31)	<i>P</i> < 0.0001
BDL <i>cis</i> -isomers	822.7 ± 131.40 ^a	26.89 (19.65–42.55)	<i>P</i> < 0.0001
BDL <i>trans</i> -isomers	2733 ± 379.90 ^a	75.62 (64.72–90.96)	<i>P</i> < 0.0001
DFT <i>cis</i> -isomers	2410 ± 308.00 ^a	71.60 (44.52–61.78)	<i>P</i> = 0.0310
DFT <i>trans</i> -isomers	1894 ± 459.00 ^a	52.93 (46.36–61.67)	<i>P</i> = 0.0310

BDF, brodifacoum; BDL, bromadiolone; DFC, difenacoum; DFT, difethialone; FLO, flocoumafen.

^aDenotes a significant difference between two groups (AUC of *cis*- or *trans*-isomers in isolated administration) with $\alpha < 0.05$ by using a Mann-Whitney test.

Annexe 11 : Lieux de découverte de l'ensemble des cadavres analysés pour les anticoagulants



Annexe 12 : Domaines vitaux des espèces non semi-aquatiques

Espèce	Données issues de la littérature ou avis d'expert	Domaine vital moyen considéré dans l'étude
Renard roux	<p>Domaine vital variable en fonction du milieu utilisé (Ruys et al., 2014) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Milieu naturel : 30 à 200 Ha - Milieu urbain : 10 à 40 Ha 	<ul style="list-style-type: none"> - En milieu naturel : 115 Ha - En milieu urbain : 25 Ha
Chat forestier	<ul style="list-style-type: none"> - Mâle adulte : 175 à 600 Ha - Femelle adulte : moins de 200 Ha - Individu subadulte : moins de 100 Ha <p>(Ruys et al., 2014)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mâle adulte : 387.5 Ha - Femelle adulte : 200 Ha - Individu subadulte : 100 Ha
Genette commune	<p>Domaines vitaux allant de 0.7 à 14.7 km² (Ruys et al., 2014)</p>	<p>7.7 km² en moyenne, soit 770 Ha</p>
Fouine	<p>60 à 360 Ha selon l'âge, le sexe et la saison (Jacquot, Nature Midi-Pyrénées, 2011)</p>	<p>210 Ha en moyenne</p>
Martre des pins	<ul style="list-style-type: none"> - Mâle : 600 à 1000 Ha - Femelle : 250 à 450 Ha <p>(Noblet, 2002)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mâle : 800 Ha - Femelle : 350 Ha
Belette d'Europe	<ul style="list-style-type: none"> - Mâle : 9 à 25 Ha - Femelle : 1 à 7 Ha <p>(Ruys et al., 2014 ; Jacquot, Nature Midi-Pyrénées, 2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mâle : 17 Ha - Femelle : 4 Ha
Putois d'Europe	<p>En été :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mâle : 15 à 30 Ha - Femelles : 8 à 15 Ha <p>Hiver : jusqu'à 50-90 Ha (Jacquot, Nature Midi-Pyrénées, 2011)</p>	<p>La moyenne a été calculée sur l'année totale, à partir des valeurs moyennes connues en été et en hiver.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mâle : 46 Ha - Femelle : 41 Ha
Blaireau européen	<p>La taille du domaine vital varie de 100 à 450 Ha (Jacquot, Nature Midi-Pyrénées, 2011).</p>	<p>275 Ha en moyenne</p>
Buse variable	<p>Les Buses variables semblent se déplacer dans une zone de 1000m de rayon pour trouver leur nourriture, soit 314 Ha (Austin et al., 1996).</p>	<p>314 Ha</p>

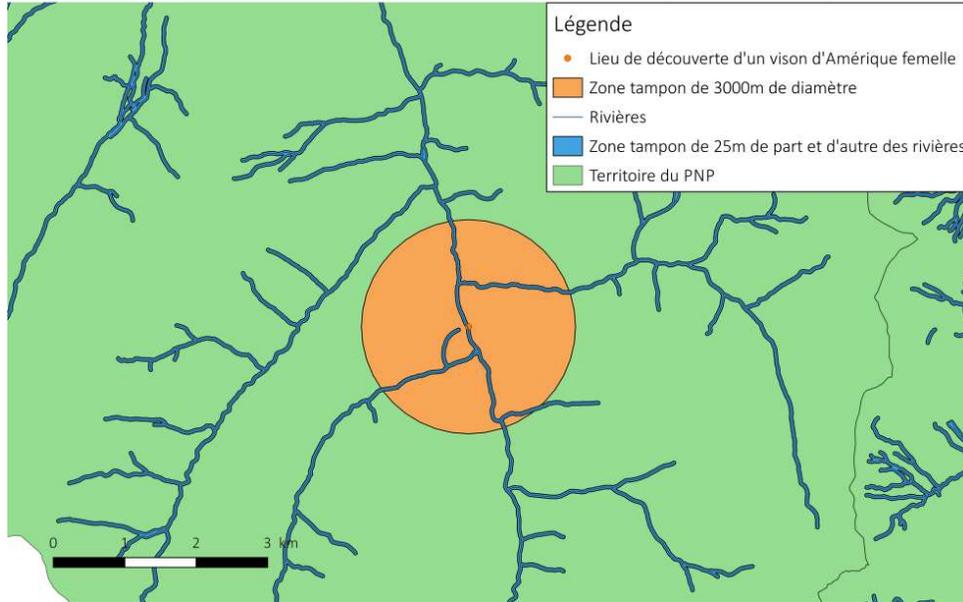
Milan royal	Le domaine vital moyen des milans royaux en France est d'environ 10 km ² (LPO Mission Rapaces, [sans date]) mais il peut descendre à 4 km ² dans les Pyrénées selon un expert.	Le domaine vital moyen retenu est donc de 7 km ² , soit 700 Ha.
-------------	--	--

Annexe 13 : Domaines vitaux des espèces semi-aquatiques étudiées

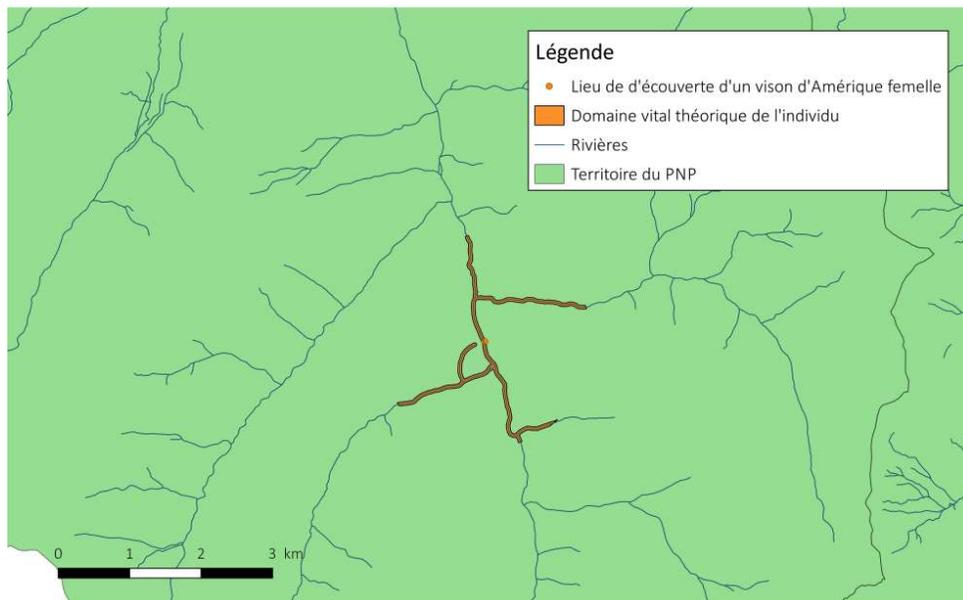
Espèce	Données issues de la littérature ou avis d'expert
Loutre d'Europe	Les domaines vitaux sont linéaires le long des cours d'eau : - Mâle : 40 km de cours d'eau - Femelle : 20 km de cours d'eau (Ruys et al., 2014)
Vison d'Amérique	Les domaines vitaux varient de - 3 km le long des cours d'eau pour les femelles et - 6 km pour les mâles (Jacquot, Nature Midi-Pyrénées, 2011)

Annexe 14 : Illustration de la méthode de définition des domaines vitaux pour les espèces semi-aquatiques

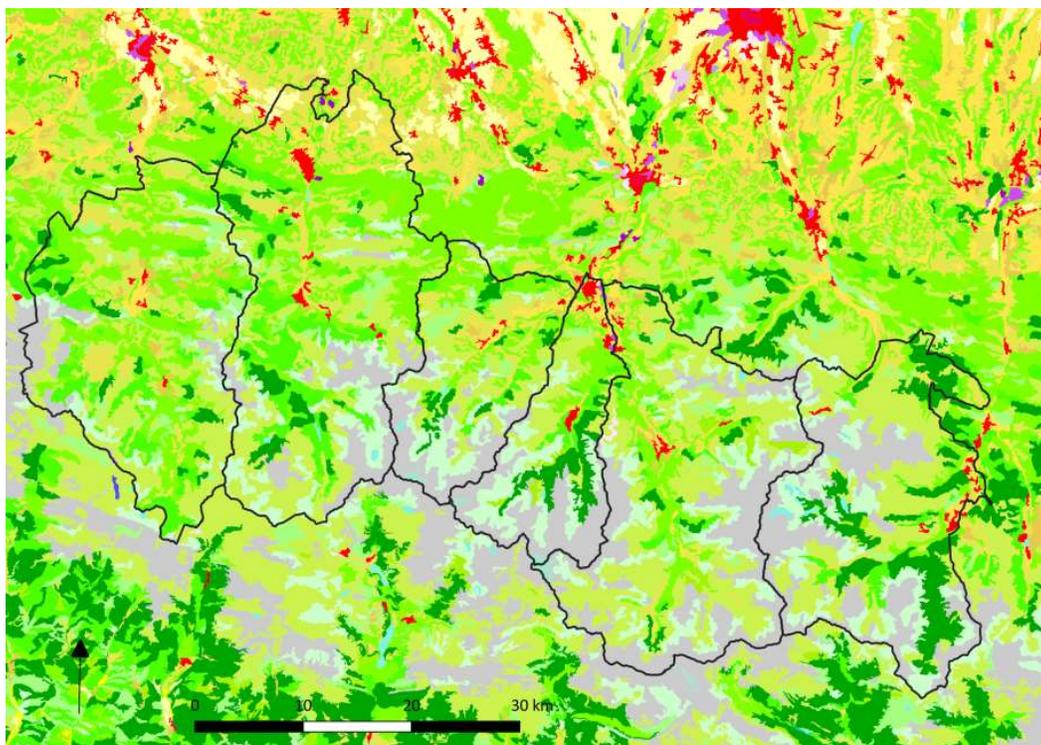
Localisation du lieu de découverte d'un vison d'Amérique femelle



Domaine vital théorique d'un vison d'Amérique femelle



Annexe 15 : Milieux d'occupation du sol selon la typologie de « Corine Land Cover »



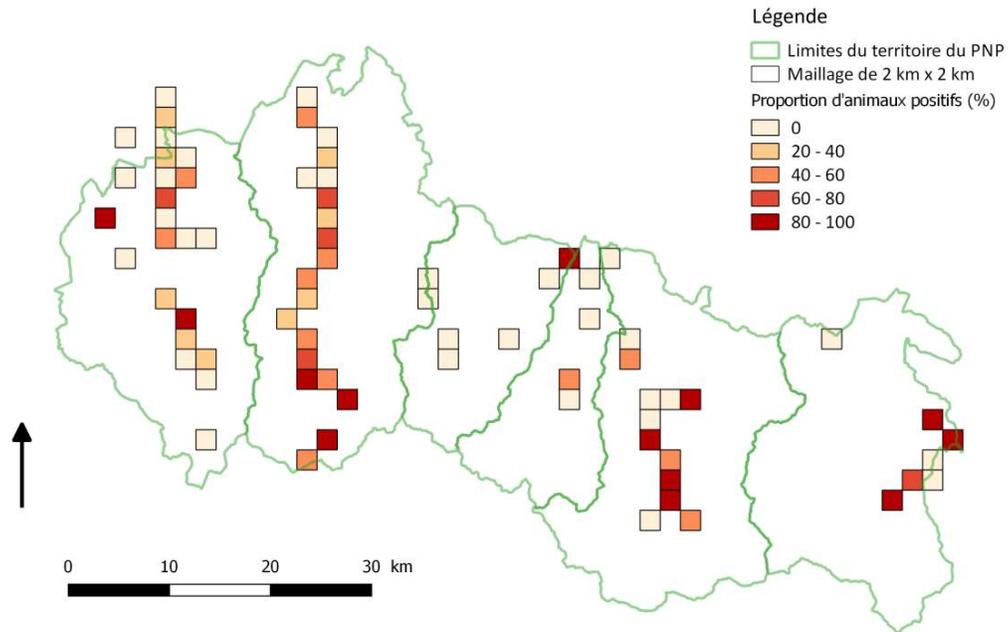
Annexe 16 : Interprétation de la valeur de l'AUC de la courbe ROC et fiabilité du modèle
(Rakotomalala, 2015)

Valeur de l'AUC	Commentaire
AUC = 0,5	Pas de discrimination
$0,7 \leq \text{AUC} < 0,8$	Discrimination acceptable
$0,8 \leq \text{AUC} < 0,9$	Discrimination excellente
$\text{AUC} \geq 0,9$	Discrimination exceptionnelle

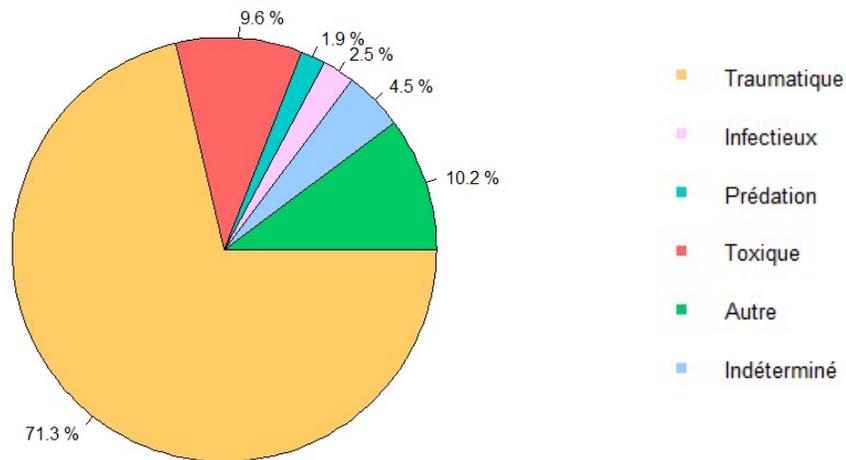
Annexe 17 : Nombre de cadavres découverts dans les vallées du PNP et pourcentage de positifs

Vallée	Cadavres découverts (effectif)	Pourcentage (%)
Aspe	51	32.5
Ossau	64	41
Azun-Cauterets	14	9
Luz-Saint-Sauveur	18	11.5
Aure	10	6
Total	157	100

Annexe 18 : Pourcentage de cadavres positifs, le long des axes routiers, de 2010 à 2018



Annexe 19 : Causes de mortalité des animaux étudiés (n=157)



Annexe 20 : Occurrence de détection des différents anticoagulants selon les espèces

Espèce	Occurrence des détections					
	Bromadiolone	Difethialone	Chlorophacinone	Difenacoum	Brodifacoum	Flocoumafène
Mammifères						
Renard roux	11	4	6			
Chat forestier	4			1		
Putois d'Europe	1					
Martre des pins	5	2				
Fouine	1	1		1	1	
Belette d'Europe				1		
Blaireau européen	1			1		1
Vison d'Amérique			1	1		
Oiseaux						
Buse variable	5					
Milan royal	1				1	
Vautour fauve	8	1				

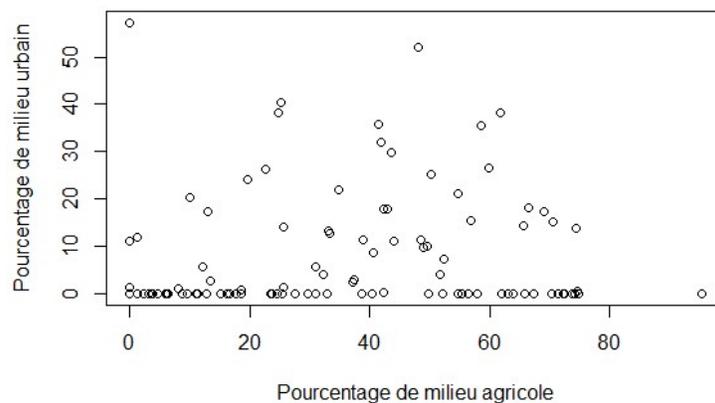
Annexe 21 : Occurrence de détection des anticoagulants chez les individus étudiés

Anticoagulants	Effectif	Pourcentage (%)
Bromadiolone	37	62
Difethialone	8	13
Chlorophacinone	7	12
Difenacoum	5	8
Brodifacoum	2	3
Flocoumafène	1	2
Total	60	100

Annexe 22 : Molécules détectées et concentrations associées chez les individus pour lesquels plusieurs anticoagulants ont été détectés

Espèces	Individu	Année	Résultats de l'analyse
Fouine	PNP-AU-2017-01	2017	Diféthialone : 0.537 µg/g, Brodifacoum : 0.467 µg/g Bromadiolone : 0.06 µg/g
	PNP-LU-2017-08	2017	Difénacoum : 0.253 µg/g, Bromadiolone : 0.194 µg/g, Diféthialone : 0.157 µg/g
Renard roux	PNP-OS-2012-05	2012	Bromadiolone : 0.04 µg/g, Difénacoum : 0.03 µg/g Diféthialone : 0.03 µg/g
	PNP-AS-2018-18	2018	Diféthialone : 0.17 µg/g, Coumatétralyl : 0.017 µg/g Difénacoum : 0.015 µg/g
	PNP-OS-2018-24	2018	Diféthialone : 0.13 µg/g, Brodifacoum : 0.051 µg/g Bromadiolone : 0.004 µg/g,

Annexe 23 : Vérification graphique de l'absence de colinéarité entre le pourcentage de milieu urbain et le pourcentage de milieu agricole



Annexe 24 : Nombre d'exploitations agricoles dans les vallées du PNP en 2009 (PNP, 2013)

Vallée	Exploitations agricoles (2009)	Pourcentage (%)
Aspe	122	17
Ossau	248	34
Azun	107	15
Cauterets	94	13
Luz	98	13
Aure	60	8
Total	735	100

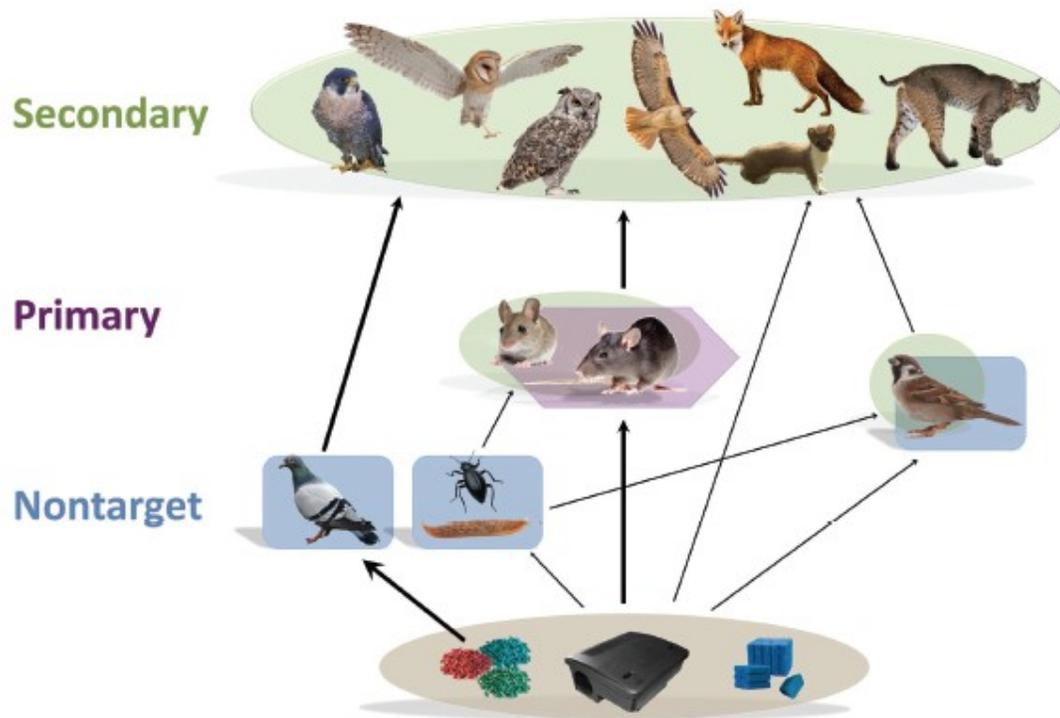
Annexe 25 : Surfaces agricoles (dont surfaces fourragères et surfaces en céréales) dans les différentes vallées du PNP (PNP, 2013)

PART DES SURFACES AGRICOLES (SURFACES INDIVIDUELLES), FOURRAGÈRE ET EN CÉRÉALES

	Surface agricole (déclarée et utilisée)	Surface fourragère		Surface en céréales	
Aspe	6 282 ha	6 279 ha	99,96 %	3 ha	0,04 %
Ossau	13 622 ha	12 308 ha	90,35 %	1 279 ha	9,39 %
Azun	1 798 ha	1 779 ha	98,95 %	19 ha	1,05 %
Cauterets	1 654 ha	1 532 ha	92,63 %	122 ha	7,37 %
Luz	1 339 ha	1 337 ha	99,85 %	2 ha	0,15 %
Aure	865 ha	844 ha	97,57 %	21 ha	2,43 %
Total	25 560 ha	24 079 ha	94,21 %	1 446 ha	5,66 %

Source : déclaration PAC 2009.

Annexe 26 : Distribution des anticoagulants le long de la chaîne alimentaire (Elliott et al., 2016)

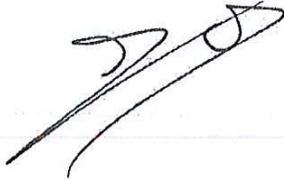


AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussigné, Guillaume LE LOC'H, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **Marie LESTRADE** intitulée « **Etude des facteurs de risque d'exposition aux anticoagulants de la faune sauvage du Parc National des Pyrénées** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

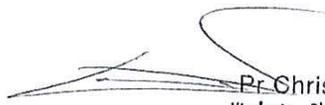
Fait à Toulouse, le 18/11/2019
Docteur Guillaume LE LOC'H
Maître de Conférences
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



Vu :
Le Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Pierre SANS

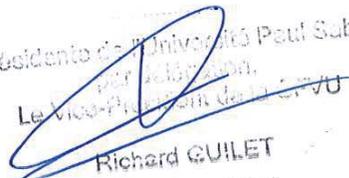



Vu :
Le Président du jury :
Professeur Christophe PASQUIER

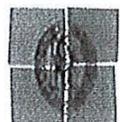


Pr Christophe PASQUIER
Virologie - Plateau Technique d'Infectiologie
Institut Fédératif de Biologie
330 av. de Grande Bretagne
F 31059 TOULOUSE Cedex 9

Vu et autorisation de l'impression :
Présidente de l'Université Paul Sabatier
Madame Régine ANDRE-OBRECHT


La Présidente de l'Université Paul Sabatier,
Le Vice-Président de l'ENVT
Richard GUILLET

Mme Marie LESTRADE
a été admis(e) sur concours en : 2014
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 18/07/2018
a validé son année d'approfondissement le : 16/07/2019
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.



NOM : LESTRADE

PRENOM : Marie

TITRE : Etude des facteurs de risque d'exposition aux anticoagulants de la faune sauvage du Parc National des Pyrénées

Résumé

A l'origine utilisés pour lutter contre les rongeurs, la persistance des anticoagulants dans les organismes peut entraîner une exposition secondaire d'animaux sauvages non cibles. Le dispositif de veille sanitaire du Parc National des Pyrénées (PNP) s'intéresse à l'impact de leur usage sur la faune sauvage.

Après avoir analysé qualitativement ce dispositif et présenté la problématique des anticoagulants, différents facteurs de risque d'exposition aux anticoagulants ont été étudiés à partir des données collectées.

Des anticoagulants ont été recherchés chez 157 cadavres de vertébrés, découverts de 2010 à 2018. De forts niveaux d'exposition ont été mis en évidence chez certaines espèces, pour lesquelles plus de 40% des individus étaient exposés. Les résultats montrent notamment que les espèces consommant régulièrement des micromammifères ont plus de risque d'être exposées.

Des améliorations en termes de surveillance de la faune sauvage et de gestion des populations de rongeurs sont ensuite discutées sur la base de ces résultats.

Mots clés : Anticoagulants, faune sauvage, Pyrénées, facteurs de risque, exposition, suivi sanitaire

TITLE: Study of risk factors of anticoagulants exposure in wildlife in the Parc National des Pyrénées

Abstract

The anticoagulants are generally used against rodent populations, but can cause secondary exposure in non-target species due to their persistence in the rodent's organism. The health monitoring system of the Parc National des Pyrénées (PNP) focuses on the impact of their use in wildlife.

After a qualitative analysis of this system and a presentation of the anticoagulant issue, various risk factors of anticoagulants exposure were studied based on the data collected.

Anticoagulants have been researched in 157 vertebrate carcasses discovered between 2010 and 2018. High exposure levels have been found in several species, for which more than 40% of individuals were exposed. Notably, results show that species which regularly eat small mammals are more likely to be exposed.

Based on these results, improvements in wildlife monitoring and rodent population management are then discussed.

Keywords: anticoagulants, wildlife, Pyrénées, risk factors, exposure, health monitoring