



HAL
open science

Épidémiologie descriptive des processus morbides des espèces loup et lynx en France, entre 1990 et 2019 : mise en place d'une stratégie de surveillance

Alexia Lena

► To cite this version:

Alexia Lena. Épidémiologie descriptive des processus morbides des espèces loup et lynx en France, entre 1990 et 2019 : mise en place d'une stratégie de surveillance. Médecine vétérinaire et santé animale. 2020. dumas-04532944

HAL Id: dumas-04532944

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04532944>

Submitted on 4 Apr 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



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/> 27283

To cite this version:

Lena, Alexia . *Épidémiologie descriptive des processus morbides des espèces loup et lynx en France, entre 1990 et 2019 : mise en place d'une stratégie de surveillance*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2020, 186 p.

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

EPIDEMIOLOGIE DESCRIPTIVE DES PROCESSUS MORBIDES DES ESPECES LOUP ET LYNX EN FRANCE, ENTRE 1990 ET 2019 : MISE EN PLACE D'UNE STRATEGIE DE SURVEILLANCE

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

par

LENA Alexia

Née, le 29/04/1995 à MONTAUBAN (82)

Directrice de thèse : Mme Mathilde PAUL

JURY

PRESIDENT :
M. PASQUIER

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :
Mme PAUL
M. LE LOC'H

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRES INVITEES :
Mme DECORS

Direction de la recherche et de l'appui scientifique à
l'Office Français de Biodiversité

Mme HIVERT

Direction de la recherche et de l'appui scientifique à
l'Office Français de Biodiversité

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**, *Pharmacologie – 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**, *Zootéchnie*
- 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*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- 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. **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*

MAÎTRES DE CONFÉRENCES (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 Hélène**, *Immunologie-Bactériologie-Pathologie infectieuse*
- Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophtalmologie vétérinaire et comparée*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
- 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. **LHERMIE Guillaume**, *Economie de la santé animale*
- 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*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- 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**, *Ophtalmologie*
- Mme **ROMANOS Lola**, *Pathologie des ruminants*

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*
- M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

Mise à jour au 01/01/2020

REMERCIEMENTS

AUX MEMBRES DU JURY

A Monsieur Le Professeur Christophe PASQUIER

Professeur des Universités Paul Sabatier de Toulouse,
Doyen de la Faculté,
Faculté des Sciences Pharmaceutiques – Université Paul Sabatier – Toulouse 3

De m'avoir fait l'honneur d'accepter le rôle de président de ce jury de thèse,
Hommages respectueux.

A Madame Le Professeur Mathilde PAUL

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles

De m'avoir fait l'honneur d'encadrer et de diriger ces travaux de thèse,
Pour sa bienveillance, sa disponibilité pour nos nombreux rendez-vous et son aide à
tous égards,
Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

A Monsieur le Maître de Conférences Guillaume LE LOC'H

Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
Médecine zoologique et santé de la faune sauvage

Qui a accepté de faire partie de mon jury de thèse,
Sincères remerciements.

AUX MEMBRES INVITÉES

A Mme Anouk DECORS et Mme Lorette HIVERT

Direction de la recherche et de l'appui scientifique à l'Office Français de la
Biodiversité

Pour leur encadrement, leurs conseils et leur aide précieuse,
Avec mes remerciements sincères.

Sommaire

Table des figures	11
Table des tableaux	12
Table des annexes	13
Table des abréviations.....	14
Introduction.....	16
PARTIE 1 : DESCRIPTION DE LA BIOLOGIE ET DE L'ÉCOLOGIE DES ESPÈCES LOUP GRIS ET LYNX BOREAL, ET SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX PROCESSUS MORBIDES RENCONTRES	18
I. Le loup gris <i>Canis lupus</i>	20
A) Taxonomie de l'espèce	20
B) Habitat.....	20
C) Biologie	20
D) Conservation et recolonisation du territoire	21
a. Etat de conservation.....	21
b. Recolonisation du territoire français	22
c. Répartition actuelle du loup gris sur le territoire français.....	22
E) Processus morbides et causes de mortalité	23
a. Étiologie associée à un niveau de risque élevé : collisions avec des véhicules et trains	25
b. Agents étiologiques associés à un niveau de risque modéré	25
i. Virus de la maladie de Carré (CDV).....	25
ii. Ectoparasites	26
c. Agents étiologiques associés à un niveau de risque faible	27
i. Parvovirus canin 2 (CPV-2).....	27
ii. Adénovirus canin 1 et 2 (CAAdV-1 et CAAdV-2)	27
iii. Virus de la rage (RABV)	28
iv. Alphaherpesvirus <i>Pseudorabies</i> et maladie d'Aujeszky.....	29
v. Bactéries spirochètes <i>Leptospira interrogans</i>	29
vi. Bactéries de la famille <i>Pasteurella</i> sp.....	30
vii. Bactéries du genre <i>Ehrlichia</i>	30
viii. Endoparasites.....	31

ix.	Exposition à des résidus toxiques.....	31
x.	Pression de braconnage	33
d.	Agents étiologiques associés à un niveau de risque négligeable.....	33
i.	Bactérie <i>Mycobacterium bovis</i>	33
ii.	Bactéries <i>Escherichia coli</i>	33
iii.	Protozoaires de l'embranchement <i>Apicomplexa</i>	34
iv.	Herpesvirus canin (CaHV-1).....	34
v.	Circovirus canin (DogCV).....	35
e.	Tirs de régulation.....	35
f.	Tableaux récapitulatifs des risques associés aux agents étiologiques à l'origine de morbidité chez le loup gris en France.....	37
II.	Le lynx boréal <i>Lynx lynx</i>	42
A)	Taxonomie de l'espèce	42
B)	Habitat.....	42
C)	Biologie	42
D)	Etat de conservation.....	43
a.	Etat de conservation.....	43
b.	Recolonisation du territoire français	43
c.	Répartition actuelle du lynx boréal sur le territoire français	43
E)	Processus morbides.....	45
a.	Etiologie associée à un niveau de risque élevé : collisions avec des véhicules et trains	45
b.	Agents étiologiques associés à un niveau de risque modéré	46
i.	Virus de la leucémie féline (FeLV)	46
ii.	Endoparasites.....	47
iii.	Ectoparasites.....	48
c.	Agents étiologiques associés à un niveau de risque faible	49
i.	Parvovirus félin (FPV)	49
ii.	Virus de l'immunodéficience féline (FIV).....	49
iii.	Virus de la maladie de Carré (CDV)	50
iv.	Coronavirus félin (FCoV)	50
v.	Adénovirus canin de type 1 (CAV-1).....	51

vi.	Calicivirus félin (FCV)	51
vii.	Protozoaire <i>Neospora caninum</i>	51
viii.	Bactéries spirochètes <i>Leptospira interrogans</i>	52
ix.	Exposition à des résidus toxiques.....	52
x.	Pression de braconnage	52
d.	Agents étiologiques associés à un niveau de risque négligeable.....	53
i.	Virus de la Rage	53
ii.	Herpesvirus félin (FeHV-1).....	53
iii.	L'alphaherpesvirus <i>Pseudorabies</i> et maladie d'Aujeszky	53
iv.	Protozoaires <i>Toxoplasma gondii</i> et <i>Cytauxzoon felis</i>	54
v.	Bactérie <i>Mycobacterium bovis</i>	54
vi.	Bactéries de la famille des <i>Anaplasmataceae</i>	55
vii.	Bactérie <i>Chlamydomphila felis</i>	55
viii.	Bactéries du genre <i>Mycoplasma</i>	55
ix.	Bactérie <i>Yersinia pestis</i>	56
x.	Infections bactériennes mineures	56
xi.	Processus néoplasiques, neurologiques, circulatoires et génito-urinaires.....	56
e.	Tableaux récapitulatifs des risques associés aux agents étiologiques à l'origine de morbidité chez le lynx boréal en France	58
f.	Causes de mort naturelles	63
III.	Suivi sanitaire de la faune sauvage	65
A)	Enjeux de l'épidémiosurveillance de la faune sauvage	65
B)	L'organisation d'un réseau à l'échelle nationale : le réseau SAGIR	66
C)	Le réseau Loup-Lynx.....	67
D)	Une surveillance originale à l'interface des deux réseaux.....	68
PARTIE 2 : EPIDEMIOLOGIE DESCRIPTIVE DES PROCESSUS MORBIDES CHEZ LES ESPECES LOUP ET LYNX, A PARTIR DE DONNEES RECOLTEES ENTRE 1986 ET 2019		
70		
I.	Cadre et objectifs généraux de l'étude.....	72
II.	Matériel et méthodes.....	72
A)	Constitution d'un évènement SAGIR après la collecte d'un cadavre	72
B)	Données issues des examens nécropsiques	72

a.	Autopsie	73
b.	Examens complémentaires	73
i.	Toxicologie.....	73
ii.	Virologie.....	74
iii.	Parasitologie.....	75
iv.	Bactériologie.....	76
v.	Histologie.....	76
c.	Prélèvements pour l'obtention de résultats rétrospectifs	76
i.	« Sérothèque »	76
ii.	« Organothèque » et « histothèque ».....	76
C)	Saisie sur la base de données <i>Epifaune</i>	77
D)	La particularité de l'espèce loup.....	78
E)	Analyse statistique	79
a.	Statistique descriptive	79
b.	Analyse factorielle multidimensionnelle.....	79
III.	Résultats : bilan de processus morbides détectés chez les loups gris et les lynx boréaux.....	80
A)	Article à destination d'une revue de faune sauvage.....	80
B)	Impact des activités humaines sur la mortalité.....	98
a.	Focus sur les évènements traumatiques.....	98
i.	Analyse factorielle sur les individus morts des suites d'un traumatisme	98
a)	Loup gris.....	98
b)	Lynx boréal	101
ii.	Distribution spatiale et temporelle des évènements routiers.....	105
iii.	Echantillon d'individus victimes de collisions avec des véhicules et trains	107
iv.	Processus pathologiques secondaires associés	108
b.	Focus sur les imprégnations toxiques	108
C)	Bilan des processus pathologiques secondaires mis en évidence.....	110
a.	Ectoparasitoses et endoparasitoses.....	110
b.	Point sur les cardiomyopathies chez les carnivores sauvages.....	111
c.	Un cas de cœnurose cérébrale chez un lynx ?	112

D)	Indicateurs de fonctionnement : des pratiques différentes selon les laboratoires d'analyse	113
a.	Le mode de conservation des dépouilles comme paramètre d'intérêt.....	113
b.	Des délais de transfert des dépouilles aux laboratoires variés.....	114
c.	Des probabilités de détection variables selon les observateurs et milieux de découverte	114
IV.	Discussion et pistes d'améliorations pour la surveillance	116
A)	Impact de la mortalité observée sur la dynamique des populations	116
B)	Rappel des objectifs de surveillance	116
C)	Optimisation des stratégies de surveillance	117
a.	Modalités de surveillance en fonction des objectifs.....	117
b.	Détektabilité et efficacité de surveillance.....	121
c.	Indicateurs de fonctionnement	122
i.	Mode de conservation des cadavres après collecte	122
ii.	Délai de transfert des cadavres aux laboratoires d'analyses	123
D)	Prévoir un dispositif de suivi des maladies en cas d'éclosion de maladie	123
E)	Prévalence des étiologies et suivi spatio-temporel de l'exposition	124
F)	Intégrer les grands carnivores dans l'aménagement du territoire.....	127
	Conclusion.....	129
	Bibliographie.....	130
	Annexes.....	146

Table des figures

Figure 1 : Carte des aires de présence du loup gris avérés sur le territoire français, en 2019 (extraite du site du Réseau Loup-Lynx http://www.loupfrance.fr).....	23
Figure 2 : Carte des aires de présence du lynx boréal avérées sur le territoire français, en 2018 (extraite du site de l'Office Français de la Biodiversité http://www.oncfs.gouv.fr)	44
Figure 3 : Banques d'échantillons sériques à l'échelle nationale	83
Figure 4 : Evolution annuelle du nombre d'évènements en fonction de l'espèce	84
Figure 5 : Distribution nationale des évènements de loups gris et de lynx boréaux entre 1990 et 2019	84
Figure 6 : Répartition des évènements en fonction de la saison et périodes biologiques chez les loups gris (a) et les lynx boréaux (b).....	85
Figure 7 : Catégories de causes de mortalité chez les loups et lynx entre 1990 et 2019.....	87
Figure 8 : Arbres de décision de l'ACM, par classification hiérarchique, sur les loups (a) et lynx (b)	89
Figure 9 : Inertie de chaque axe de l'ACM et contributions en pourcentages aux axes factoriels chez les loups gris.....	98
Figure 10 : Graphique représentant les variables (a) et les individus (b) dans le plan factoriel pour l'échantillon de loups gris (45 individus).....	100
Figure 11 : Représentation des clusters mis en évidence par la méthode HCPC dans la population de loups gris victime d'évènements traumatiques	100
Figure 12 : Inertie de chaque axe de l'ACM et contributions en pourcentages aux axes factoriels chez les lynx boréaux	101
Figure 13 : Graphique représentant les variables (a) et les individus (b) dans le plan factoriel pour l'échantillon de lynx boréaux (102 individus).....	103
Figure 14 : Représentation des clusters mis en évidence dans la population de lynx boréaux victime d'évènements traumatiques.....	103
Figure 15 : Distribution des traumatismes de la route à l'échelle nationale pour les loups gris et les lynx boréaux	106
Figure 16 : Evolution annuelle des collisions avérées avec des véhicules pour le loup gris et le lynx boréal.....	106
Figure 17 : Evolution annuelle des imprégnations toxiques détectées chez le loup gris et le lynx boréal.....	110
Figure 18 : Boîtes à moustaches des délais de transfert (en jours) des cadavres de loups gris (a) et des lynx boréaux (b) en fonction des départements	114

Table des tableaux

Tableau 1 : Matrice de décision d'appréciation du risque global associé à un agent étiologique chez le loup gris et le lynx boréal	25
Tableau 2 : Liste des types de toxiques rencontrés par les loups gris et signes cliniques associés.....	32
Tableau 3 : Répertoire des agents pathogènes d'origine infectieuse à l'origine de morbidité chez les loups gris en France, classés selon le niveau de risque associé	40
Tableau 4 : Répertoire des agents étiologiques d'origine anthropique à l'origine de morbidité chez les loups gris en France	41
Tableau 5 : Répertoire des agents pathogènes d'origine infectieuse à l'origine de morbidité chez le lynx boréal en France, classés selon le niveau de risque associé	62
Tableau 6 : Répertoire des agents étiologiques d'origine anthropique à l'origine de morbidité chez le lynx boréal en France	63
Tableau 7 : Types de protocoles d'autopsies pour la faune sauvage, d'après le Vademecum des laboratoires départementaux d'analyses vétérinaires (Edition 2016)	73
Tableau 8 : Nature des prélèvements pouvant être collectés dans le cadre des autopsies de loups et de lynx	76
Tableau 9 : Distribution des individus selon leur classe d'âge, leur sexe et la saison de découverte.....	86
Tableau 10 : Causes traumatiques à l'origine de mortalité chez le loup et le lynx....	88
Tableau 11 : Description de l'échantillon d'individus ayant subi un traumatisme routier	89
Tableau 12 : Tableau récapitulatif des échantillons ayant été analysés pour toxicologie, et des analyses positives chez le loup gris et le lynx boréal	91
Tableau 13 : Contribution des différentes variables aux axes factoriels chez le loup	99
Tableau 14 : Contribution des différentes variables aux axes factoriels chez le lynx	102
Tableau 15 : Description de l'échantillon d'individus ayant subi un traumatisme routier	107
Tableau 16 : Description de l'échantillon d'individus ayant été imprégné par des résidus toxiques.....	109
Tableau 17 : Parasites mis en évidence lors des autopsies de loups et lynx	111
Tableau 18 : Mode de conservation des cadavres	113
Tableau 19 : Proposition de clé de décision pour le choix de la méthode de surveillance épidémiologique optimale pour les différents agents infectieux représentant des risques modérés à faibles chez les loups gris et les lynx boréaux	118
Tableau 20 : Caractéristiques de la banque d'échantillons de sérum ou de jus pulmonaire disponibles à l'échelle nationale.....	125

Table des annexes

Annexe 1 :Fiche technique sur la maladie de Carré	148
Annexe 2 : Fiche technique sur la parvovirose	150
Annexe 3 : Fiche technique sur l'hépatite de Rubarth	152
Annexe 4 : Fiche technique sur la rage	154
Annexe 5 : Fiche technique sur la leptospirose	156
Annexe 6 : Fiche technique sur les endoparasitoses	157
Annexe 7 : Fiche technique sur la pasteurellose	159
Annexe 8 : Fiche technique sur la maladie d'Aujeszky	160
Annexe 9 : Fiche technique sur les acarioses	161
Annexe 10 : Fiche technique sur l'ehrlichiose et l'anaplasmosé	162
Annexe 11 : Fiche technique sur la tuberculose à Mycobacterium bovis.....	163
Annexe 12 : Fiche technique sur les colibacilloses.....	164
Annexe 13 : Fiche technique sur les protozoaires du genre Apicomplexa.....	166
Annexe 14 : Fiche technique sur l'herpesvirose féline et canine	168
Annexe 15 : Fiche technique sur la circovirose canine	170
Annexe 16 : Fiche technique sur le virus de la leucémie féline	171
Annexe 17 : Fiche technique sur le virus de l'immunodéficience féline	173
Annexe 18 : Fiche technique sur la coronavirose	175
Annexe 19 : Fiche technique sur la calicivirose	176
Annexe 20 : Fiche technique sur la chlamyphilose féline	177
Annexe 21 : Fiche technique sur les mycoplasmoses	178
Annexe 22 : Fiche technique sur l'infection à la peste à Yersinia pestis.....	179
Annexe 23 : Processus pathologiques secondaires mis en évidence chez les loups gris.....	180
Annexe 24 : Processus pathologiques secondaires mis en évidence chez les lynx boréaux.....	181
Annexe 25 : Photographie d'un cœur de loup gris atteint de cardiomyopathie hypertrophique.....	182
Annexe 26 : Photographie d'un cœur de lynx boréal atteint de cardiomyopathie hypertrophique.....	182
Annexe 27 : Photographies du cœur d'un loup gris atteint d'une cardiomyopathie dilatée.....	183

Table des abréviations

ADILVA : Association française des Directeurs et cadres des Laboratoires Vétérinaires Publics d'Analyses

ITD : Interlocuteur Technique Départemental

OFB : Office Français de la Biodiversité

PCR : Polymerase Chain Reaction (réaction de polymérisation en chaîne)

PNA : Plan National d'Action

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

USF : Unité Sanitaire de la Faune

Introduction

De nos jours, le loup gris *Canis lupus* et le lynx boréal *Lynx lynx* sont des espèces menacées sur le territoire français. En effet, le loup gris a été éradiqué au début du XXème siècle. Son retour en France s'est opéré au début des années 1990, lorsque des individus originaires d'Italie du Nord ont été détectés dans les Alpes Françaises. Le territoire de ces canidés continue à s'étendre vers le nord et l'ouest depuis. Le lynx boréal, quant à lui, a disparu à la fin du XIXème siècle. Dans les années 1970, la Suisse a mis en place un plan de réintroduction de l'espèce, ce qui a permis, en association avec un programme de réintroduction français, sa réapparition dans les Alpes et le Jura.

Ces deux espèces sont protégées en France, comme sur tout le continent européen, grâce à la Directive Habitat-Faune-Flore de 1992. Toutes deux s'inscrivent dans la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) des espèces menacées. La croissance favorable de la population de loups implique aujourd'hui un risque faible de disparition en France, avec une population estimée autour de 530 individus. En revanche, la Liste rouge des mammifères continentaux de France métropolitaine classe le lynx boréal comme étant « en danger », indiquant que le risque d'extinction dans la nature est élevé en raison de la constante diminution de son aire de présence dans les Vosges et les Alpes. Aujourd'hui, on compte environ 150 individus *Lynx lynx* en France, répartis dans le massif jurassien, les Alpes et les Vosges. Du fait de la population déclinante, ces animaux sont d'autant plus sujets à certains agents pathogènes, d'origine infectieuse notamment, qui sont susceptibles de les pousser à l'extinction.

Actuellement, les populations de loups gris et de lynx boréal doivent faire face à plusieurs enjeux. Le nombre croissant d'attaques de loups sur des troupeaux d'animaux d'élevage, en parallèle de l'évolution démographique positive de l'espèce, a entraîné la mise en application de moyens de régulation des effectifs de loups, au moyen de tirs dérogatoires. La densification des réseaux routier et ferroviaire, qui morcellent le territoire, est aussi à l'origine d'une augmentation du risque de collisions avec des véhicules ou des trains, dont ces individus peuvent faire l'objet. Les causes infectieuses représentent également une composante importante des processus morbides rencontrés par ces espèces. Les agents pathogènes d'origine infectieuse sont entretenus aussi bien par les individus constituant les populations, par les carnivores domestiques que par les autres espèces sauvages avec lesquelles ils sont en contact. Les lynx sont moins sensibles à la pression infectieuse du fait de leur caractère solitaire, car les contacts intra-spécifiques et inter-spécifiques sont limités et donc le risque de transmission d'agents pathogènes est diminué. Au sein de la faune sauvage, les manifestations cliniques des agents étiologiques sont difficilement observables, c'est pourquoi les réseaux d'épidémi-

surveillance déployés à l'échelle nationale, tels que le réseau SAGIR, s'avèrent indispensables.

Le but de cette étude est de fournir une analyse épidémiologique descriptive des processus morbides et mortels rencontrés par les populations sauvages de loups gris et de lynx boréaux en France. L'étude reposera sur une analyse rétrospective des données d'examens nécropsiques réalisés sur les cadavres de loups gris et des lynx boréaux trouvées sur le territoire français, entre 1990 et 2019. Cette étude épidémiologique permettra également de décrire les différentes causes de morbidité et de mortalité chez ces espèces menacées et de proposer une stratégie de surveillance sanitaire adaptée au contexte de surveillance des maladies du loup et du lynx.

PARTIE 1 : DESCRIPTION DE LA BIOLOGIE ET DE L'ÉCOLOGIE
DES ESPÈCES LOUP GRIS ET LYNX BOREAL, ET SYNTHÈSE DES
PRINCIPAUX PROCESSUS MORBIDES RENCONTRES

I. Le loup gris *Canis lupus*

A) Taxonomie de l'espèce

Le loup gris, *Canis lupus*, est un mammifère de la famille des *Canidae*, qui s'inscrit dans l'ordre des Carnivores. Le genre *Canis* regroupe les chiens, la majorité des espèces de loups mais aussi les dingos, les coyotes et les chacals.

Il existe deux espèces principales de loups :

- Le loup gris *Canis lupus*, sur lequel va porter cette étude, regroupe de nombreuses sous-espèces. Il se répartit principalement en Eurasie Centrale, en Amérique du Nord et en Sibérie ;
- Le loup d'Abyssinie *Canis simensis*, dont les seules populations existantes sont situées en Ethiopie.

Sur le territoire français, c'est le loup gris italo-alpin, de la sous-espèce *Canis lupus italicus*, qui est représenté (Office Français de la Biodiversité, 2019). Au niveau de la péninsule ibérique, *Canis lupus signatus* est présente.

La classification de quatre autres espèces de loups n'est pas encore parfaitement définie à ce jour. Ce sont le loup d'Himalaya *Canis himalayensis*, le loup des Indes *Canis indica*, le loup de l'Est *Canis lycaon* et le loup rouge *Canis rufus* (Fritts, 2020).

B) Habitat

Le loup *Canis lupus* se répartit dans de nombreux biotopes de forêt, principalement en montagne mais aussi en plaine. Les loups peuvent vivre jusqu'à 3000 mètres d'altitude. Ainsi, les populations principales de loups se situent dans les aires montagneuses d'Europe, d'Amérique du Nord et d'Asie Centrale, ainsi que dans la taïga sibérienne. Cependant, les loups ont une capacité d'adaptation à l'environnement dans lequel ils vivent, qui peut varier des champs de maïs aux zones de haute montagne.

Le territoire d'une meute de loups varie entre 200 et 400 km² en moyenne en Europe occidentale et centrale, mais peut s'étendre jusqu'à 720 km² (Ferus (Ours-Loup-Lynx conservation) et Andrieux-Rolland, 2019).

C) Biologie

La taille des loups varie considérablement entre les populations et les aires géographiques. Un loup adulte mâle pèse entre 20 et 40 kilogrammes, et un individu femelle entre 18 et 30 kilogrammes (Office Français de la Biodiversité, 2019).

Le loup est un carnivore. Son alimentation se compose essentiellement d'ongulés sauvages (chamois *Rupicapra rupicapra*, chevreuils *Capreolus capreolus*, cerf élaphe *Cervus elaphus*, sanglier *Sus scrofa*, mouflon *Ovis gmelini musimom*,

bouquetin *Capra ibex*...) ou domestiques (Office Français de la Biodiversité, 2019). Dans les zones où l'élevage est présent, les troupeaux de bétail peuvent représenter des proies de choix mais ne constituent pas une part importante du régime des loups (Pouille et al., 1997). Le loup est aussi une espèce opportuniste qui est en mesure d'adapter son alimentation aux ressources disponibles dans son environnement, notamment aux effectifs d'ongulés sauvages dans le milieu. Le loup peut aussi consommer d'autres mammifères tels que des rongeurs (marmotte *Marmota marmota*, campagnols de la famille des *Arvicolinae*), des lièvres *Lepus* sp, ou même encore des insectes, des amphibiens, des fruits ou des ordures. Dans le cas où les ressources du milieu sont appauvries, le loup peut devenir charognard et consommer des cadavres.

Le loup est une espèce sociale. Les populations sont structurées en groupes familiaux appelés meutes, qui comptent en moyenne 4 à 5 individus mais cet effectif peut atteindre jusqu'à une vingtaine d'individus. Les meutes se composent d'un mâle dominant reproducteur, ou mâle alpha, et d'une femelle reproductrice. Le couple reproducteur ne se reproduit qu'une fois par an. Les jeunes des portées précédentes restent dans la meute sur une ou plusieurs générations, puis partent se disperser sur le territoire lorsqu'ils atteignent l'âge adulte (Office Français de la Biodiversité, 2019).

D) Conservation et recolonisation du territoire

a. Etat de conservation

Le loup *Canis lupus* est une espèce qui s'inscrit dans la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) des espèces menacées, en tant qu'« espèce vulnérable ». Il est considéré comme « préoccupation mineure » du fait de la tendance favorable de la conservation de l'espèce, impliquant un risque faible de disparition en France (Office Français de la Biodiversité, 2019).

Aujourd'hui, le nombre de loups en France est estimé à 530 individus, pour 72 meutes. Le seuil fixé par l'OFB de 500 loups pour assurer une stabilité démographique de l'espèce a donc été atteint.

Le loup est une espèce protégée en France comme dans toute l'Europe grâce à la Directive Habitat-Faune-Flore de 1992 (Conseil des communautés européennes, 1992). Néanmoins, l'article 16 de cette directive prévoit des dérogations dans le cas où des dommages récurrents et importants aux activités humaines, dont les troupeaux de bétail font partie, seraient causés. Cet article autorise le déplacement, la stérilisation voire l'abattage de certaines populations de loups, il sera abordé plus loin dans le manuscrit.

b. Recolonisation du territoire français

Les loups *Canis lupus* ont disparu de l'ouest de l'Europe au cours du XXème siècle, à l'exception de l'Espagne, du Portugal et de l'Italie où des populations se sont maintenues.

Depuis leur disparition au début du XXème siècle, aucun loup n'avait été observé en France jusqu'au début des années 1990, où des individus sont détectés dans les Alpes françaises. La population s'est ensuite étendue à l'ouest jusqu'à atteindre les Pyrénées et le Massif Central en 1999, puis au nord jusqu'aux Vosges en 2011.

Les loups ont une bonne capacité de dispersion. Le procédé d'expansion consiste en une avancée sur une longue distance sur un temps réduit, dès qu'une zone devient saturée, ce qui a l'intérêt de limiter la compétition avec les meutes voisines. La couverture forestière a un impact positif sur la probabilité qu'un site soit colonisé par le loup, de même que la présence de sites d'élevage.

La colonisation d'un milieu est plus élevée pour un territoire d'altitude moyenne, entre 1500 et 2500 mètres d'altitude. En effet, en haute montagne, le milieu est dominé par un substrat rocheux souvent enneigé, et une végétation clairsemée, ce qui est moins favorable aux espèces de proies que les forêts à plus basse altitude. La colonisation d'un milieu est influencée négativement par la densité des axes routiers et l'occupation des sites voisins.

Le nombre croissant d'attaques de loups sur des troupeaux d'animaux d'élevage a entraîné la mise en application de moyens de régulation des populations de loups. Des tirs dérogatoires sont dorénavant permis.

c. Répartition actuelle du loup gris sur le territoire français

A ce jour, ce sont dans les Alpes que les sites occupés par *Canis lupus* sont les plus nombreux et que la probabilité de colonisation est la plus élevée (Louvrier et al., 2018). Le réseau Loup-Lynx (Réseau Loup-Lynx, 2020) réalise annuellement un bilan de détection de présence de l'espèce. Cette détection repose sur la collecte et l'analyse de données sur l'ensemble du territoire. Les zones de présence du loup gris en France sont représentées sur la carte suivante (**Figure 1**) et fait état de la présence du loup entre le 1^{er} avril 2016 et mars 2019.

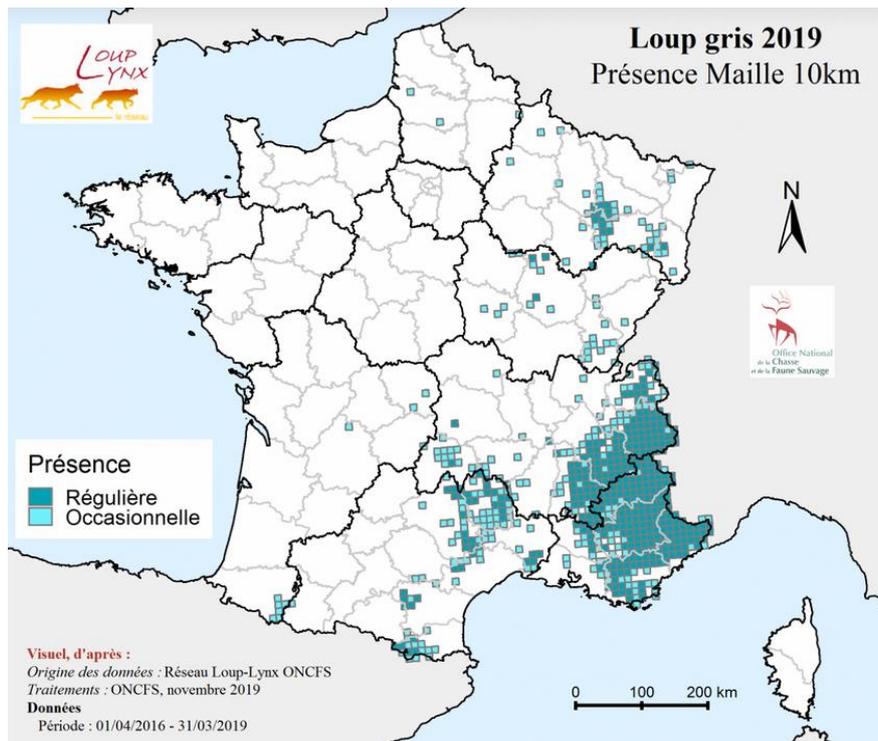


Figure 1 : Carte des aires de présence du loup gris avérés sur le territoire français, en 2019 (extraite du site du Réseau Loup-Lynx <http://www.loupfrance.fr>)

Cette carte n'est pas exhaustive mais représente les zones dans laquelle la présence du loup est avérée. En effet, la zone de présence du loup est certainement plus étendue que celle détectée jusqu'à présent. Les données collectées permettent de mettre à jour cette carte de répartition régulièrement. On note que le loup se répartit essentiellement dans le Sud-Est de la France. Les régions où la présence régulière du loup a été démontrée sont Auvergne-Rhône-Alpes, Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Grand-Est, Occitanie et Bourgogne-Franche-Comté. Une présence occasionnelle dans les Hauts-de-France et en Nouvelle-Aquitaine ont aussi été observées.

E) Processus morbides et causes de mortalité

Des processus morbides de nature et étiologies différentes sont décrits chez le loup gris.

Les loups, habitant des zones voisines des aires d'activité humaine, sont susceptibles d'être infectés par des agents pathogènes provenant d'espèces domestiques. Les activités humaines sont donc responsables d'épizooties mettant en danger la survie de nombreuses espèces de vertébrés sauvages. La transmission d'agents infectieux à la faune sauvage par des espèces réservoirs est favorisée par les similitudes génétiques entre les espèces. C'est notamment le cas du chien domestique *Canis lupus familiaris* qui est proche génétiquement du loup ibérique

Canis lupus (Javier Millán et al., 2016) Ces deux espèces ont également tendance à interagir dans leurs zones d'habitat communes.

Tous ces agents étiologiques sont associés à des niveaux de risque différents. En effet, en ce qui concerne les agents infectieux, la probabilité d'infection et les conséquences de l'infection à l'échelle individuelle et à l'échelle de la population diffèrent en fonction de l'agent causal. Le loup étant une espèce sociable, la transmission d'agents pathogènes par contact direct est facilitée. Cette transmission peut se faire par contact intra-spécifique, entre congénères d'une même meute, ou par contacts belliqueux entre individus de meutes différentes. Les contacts inter-spécifiques sont aussi possibles, comme lors de prédation sur les espèces de proies et sur les chiens domestiques par exemple.

Une appréciation qualitative du risque populationnel a été réalisée pour chaque agent étiologique considéré (**Tableau 1**), basée sur une analyse bibliographique.

Quatre niveaux de risque sont définis par Sein (2002), utilisés ici pour l'appréciation du risque à l'échelle populationnelle :

- Négligeable : survenue possible dans des circonstances exceptionnelles, peu ou pas d'impact ;
- Faible : peu élevée, mais possible dans certains cas, impact mineur ;
- Modéré : survenue possible, impact d'amplitude moyenne ;
- Elevé : survenue constitue nettement une possibilité, impact grave.

L'objectif de cette synthèse bibliographique est de répertorier les différents agents causaux auxquels le loup gris est exposé, et de les hiérarchiser en fonction du risque qu'ils représentent pour la population de loups française. Seront pris en compte dans l'appréciation du risque d'introduction ou d'exposition à l'agent causal, et l'appréciation de ses conséquences à l'échelle individuelle ainsi qu'à l'échelle populationnelle. C'est la combinaison de ces deux niveaux de risque qui permet d'apprécier le risque global à l'échelle populationnelle. Afin de garantir une appréciation harmonisée du risque, le tableau décisionnel a été utilisé :

		Probabilité d'introduction et d'exposition à l'agent étiologique				
		Nulle	Négligeable	Faible	Modéré	Elevé
Sévérité des conséquences (échelles individuelle et populationnelle)	Nulle	Risque nul	Risque nul	Risque nul	Risque nul	Risque nul
	Négligeable	Risque nul	Risque négligeable	Risque négligeable	Risque négligeable	Risque négligeable
	Faible	Risque négligeable	Risque négligeable	Risque faible	Risque faible	Risque faible
	Modéré	Risque négligeable	Risque faible	Risque modéré	Risque modéré	Risque modéré
	Elevé	Risque faible	Risque faible	Risque modéré	Risque élevé	Risque élevé

Tableau 1 : Matrice de décision d'appréciation du risque global associé à un agent étiologique chez le loup gris et le lynx boréal

a. Etiologie associée à un niveau de risque élevé : collisions avec des véhicules et trains

Sur le territoire français, les réseaux routier et ferroviaire sont très développés et toujours en cours d'expansion. Les routes et chemins de fer ont tendance à morceler les paysages, c'est-à-dire à fragmenter les zones de présence du loup gris. Or, le loup gris est une espèce mobile pour laquelle la dispersion est le principal moteur de colonisation. C'est grâce à ce phénomène de dispersion que les jeunes loups peuvent former une nouvelle meute, dans un espace à l'écart de celui déjà occupé par ses congénères. Bien que les loups aient tendance à rester éloignés des grands axes routiers, et à éviter les contacts avec les humains, ce phénomène de dispersion rend obligatoire la traversée de routes.

La dispersion est un phénomène saisonnier. Une étude réalisée dans le Minnesota a démontré que le taux de dispersion était plus élevée pendant les mois de février à avril, et d'octobre à novembre (Mech et al., 1995). Il semblerait donc que le risque de collision soit plus élevé durant certaines périodes.

Les collisions par des véhicules ou trains sont généralement brutales et sévères, et l'évènement est souvent fatal pour l'animal.

Les animaux qui décèdent de collisions avec des véhicules ou des trains peuvent être les sentinelles de causes de morbidité sous-jacentes. En effet, un traumatisme de la route peut être évocateur d'une baisse de vigilance, et une agrégation non expliquée de collisions représente un point d'intérêt pour les systèmes d'épidémiologie-surveillance.

La mortalité « détectée » concerne essentiellement des causes de mortalité liée à l'activité humaine, parmi lesquelles les cas de braconnage et les collisions. Les causes anthropogéniques représentent environ 75% des cadavres étudiés d'après un bilan sanitaire datant de 2010, dont 37% environ sont des collisions (Office Français de la Chasse et de la Faune Sauvage et Réseau Loup-Lynx, 2010).

La chasse et la randonnée peuvent avoir un effet sur les effectifs d'ongulés sauvages et autres espèces de proies pour les loups gris.

b. Agents étiologiques associés à un niveau de risque modéré

i. Virus de la maladie de Carré (CDV)

Le virus de la maladie de Carré peut infecter la majorité des espèces de carnivores (**Annexe 1**). Au Portugal, de fortes similitudes génétiques au niveau des nucléotides ont été mises en évidence entre les souches du virus de la maladie de

Carré chez les chiens domestiques et chez le loup (Javier Millán et al., 2016). En effet, en 2014, une épidémie de maladie de Carré dans une population de loups italiens a pu être mise en relation avec une souche du virus détectée jusqu'alors seulement chez des chiens domestiques. Ces éléments démontrent le risque pour la faune sauvage d'être infectée par ces agents pathogènes provenant d'espèces domestiques, dans les zones où l'activité humaine est présente (Javier Millán et al., 2016).

La maladie de Carré est hautement contagieuse et présente un spectre d'hôtes large. La morbidité et la mortalité varient considérablement en fonction des espèces et des catégories d'âge. Une étude réalisée sur des loups éthiopiens *Canis simensis* a permis d'estimer le taux de mortalité de la maladie de Carré entre 43 et 68% en fonction des sous-populations chez les individus adultes. Cette différence de mortalité entre les sous-populations peut s'expliquer par des efforts de monitoring hétérogènes entre les aires géographiques. En effet, dans les zones où les populations de loups étaient moins denses, le suivi est moins intense donc il était plus difficile d'y estimer le taux de mortalité. Il semblerait que le taux de mortalité soit élevé chez les individus immatures quelle que soit l'espèce contaminée, dans la tranche d'âge de 3 à 6 mois (Gordon et al., 2015). Dans une population de loups ibériques *Canis lupus signatus* espagnole étudiée, la séroprévalence du virus de la maladie de Carré était en moyenne de 24.3% (Sobrinho et al., 2008a).

ii. Ectoparasites

Une étude menée dans la région de Las Merindades en Espagne a montré que les trois individus loups gris étudiés étaient tous porteurs d'ectoparasites, y compris des acariens (Domínguez-Peñafiel et al., 2011) (**Annexe 9**).

Les agents de gale se transmettent principalement par contact direct entre individus. La transmission est aussi permise par la résistance de ces parasites dans le milieu extérieur, pendant des périodes allant jusqu'à 15 jours. Des cas de renards roux porteurs de cette dermatose étaient connus depuis plusieurs dizaines d'années, cependant il a fallu attendre jusqu'à récemment pour que cette parasitose soit démontrée chez les loups. Les loups ibériques ont été les premiers pour lesquels la gale sarcoptique a été avérée.

La gale ne représente pas un risque majeur à long-terme dans les populations stables, comme c'est le cas pour le loup gris (Pence et Ueckermann, 2002), bien que la mortalité à court terme puisse être parfois élevée. En effet, la gale sarcoptique peut, lorsqu'elle est sévère, entraîner de la mortalité. Celle-ci peut réduire les effectifs de population et donc le taux de reproduction dans une meute ou population (Fuchs et al., 2016). Elle a un impact sanitaire car peut contribuer à un affaiblissement considérable des individus. Dans certaines régions, cette parasitose touche des populations entières d'effectifs importants, ce qui lui confère le statut d'épizootie (Oleaga et al., 2011a). Leurs auteurs de cette dernière publication ont combiné pour

leur étude des techniques de laboratoire traditionnelles et une quantification innovante de la parasitose par photo-trapping.

c. Agents étiologiques associés à un niveau de risque faible

i. Parvovirus canin 2 (CPV-2)

Le parvovirus canin de sous-type 2 est un virus hautement contagieux (**Annexe 2**). Il est transmissible par contact direct avec un animal infecté et peut se transmettre notamment à l'occasion de contacts entre individus d'une meute, entre individus de meutes différentes ou encore lors de prédation des loups sur les chiens domestiques, mais surtout par contact indirect par voie oro-fécale. Le loup étant une espèce sociable, les contacts entre les individus d'une meute sont fréquents. De plus, les fèces représentent des marqueurs de territoire pour ces canidés, ce qui implique qu'un animal est susceptible d'ingérer les fèces d'un autre. Or, les fèces présentent un pouvoir infectieux majeur par leur concentration élevée en virions. Les loups pouvant être contaminés par des chiens domestiques porteurs, leur probabilité d'exposition au parvovirus canin est corrélée positivement et significativement à la densité d'habitations dans le périmètre entourant le lieu de prélèvement du loup (Javier Millán et al., 2016). Ces facteurs sont en faveur d'une dissémination du virus dans la population.

Des enquêtes sérologiques européennes ont mis en évidence des séroprévalences de CPV-2 de 62.2% dans des populations de loups ibériques en Espagne (Sobrino et al., 2008a) et 32.1% au Portugal (Santos et al., 2009a). L'exposition des loups au parvovirus canin CPV-2, mise en évidence soit par la détection de matériel génomique du virus par PCR, soit comme la détection d'anticorps spécifiques du virus, a été détectée chez 77% des individus dans une population de 54 loups *Canis lupus signatus* en Espagne (Javier Millán et al., 2016). Une enquête sanitaire réalisée dans le parc national d'Appenino Tosco-Emiliano en Toscane, en Italie, a également permis de montrer un portage du parvovirus canin (Ambrogi et al., 2019a). La séroprévalence du parvovirus ne semble pas influencée par la saison, l'âge de l'individu, la région ou l'année de prélèvement (Javier Millán et al., 2016). Par conséquent, le parvovirus se révèle être un agent enzootique dans la population du loup ibériques.

ii. Adénovirus canin 1 et 2 (CAvV-1 et CAvV-2)

Le sérotype 1 de l'adénovirus canin est responsable de l'hépatite de Rubarth, ou hépatite infectieuse canine (**Annexe 3**). Le sérotype 2, quant à lui, fait partie du complexe de la toux du chenil et est à l'origine d'une laryngo-bronchite ou trachéo-bronchite infectieuse très contagieuse.

L'adénovirus canin de type 1 se retrouve à l'échelle mondiale chez les carnivores du genre *Canis*. La transmission se fait en l'absence de vecteur. Elle peut être

indirecte par voie oro-nasale ou directe, par contacts intra ou inter-spécifiques, les carnivores domestiques représentant des foyers de transmission importants. De nos jours, le renard roux *Vulpes vulpes*, qui est présent sur le territoire français, est le principal réservoir sauvage de l'adénovirus canin de type 1 (Verin et al., 2017). Chez les loups, l'infection n'a pas pu être reliée à une mortalité juvénile plus importante (Popelin, 2010).

Dans une étude menée par Millán *et al* (2016), sur une population de loups de loups des régions de Galice et Asturias (nord-ouest de l'Espagne) prélevés de façon opportuniste entre 2010 et 2013, l'exposition aux adénovirus canins a été mise en évidence chez 74% des loups étudiés (n=54 échantillons, 75% pour CAdV-1, 5% pour CAdV-2). Une co-infection au parvovirus canin et à l'adénovirus canin 2 a été démontrée dans 51% des cas.

Similairement au parvovirus, la prévalence de l'adénovirus canin n'est pas non plus influencée par la saison, l'âge de l'individu, la région ou l'année de prélèvement. L'adénovirus canin est enzootique dans les populations de loups ibériques.

iii. Virus de la rage (RABV)

La rage est causée par un virus de la famille des *Rhabdoviridae* (**Annexe 4**). En Europe de l'Ouest, les génotypes représentés sont le 1, qui est présent à l'échelle mondiale, et le 5, qui se distribue en Europe et est transmis essentiellement par les chiroptères insectivores (Elizabeth S. Williams et Barker, 2008).

Toutes les espèces de mammifères peuvent être infectées par le virus de la rage, bien que certaines espèces soient plus sensibles que d'autres. Les carnivores domestiques et sauvages, dont font partie les loups *Canis lupus*, jouent le rôle épidémiologique de réservoirs du virus. L'importance du loup comme espèce porteuse de la rage et susceptible de la transmettre a augmenté à la fin des années 1990. Néanmoins, à ce jour, le loup ne représente pas un réservoir important de la maladie. Le renard roux *Vulpes vulpes* demeure le principal vecteur de rage en Europe (Elizabeth S. Williams et al., 2008).

La rage a été quasiment éradiquée en Europe de l'Ouest grâce aux mesures hygiéniques entreprises sur les chiens (surveillance accrue des chiens domestiques, contrôle des populations de chiens sauvages, port d'une muselière dans les situations à risque...). La souche canine initiale du rhabdovirus s'est adaptée au renard roux *Vulpes vulpes* puis au loup gris *Canis lupus* en Europe orientale (Moutou, 2015). La transmission par les renards et les chiens domestiques importés illégalement peut être à l'origine d'infections sporadiques chez les loups, ne permettant pas un maintien du virus dans la population.

La transmission du virus se fait *via* la salive, par voie cutanée ou muqueuse, soit par contact étroit entre les individus. Le virus ne peut être transmis que s'il y a des lésions, mêmes minimales, suite à des griffures ou des morsures.

La rage apparaît comme une maladie animale transfrontalière, et nécessite par conséquent une étroite surveillance épidémiologique reposant sur une chaîne de vigilance et sur une transparence de l'information entre pays, gérée par l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE). La rage est une zoonose virale mortelle incurable, ce qui en fait un danger sanitaire de première catégorie. L'homme peut être contaminé par manipulation d'un cadavre souillé par de la salive, ou encore par morsure ou griffure.

iv. Alphaherpesvirus *Pseudorabies* et maladie d'Aujeszky

L'infection à l'alphaherpesvirus des Suidés de type A (SuHV-1), aussi appelé virus *Pseudorabies* (**Annexe 8**), responsable de la maladie d'Aujeszky, peut être à l'origine d'infections aiguës sévères chez différentes espèces comme les suidés, les carnivores domestiques, certains carnivores sauvages (renards notamment), les ovins... Les suidés domestiques et sauvages représentent les espèces réservoirs de cet agent infectieux.

Dans la région d'Appennino Tosco-Emiliano en Italie, le sanglier représente la proie principale des loups, mais aussi l'espèce réservoir du virus *Pseudorabies* (PrV). En effet, des analyses sérologiques sur des échantillons prélevés entre 2006 et 2007 dans la région ont permis de mettre en évidence une séroprévalence élevée vis-à-vis du virus *Pseudorabies* chez les sangliers (57 échantillons séropositifs sur 135 échantillons de sanglier analysés) (Ambrogi et al., 2019a). Les loups sont donc probablement fortement exposés à cet agent infectieux. Les conséquences de l'exposition du loup gris au virus *Pseudorabies* restent cependant mal connues à ce jour. Un cas de loup ayant présenté des signes nerveux après avoir été nourri avec des abats provenant d'un sanglier contaminé a été reporté dans un parc naturel de la région de Namur en Belgique (Verpoest et al., 2014). Le virus PrV avait alors été mis en évidence dans les cellules cérébrales de cet individu, sans que le lien avec le tableau clinique ait pu être confirmé. En 2020, une infection au virus PrV a été également mise en évidence pour la première fois chez un loup captif en Chine, qui a été retrouvé mort après avoir présenté des symptômes neurologiques (Lian et al., 2020).

v. Bactéries spirochètes *Leptospira interrogans*

La bactérie *Leptospira interrogans* est une bactérie pathogène agent de leptospirose (**Annexe 5**). Il s'agit d'une maladie infectieuse bactérienne grave pouvant être mortelle chez les canidés. Il s'agit également d'une zoonose transmissible des carnivores à l'homme.

Leptospira interrogans est une bactérie ubiquiste à l'échelle mondiale. Les leptospires sont très résistants dans l'environnement, dans les milieux souillés par des urines infectées (eau stagnante, étangs, rivières à faible courant, sols humides, boue), ce qui facilite la transmission indirecte qui est majoritaire. La transmission directe des leptospires est possible et se fait par contact avec l'urine d'animaux infectés ou par morsure.

Les principaux réservoirs des leptospires sont les rongeurs, qui sont des porteurs asymptomatiques mais qui vont excréter la bactérie, ou les chiens qui peuvent présenter un portage chronique. En France, malgré les protocoles de vaccination, il y a encore des cas de leptospiroses déclarés chez des chiens domestiques et des réservoirs de la maladie au sein de la faune sauvage. La transmission par les rongeurs reste cependant la voie majeure d'exposition des loups à la bactérie (Javier Millán, Candela, López-Bao, et al., 2009). Cela est en faveur d'une transmission à la faune sauvage comme les loups ou les lynx. Un contact des loups gris avec les spirochètes du genre *Leptospira* a été mis en évidence chez une population de loups dans le Minnesota, aux Etats-Unis. Une étude sérologique a permis de mettre en évidence une séroprévalence de la leptospirose de 11,4% chez les loups étudiés (Khan et al., 1991).

vi. Bactéries de la famille *Pasteurella* sp

Seul le genre *Pasteurella* de la famille *Pasteurellaceae* sp est susceptible d'infecter les carnivores (**Annexe 7**).

Parmi le genre *Pasteurella*, on retrouve les bactéries de la cavité buccale des carnivores (*Pasteurella canis*, *Pasteurella stomatis*, *Pasteurella dagmatis* et *Pasteurella species B.*) et les bactéries *Pasteurella multocida*, localisées au niveau de la cavité buccale et de l'appareil respiratoire supérieur des mammifères. Ces bactéries sont des agents pathogènes commensaux opportunistes, présentes au niveau des voies aériennes supérieures de nombreuses espèces de mammifères et oiseaux, et plus rarement au niveau des muqueuses digestive et génitale. *Pasteurella multocida* a la capacité d'infecter de nombreuses espèces. Elle a un rôle pathogène non négligeable chez les carnivores, et par conséquent chez le loup *Canis lupus* (Harper et al., 2006).

Les bactéries du groupe *Pasteurella* sont fragiles dans le milieu extérieur, ce qui implique une transmission par contact direct. Au sein du genre *Pasteurella*, on retrouve des bactéries présentes au niveau de la cavité buccale, ce qui en fait des agents pathogènes importants en cas de morsures (Dziva et al., 2008).

vii. Bactéries du genre *Ehrlichia*

L'ehrlichiose est une maladie infectieuse vectorielle causée par des bactéries de la famille des *Anaplasmataceae* (**Annexe 10**), principalement par l'espèce *Ehrlichia*

canis qu'on retrouve chez les canidés. Des infections actives aux bactéries du genre *Ehrlichia* ont été mises en évidence chez des loups gris dans le sud de l'Italie (Santoro et al., 2016). Des anticorps dirigés contre *Ehrlichia canis* et *Anaplasma phagocytophilum* ont également été détectés chez les loups captifs *Canis lupus baileyi* au Mexique (Morales-Soto et al., 2016).

Il s'agit d'une maladie vectorielle, transmise par la tique *Rhipicephalus sanguineus*, qui se répartit surtout sur le bassin méditerranéen en France. Les populations de loups concernées par *Ehrlichia* sp seraient donc principalement celles de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et Occitanie, où le vecteur est présent.

viii. Endoparasites

Les endoparasites rencontrés chez le loup gris sont répertoriés dans **l'Annexe 6**. Les parasites peuvent avoir un effet non négligeable sur la dynamique des populations des espèces de faune sauvage. En effet, ces agents pathogènes ont un impact sur l'état général des espèces composantes des écosystèmes et peuvent être à l'origine d'un déclin temporaire ou permanent d'une population locale. De plus, les individus atteints de parasitose sévère sont affaiblis et ils sont donc plus vulnérables aux pathogènes secondaires.

L'enquête sanitaire réalisée dans le parc national d'Appennino Tosco-Emiliano en Italie a permis d'estimer la prévalence des endoparasites des familles *Trichuridae* et *Ancylostomidae* principalement, mais aussi de *Strongylidae*, chez sa population de loups italiens (Ambrogi et al., 2019b). Chez la population de loups ibériques *Canis lupus signatus* étudiée, localisée à l'ouest du Portugal et incluant plusieurs meutes de loups, la prévalence parasitaire la plus importante relevée a été celle des nématodes de la famille des *Ancylostomidae*, avec une prévalence de 18,08% (n=11) (Figueiredo et al., 2016). Leur forte prévalence s'explique par la résistance des œufs dans l'environnement, ce qui favorise leur transmission dans les populations de loups (Ambrogi et al., 2019a). Malgré leur prévalence élevée chez d'autres espèces de carnivores, les parasites du genre *Ascarididae* ne sont pas dominants chez les loups. La présence des espèces *Toxocara canis* et *Toxascaris leonina* a cependant été démontrée chez le loup ibérique (Figueiredo et al., 2016). Enfin, un portage du trématode *Alaria alata* a déjà été démontré chez des loups gris captifs en Allemagne (Bindke et al., 2017).

ix. Exposition à des résidus toxiques

Les loups sont susceptibles d'être en contact avec des résidus toxiques de manière accidentelle ou intentionnelle. En effet, il arrive que les loups consomment des proies elles-mêmes imprégnées par un résidu toxique, comme des rongeurs ou des lagomorphes.

On parle d'intoxication lorsque le contact avec la molécule est à l'origine de manifestations cliniques, et présente des conséquences sur l'individu. On parle d'exposition ou d'imprégnation, en revanche, lorsqu'il est mis en évidence que l'animal a présenté un contact avec la substance, sans répercussion avérée sur son état physiologique.

Les différents résidus toxiques pouvant être recherchés chez les loups sont présentés dans le **Tableau 2** suivant :

Résidu toxique	Conséquences cliniques
Raticides anti-coagulants (par action anti-vitamine K)	Signes hémorragiques (hématomes, hémorragies digestives, cavitaires et intra-crâniennes), léthargie, dyspnée, difficulté à se mouvoir
Raticides à autre mode d'action comme la chloralose	Signes nerveux (ataxie, vertiges, hypersalivation, hyperesthésie, hyperexcitabilité motrice malgré un état comateux déjà observée) (Balis et Monroe, 1964)
Pesticides : inhibiteurs des cholinestérases (organophosphorés et carbamates)	Signes digestifs (vomissements), signes cardio-respiratoires (bradycardie), myosis
Taupicide comme la strychnine (Arzalier-Daret et du Cheyron, 2011)	Atteinte musculaire pouvant conduire à une détresse respiratoire voire un arrêt cardio-respiratoire, signes digestifs (vomissements, lésions de la muqueuse digestive), atteinte nerveuse (crises convulsives tétaniques, agitation, hyperréflexie...), hyperthermie, atteinte oculaire (exophtalmie, nystagmus), hypersensibilité cutanée. Mort par asphyxie ou fatigue intense en 2 à 24 heures (Proulx et al., 2016)
Pesticides : organochlorés	Signes respiratoires, signes nerveux (excitabilité, convulsions, léthargie), faiblesse musculaire généralisée

Tableau 2 : Liste des types de toxiques rencontrés par les loups gris et signes cliniques associés

Les conséquences cliniques ont été décrites chez d'autres espèces sentinelles, mais la pathologie chez le loup n'a pas encore été étudiée et est considérée par analogie avec ces autres espèces. La sévérité de l'atteinte clinique et la mortalité dépendant des doses ingérées. La toxicité peut être aiguë, lors d'ingestion importante, ou retardée. Lors de mise en contact minime, l'imprégnation peut ne pas être associée à des signes cliniques.

La strychnine et les organochlorés ne sont plus employés à ce jour car interdits. Néanmoins, cette molécule est encore en vente libre sur certains sites internet, et peut être létale donc elle est encore recherchée parfois.

x. Pression de braconnage

Des tirs de braconnage ont déjà été rapportés en France et dans les autres pays européens où le loup gris est présent. En effet, les loups gris exercent une prédation croissante sur le bétail. La prédation peut aussi entraîner la disparition de certaines espèces d'ongulés et de ruminants sauvages, comme c'est le cas du mouflon *Ovis ammon mesimon*, un espèce déjà en danger, en Europe Centrale (Herzog, 2018). Les pâturages sont aussi à l'origine d'un maintien de la biodiversité en préservant des paysages ouverts et dégagés, et semblent mis en danger par la présence de plus en plus marquée du loup. Toutes ces observations sont à l'origine de tensions autour de la préservation et de la protection des loups, pouvant expliquer la présence de braconnage envers l'espèce.

En Suède, sur la période de 1987 à 2001, sur les 20 cadavres de loups gris recueillis par l'Institut National Vétérinaire, quatre loups gris ont été tués illégalement *a priori* (Mörner et al., 2005a).

d. Agents étiologiques associés à un niveau de risque négligeable

i. Bactérie *Mycobacterium bovis*

Mycobacterium bovis est un des agents pathogènes responsables de la tuberculose bovine qui affecte les bovins mais aussi rarement certaines espèces de carnivores, dont le loup gris et le lynx boréal (**Annexe 11**).

La bactérie peut se transmettre par contact direct avec un animal infecté, par voie respiratoire par inhalation d'aérosols, ou par voie indirecte. Pour les carnivores, la contamination se fait majoritairement par voie digestive. En effet, en France, la tuberculose circule parmi les sangliers et cervidés, espèces réservoirs, qui sont des proies des loups gris. Les loups peuvent ingérer des matières contaminées issues de ces autres espèces, qui sont essentiellement les excréments corporelles, les expectorations mais peuvent aussi être tissulaires (muscle lors d'infection généralisée, placenta...). Une contamination *via* les proies a déjà été mise en évidence chez des loups gris en Pologne. En effet, la transmission de la tuberculose à *Mycobacterium caprae* par les espèces de bison et de sangliers locales a été démontrée semble avoir été démontrée (Orlowska et al., 2017). L'excrétion des agents pathogènes débute avant l'apparition des premiers signes cliniques. La transmission par le lait maternel est aussi possible. *Mycobacterium bovis* possède une paroi très épaisse qui lui confère une grande résistance dans le milieu extérieur, expliquant la forte probabilité de transmission indirecte.

ii. Bactéries *Escherichia coli*

Les bactéries *Escherichia coli* s'ancrent dans la famille des *Enterobacteraceae* (**Annexe 12**). Les souches pathogènes principalement retrouvées chez les canidés sont les *E. coli* entérotoxigènes (ETEC), les *E. coli* entéropathogènes (EPEC), les

E. coli nécrotoxigéniques de type 1 (NTEC1) et les *E. coli* adhésine-positives (AdEC).

Les bactéries de l'espèce *Escherichia* appartiennent à la flore digestive commensale de nombreuses espèces, dont le loup, mais sont aussi des agents pathogènes opportunistes. Les carnivores sont généralement porteurs de densités plus élevées de bactéries de l'espèce *Escherichia*. Les *Escherichia coli* à l'origine de pathologies extra-digestives sont souvent des bactéries provenant de la flore commensale de l'individu, alors que les colibacilles responsables d'entérites sont généralement exogènes, et de nature intrinsèque plus pathogène.

Malgré leur pouvoir pathogène intrinsèque, il existe des facteurs favorisant la pathogénie qui sont le jeune âge, les nombreuses mises bas simultanées, les fortes densités d'individus dans la population ou encore le stress (Mainil, 2002b).

iii. Protozoaires de l'embranchement *Apicomplexa*

Le loup gris est porteur de divers protozoaires (**Annexe 13**). Le loup gris a été confirmé comme un hôte définitif du protozoaire *Neospora caninum* car il excrète des oocystes, qui constituent la forme infectante, dans ses fèces (Dubey et al., 2011). L'exposition à la toxoplasmose et à la néosporose a également été mise en évidence chez des loups gris captifs en Europe (Sedlák et Bártoová, 2006).

Ces protozooses se transmettent rarement par contact direct mais principalement indirectement grâce aux fèces émis dans l'environnement, dans lesquelles les oocystes peuvent résister pendant une longue période. Une transmission verticale est aussi possible. Des oocystes de la famille des coccidies, dont fait partie la néosporose, ont été mis en évidence de façon importante dans l'environnement chez des loups de Toscane, en Italie (Ambrogi et al., 2019a). En Scandinavie, la prévalence des anticorps dirigés contre *Toxoplasma gondii* chez les loups gris étudiés était de 18.6% (Akerstedt et al., 2010). Ces parasites sont endémiques chez les carnivores domestiques en France.

iv. Herpesvirus canin (CaHV-1)

La fragilité de l'herpesvirus canin de type 1 entraîne une transmission majoritairement par contact direct, nécessitant un contact assez étroit entre les individus, via les sécrétions des muqueuses des systèmes respiratoire ou génital des animaux infectés (**Annexe 14**). Cependant, lorsqu'une grande quantité de virus est excrétée, la transmission peut se faire indirectement via par les aérosols (Kaplan, 1973). La transmission néonatale est également possible. Dans la péninsule de l'Alaska, la séroprévalence était de 92% chez les loups gris prélevés (Watts et Benson, 2016). En revanche, cette séroprévalence s'est avérée nulle chez des loups ibériques du nord de l'Espagne (Javier Millán et al., 2016). Les conséquences sur les populations de loups infectées sont encore mal connues.

La multiplication des herpesvirus alterne entre des cycles productifs lytiques, à la suite d'états de stress qui diminuent l'efficacité du système immunitaire, et non productifs (Kaplan, 1973). Cela rend les enquêtes épidémiologiques et le diagnostic très difficiles.

v. **Circovirus canin (DogCV)**

On compte parmi les *Circovirus* le circovirus canin, qui est retrouvé chez plusieurs espèces de carnivores sauvages dont le loup, le renard et encore le blaireau (**Annexe 15**).

Il a été confirmé par plusieurs études basées sur des tests sérologiques que le circovirus canin DogCV circule aux Etats-Unis et en Italie (Decaro et al., 2014). En effet, des virus de la famille des *Circovirus* ont été mis en évidence dans des échantillons d'organes de loups italiens prélevés en Italie centrale, avec une séroprévalence du circovirus DogCV entre 14.6 et 43.1% (Zaccaria et al., 2016a). L'infection par des circovirus s'accompagne systématiquement d'une co-infection par d'autres agents à fort pouvoir pathogène, qui sont le virus de la maladie de Carré ou le parvovirus canin, voire les deux (Zaccaria et al., 2016b). La transmission du virus se fait par contact direct avec un animal infecté, ou indirectement par voie oro-fécale. En effet, le virus est très résistant dans le milieu extérieur et se maintient ainsi pendant de longues périodes dans les fèces émises par un animal contaminé. Par analogie avec le circovirus porcine de type 2, les sécrétions oro-nasales pourraient également être des vecteurs de contamination (Gavier-Widén et al., 2012). Des études récentes ont également permis de confirmer la présentation clinique de ces symptômes chez des chiens en Chine et à Taiwan (Hsu et al., 2016).

e. *Tirs de régulation*

Comme dans la plupart des régions où le loup est présent à l'échelle mondiale, il existe des interactions inévitables avec les animaux d'élevage. Dans les aires de présence du loup sur le territoire français, on retrouve en majorité des systèmes d'élevage ovin. Dans les Alpes françaises notamment, le pastoralisme repose principalement sur des systèmes d'estive en zones de montagne. Par conséquent, la probabilité de rencontre entre le loup et les moutons se trouve accrue pendant la période estivale, ce qui encourage les attaques de troupeaux domestiques. Le nombre d'attaques augmente proportionnellement à l'évolution de la population de loups à l'échelle nationale, et à l'expansion de son aire de répartition (Office Français de la Biodiversité, 2020).

De ce fait, des moyens de régulation des populations de loups ont été mis en place pour limiter les dégâts sur les élevages. En France, il existe quatre types de tirs déroatoires pouvant être menés à l'encontre des loups :

- Les tirs de défense simples ;
- Les tirs de défense renforcés ;
- Les tirs de prélèvement simples ;
- Les tirs de prélèvement renforcés, en dehors du contexte pastoral.

Chaque année, il est autorisé d'abattre 19% de l'effectif de loups estimé par l'Office Français de la Biodiversité sur le territoire. Il s'agit d'un plafond national, et chaque département français est en mesure de réaliser des tirs de défense et de prélèvement. Aujourd'hui, la population de loups est estimée à 480 à 580 individus. Par conséquent, le nombre de tirs de régulation annuels autorisé est d'une centaine d'individus.

Ces tirs dérogatoires sont aujourd'hui contestés. Les grands carnivores étant en haut de la chaîne alimentaire, leur extinction peut conduire à des cascades dans la chaîne trophique et, par conséquent, des modifications préjudiciables dans les effectifs de certaines espèces. De plus, en provoquant la dispersion des loups, ils auraient tendance à provoquer une expansion du territoire des individus, et donc la multiplication des meutes. Enfin, le tir d'un animal dominant peut déstructurer la meute et provoquer une augmentation des attaques sur les troupeaux (Beudels-Jamar et al., 2017).

Aujourd'hui, la protection des troupeaux est capitale pour permettre une bonne cohabitation entre le loup et les éleveurs. Plusieurs techniques s'avèrent efficaces pour lutter directement contre la prédation des loups. Ainsi, la présence de bergers, d'aide-bergers, ou de chiens de protection comme les Montagnes des Pyrénées s'avèrent efficaces. De plus, il est possible de mettre en place des parcs de regroupement pour sécuriser les troupeaux plus particulièrement la nuit, grâce à des filets mobiles électrifiés notamment. Enfin, une méthode apparue récemment s'appuie sur l'utilisation d'effaroucheurs, qui sont des appareils répulsifs, sonores ou visuels, qui permettent de prévenir et limiter les attaques.

f. Tableaux récapitulatifs des risques associés aux agents étiologiques à l'origine de morbidité chez le loup gris en France

Agent étiologique	Exposition			Risque populationnel			Evaluation du risque global
	Séro-prévalence	Mode de transmission	Risque d'introduction	Expression clinique et sévérité individuelle	Morbidité, mortalité et létalité	Forme épidémiologique	
Virus de la maladie de Carré (CDV)	Loups ibériques: 24.3% (Sobrino et al., 2008a)	Hautement contagieux ; transmission par contact direct intra et inter-spécifique (chiens domestiques porteurs, même souche pathogène mise en évidence), mais aussi indirectement par voie oro-nasale via les aérosols d'exsudats respiratoires (fragile dans le milieu extérieur)	Non détecté dans le Parc National du Mercantour (Molnar et al., 2019) ; Présent dans des territoires voisins (Espagne, Portugal, Italie)	Expression clinique subaigüe à aigüe (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a) ; Signes d'infection généralisée pouvant résulter en une immunosuppression sévère, associés à des troubles digestifs, respiratoires, oculaires, cutanés voire nerveux (Gavier-Widén et al., 2012)	20 cas de mortalité décrits chez des loups des Apennins en Italie (Sabatino et al., 2014) Taux de mortalité chez les loups éthiopiens <i>Canis simensis</i> : entre 43 et 68%, plus élevé chez les individus jeunes	Sporadique (Akerstedt et al., 2010)	Modéré
Acariens	Espagne : Prévalence des ectoparasites en général de 100% dans la population étudiée (Domínguez-Peñafiel et al., 2011) ; 10,1% environ de la gale sarcoptique	Très contagieux. Transmission par contact direct et indirect (survie dans l'environnement quelques jours)	Déjà présents sur le territoire français	Individus porteurs affaiblis ; Signes cutanés essentiellement, amaigrissement	Mortalité lors d'infestations sévères, à l'origine d'une réduction des effectifs d'individus dans une population ou une meute (Fuchs et al., 2016)	Epizootie (Oleaga et al., 2011a)	Modéré
Parvovirus (CPV-2)	Loups ibériques: 62.2% (Espagne) / 32.1% (Portugal) (Sobrino et al., 2008a)	Hautement contagieux ; survie plusieurs mois dans l'environnement ; transmission par contact direct intra et inter-spécifique (chiens domestiques porteurs, même souche pathogène mise en évidence), mais aussi indirectement par voie oro-fécale	Présent en France, bien que non enzootique dans le Parc National du Mercantour (Molnar et al., 2019), et dans des territoires voisins (Espagne, Portugal, Italie), animaux domestiques jouent rôle de réservoir	Gastro-entérite hémorragique modérée, expression clinique aigüe décrite chez les chiens ; Infection rarement mortelle chez les loups, un cas de mortalité décrit (Mech et al., 1997)	Taux de létalité : faible chez les loups (très élevé chez les chiens domestiques âgés de moins de 5 mois)	Enzootie (Javier Millán et al., 2016)	Faible
Adénovirus canin (CAV-1)	Loups ibériques : 75% ; Co-infection avec CPV-2 : 51% (Javier Millán et al., 2016)	Transmission directe, par contacts intra-spécifiques ou inter-spécifiques, ou indirecte par voie oro-nasale, (via les sécrétions respiratoires, la	Présent dans des territoires voisins (Espagne, Portugal, Italie) Espèce réservoir :	Infection sévère à fatale chez les canidés ; Porteurs asymptomatiques probables (Greene, 2012) ; Signes de processus infectieux généralisé,	Faible taux de mortalité décrit en Amérique du Nord (Greene, 2012)	Sporadique	Faible

		salive, l'urine ou les fèces) permise par sa forte stabilité dans l'environnement	renard roux (Verin et al., 2017)	symptômes respiratoires, digestifs, urinaires, nerveux ± oculaires et coagulopathie intravasculaire disséminée			
		Risque élevé		Risque faible			
Virus de la rage (RABV)	Nulle	Hautement contagieux. Transmission via la salive, par voie cutanée ou muqueuse (nécessairement par des lésions de type griffures, morsures...) soit par contact étroit entre les individus. Transmission intra et inter-spécifique (le renard est l'espèce réservoir)	Faible : France indemne de rage, contrôles rigoureux aux frontières depuis les pays non indemnes, vaccination des carnivores domestiques	Toujours mortel à terme. Signes nerveux d'ordre comportemental, moteur, sensitif ou organo-végétatif	Taux de létalité : 100%	Sporadique	Faible
		Risque négligeable		Risque élevé			
Bactérie <i>Leptospira interrogans</i>	Non documenté	Transmission indirecte majoritaire dans des milieux souillés par des urines infectées (très grande résistance dans le milieu extérieur). Transmission directe par contact avec de l'urine contaminée ou par morsure. Réservoir : rongeurs	Circule parmi les populations de chiens domestiques en France	Souvent porteurs asymptomatiques. Par analogie avec les chiens, expression clinique variable lors d'immunosuppression par infection par un autre agent pathogène, variable selon le sérovar.	Pathogénie et conséquences sur la population mal connues chez les canidés sauvages, aucune épizootie documentée		Faible
		Risque faible		Risque faible			
Endo-parasites	Forte prévalence des <i>Ancylostomatidae</i> au Portugal (18%) (Figueiredo et al., 2016), ainsi que de <i>Toxoxara canis</i> et <i>Toxascaris leonina</i>	Transmission par ingestion d'œufs ou d'hôtes intermédiaires porteurs, favorisée par la forte résistance des œufs en extérieur. Renard roux : espèce réservoir, donc transmission directe lors de prédation possible.	Déjà présents sur le territoire français, chiens domestiques et renards roux porteurs des parasites et partageant leur territoire	Individus porteurs affaiblis. Parfois asymptomatiques. Rarement mortel, sauf lors d'infestations sévères. Parasites digestifs : entérite associée à un amaigrissement, syndrome anémique ; Aelurostrongylose ; dyspnée, toux chronique.	Enzootie		Faible
		Risque élevé		Risque faible			
Bactérie <i>Pasteurella sp</i>	Non documenté, agents de la flore commensale de la cavité buccale donc très représentés	Transmission par contact direct (fragile dans l'environnement), notamment lors de morsures.	Agents commensaux de la cavité buccale	Peut être mortel (Tindall et Harrison, 1972). Atteintes de l'appareil respiratoire. Portage asymptomatique décrit. Contamination par morsure : processus	Létalité faible (Elizabeth S. Williams et al., 2008)	Agents commensaux de la cavité buccale	Faible

				inflammatoire très important pouvant conduire jusqu'à une arthrite septique ou une septicémie			
	Risque modéré			Risque faible			
Virus <i>Pseudo-rabies</i>	Non décrit en France. Un cas décrit en Belgique.	A priori transmission par voie orale, par ingestion de matière issue d'un animal contaminé (sanglier ++) Espèce réservoir : sanglier	Virus circulant chez les sangliers, et donc sur le territoire du loup	Signes nerveux décrits chez un cas en Belgique (après ingestion d'abats provenant d'un sanglier contaminé) et un cas captif en Chine (Lian et al., 2020) Mortalité avérée chez d'autres espèces de carnivores sauvages (ours brun) (Mörner et al., 2005b)	Non documenté	Sporadique	Faible
	Risque faible			Risque faible			
Acariens	Espagne : Prévalence des ectoparasites en général de 100% dans la population étudiée (Dominguez-Peñafiel et al., 2011) ; 10,1% pour la gale sarcoptique	Très contagieux. Transmission par contact direct et indirect (survie dans l'environnement quelques jours)	Déjà présents sur le territoire français	Individus porteurs affaiblis ; Signes cutanés essentiellement, amaigrissement	Aucun cas de mortalité rapporté	Epizootie (Oleaga et al., 2011a)	Faible
	Risque modéré			Risque faible			
Bactéries <i>Ehrlichia</i> sp	Non documenté	Transmission vectorielle par les tiques <i>Rhipicephalus</i>	Endémique chez les chiens domestiques sur le bassin méditerranéen (Davoust et al., 1998) donc possible transmission aux loups dans le Sud-Est de la France	Infection actives démontrées chez des loups gris italiens (Santoro et al., 2016) Syndrome fébrile et anémique.	Aucun cas de mortalité rapporté	Endémique chez les chiens domestiques sur le bassin méditerranéen (Davoust et al., 1998)	Faible
	Risque faible			Risque faible			
Bactérie <i>Mycobacterium bovis</i>	Non documenté	Transmission indirecte majeure par ingestion de matières contaminées (tissu musculaire...) permise par la grande résistance dans le milieu extérieur, ou par contact direct par voie respiratoire. Transmission néonatale possible. Espèce réservoirs: sangliers/cervidés.	Maintien de la tuberculose sur le territoire	Canidés assez résistants à cette infection ; Evolution chronique, polymorphisme de signes peu spécifiques. Dégradation sévère de l'état général en fin d'évolution (amaigrissement marqué) Forme généralisée : mortelle		Sporadique	Négligeable
	Risque négligeable			Risque négligeable			

Bactérie <i>Escherichia coli</i>	Non documenté, agents de la flore commensale donc très représentés	Origine endogène ou exogène par voie oro-fécale (milieu souillé par des fèces). Pouvoir pathogène intrinsèque mais facteurs favorisants	Appartient à la flore digestive commensale de nombreuses espèces	Cas les plus sévères : septicémie pouvant conduire à la mort. Contamination exogène : signes d'infections du tractus urinaire (cystites, pyélonéphrites), mammites, métrites, infections ombilicales, plaies (Mainil, 2002a). Contamination endogène : signes d'entérite	Cas mortels rares.	Agent de la flore digestive commensale	Négligeable
	Risque modéré			Risque négligeable			
Protozoaires <i>Apicomplexa</i>		Transmission indirecte majoritaire par voie oro-fécale (haute résistance des oocystes dans les fèces), transmission verticale possible, transmission par contact direct rare	Déjà présents sur le territoire français, chiens domestiques porteurs peuvent être en contact avec des loups	Individus porteurs affaiblis ; pathogénie variable selon génotype ; parfois asymptomatique. Néosporose : encéphalomyélite, myosite nécrotique et dermite pyogranulomateuse à l'origine de troubles locomoteurs et neurologiques. Toxoplasmose : coccidiose intestinale banale	Peu de cas de mortalité décrits	Enzootie	Négligeable
	Risque modéré			Risque négligeable			
Herpesvirus canin (CaHV-1)		Virus fragile donc transmission par contact direct principalement, via les sécrétions respiratoires et génitales. Transmission indirecte par les aérosols possible au pic d'excrétion. Contamination néonatale possible.	Circule dans les territoires voisins (Italie)	Typiquement asymptomatique chez les adultes. Chez le chien domestique : troubles de la reproduction et atteinte respiratoire légère. Mortalité néonatale décrite chez les chiens domestiques. Réactivations virales possibles à vie, avec des phases de latence.	Aucun cas de mortalité rapporté chez le loup gris.	Sporadique	Négligeable
	Risque faible			Risque négligeable			
Circovirus canin (DogCV)	Italie : entre 14.6 et 43.1% (loups italiens). Co-infection avec CPV-2 et/ou CDV.	Transmission indirecte par voie oro-fécale, facilitée par sa résistance dans le milieu extérieur, ou contact direct	Circule en Italie	Souvent asymptomatique. Infection pouvant être sévère. Signes polymorphes, cas d'entérite hémorragique et de vascularite décrits. (Decaro et al., 2014)	Aucun cas de mortalité rapporté chez le loup gris.	Sporadique	Négligeable
	Risque modéré			Risque négligeable			

Tableau 3 : Répertoire des agents pathogènes d'origine infectieuse à l'origine de morbidité chez les loups gris en France, classés selon le niveau de risque associé

Cause anthropique	Risque à l'échelle populationnelle	Conséquences à l'échelle individuelle	Risque associé
Tirs de régulation	Tirs autorisés de 19% de l'effectif estimé de la population par an, soit une centaine d'individus en 2019	Tirs dérogatoires létaux	
Collisions avec des véhicules et trains	Collisions de plus en plus fréquentes du fait de la densification des réseaux routier et ferroviaire, du morcellement du territoire qui en découle et du modèle de dispersion de l'espèce ; 37% de la mortalité observée chez les loups lors d'un bilan sanitaire en 2010 (Office Français de la Chasse et de la Faune Sauvage et al., 2010)	Traumatismes souvent brutaux, pouvant être mortels pour les animaux qui en font l'objet	Elevé
Exposition à des toxiques	Contact accidentel par consommation de proies ayant ingéré un produit toxique, ou intoxication criminelle par disposition directe d'un toxique ou d'appâts contaminés ; Représente peu de cas a priori	Sévérité dépendant de la molécule et de la quantité ingérée. Peut être mortel lors d'ingestion d'une dose importante. Anti-coagulants : signes hémorragiques ; Chloralose : signes nerveux ; Inhibiteurs des cholinestérases : signes digestifs et cardio-respiratoires.	Faible
Braconnage	Cas isolés de braconnage rapportés en France, rendus publics, et dans les pays voisins (Italie, Suisse...).	Tirs souvent létaux	Faible

Tableau 4 : Répertoire des agents étiologiques d'origine anthropique à l'origine de morbidité chez les loups gris en France

II. Le lynx boréal *Lynx lynx*

A) Taxonomie de l'espèce

A l'image du genre *Lupus*, le genre *Lynx* appartient à l'ordre des Carnivores. Il existe dans le monde quatre espèces de lynx, dont deux que l'on retrouve à l'échelle européenne :

- Lynx boréal, ou lynx eurasienn, *Lynx lynx*, vivant dans le nord de l'Europe et en Asie de l'Ouest ;
- Lynx ibérique, ou lynx pardelle, *Lynx pardinus*, vivant en Espagne et au Portugal.

L'espèce de lynx présente sur le territoire français est donc le lynx boréal *Lynx lynx*, qui est le plus grand mammifère de la famille des *Felidae* présent en Europe. Il s'agit du troisième plus grand carnivore en Europe, après l'Ours brun *Ursus arctos* et le loup gris *Canis lupus*.

B) Habitat

La distribution du lynx boréal est en majorité eurasienn. En effet, l'espèce *Lynx lynx* se distribue depuis l'Europe de l'Ouest jusqu'aux Pays Baltes. Certaines sous-espèces se répartissent en Asie, en Russie ainsi qu'en Sibérie. Le lynx boréal habite exclusivement les zones montagneuses forestières tempérées et boréales. Il va préférer les zones de sous-bois dense. Le lynx vit préférentiellement à distance des zones à forte densité humaine.

Le territoire du lynx s'étend en moyenne sur 200 à 300 km², selon l'abondance des proies, et est plus étendu pour les mâles (Breitenmoser, 2000). Le lynx étant un Félin, il va avoir tendance à marquer son territoire avec des griffures, de l'urine et des fèces.

C) Biologie

Le lynx est un carnivore strict. C'est un prédateur nocturne, il chasse du crépuscule jusqu'à l'aube, et il peut parcourir de longues distances pendant cette période. Le lynx boréal chasse essentiellement des petits ongulés, comme le chevreuil *Capreolus capreolus* ou le chamois *Rupicapra rupicapra*, des sangliers *Sus scrofa* ou des lagomorphes comme le lièvre d'Europe. Néanmoins, il est en mesure d'adapter son régime. En cas de ressources limitées, le lynx pourra étendre son panel de proies aux oiseaux et aux petits rongeurs. Cette espèce n'est jamais charognard.

Contrairement au loup gris, le lynx boréal est un animal solitaire. Le mâle et la femelle ne se retrouvent qu'en période de reproduction. Cependant, il arrive que le territoire d'un mâle chevauche celui de plusieurs femelles. La saison de reproduction

du lynx est comprise entre février et avril. Par conséquent, les naissances ont lieu principalement en mai et en juin.

Un lynx adulte pèse généralement entre 18 et 25 kilogrammes (en moyenne 20 kg pour les mâles, 18 kg pour les femelles) (Réseau Loup-Lynx et Office Français de la Biodiversité, 2020).

D) Etat de conservation

a. *Etat de conservation*

Au même titre que le loup, le lynx boréal *Lynx lynx* s'inscrit dans la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) des espèces menacées, en tant qu' « espèce en danger ».

L'espèce est considérée comme « préoccupation mineure » à l'échelle européenne du fait de la tendance favorable de la conservation de l'espèce, impliquant un risque faible de disparition en Europe, et de sa large distribution à l'échelle mondiale. En revanche, sur le territoire français, la Liste rouge des mammifères continentaux de France métropolitaine la classe comme étant « en danger », dont le risque d'extinction dans la nature est élevé. En effet, la situation de l'espèce est contrastée en fonction des massifs. Alors que la population est en augmentation dans le massif jurassien, on note une constante diminution de l'aire de présence dans les Vosges et les Alpes (Réseau Loup-Lynx, 2019).

Le réseau *Natura 2000* inclut le lynx boréal *Lynx lynx* dans la liste des espèces sur laquelle se base la « Stratégie de création d'aires protégées », Lors du dernier rapport du réseau en France, sur la période 2013-2018, l'état de conservation du lynx a été évalué « défavorable mauvais » en région continentale, et « défavorable inadéquat » en région alpine (Drouilly, 2019).

b. *Recolonisation du territoire français*

Le lynx a disparu de l'Europe de l'Ouest, plus particulièrement des territoires français et suisse, à la fin du XIXème siècle en raison de la déforestation, d'une forte pression de chasse et de la raréfaction de ses proies, qui sont essentiellement des ongulés sauvages. Dans les années 1970, la Suisse a mis en place un plan de réintroduction du lynx boréal dans les Alpes. Cela a permis sa réapparition en France dans les Alpes et le Jura en 1974. De plus, un programme de réintroduction a été initié en 1983 dans le massif des Vosges et a permis une réapparition de l'espèce au nord-est de la France.

c. *Répartition actuelle du lynx boréal sur le territoire français*

Aujourd'hui, on compte environ 150 individus *Lynx lynx* en France. Ces individus se distribuent dans le massif jurassien, les Alpes et les Vosges, comme en justifie la carte de répartition de l'espèce suivante (**Figure 2**).

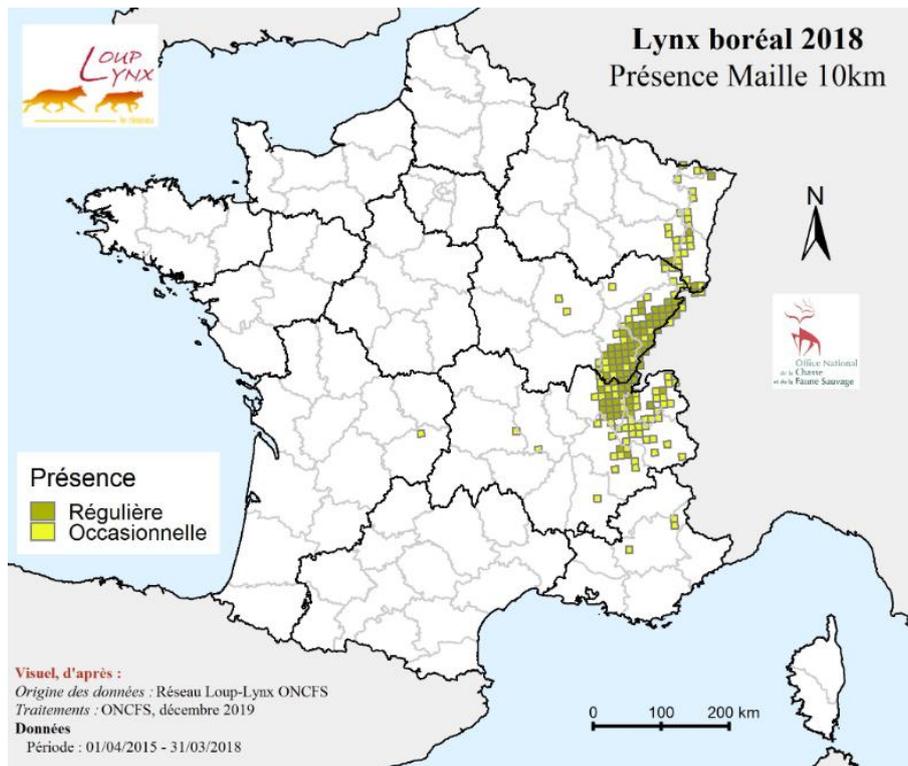


Figure 2 : Carte des aires de présence du lynx boréal avérées sur le territoire français, en 2018 (extraite du site de l'Office Français de la Biodiversité <http://www.oncfs.gouv.fr>)

Le Jura constitue le noyau de la population française de lynx. L'aire de présence régulière est constituée principalement par la région de Bourgogne-Franche-Comté, avec les départements du Jura et du Doubs, et par l'Auvergne-Rhône-Alpes, en particulier le département de l'Ain. La population de lynx française se répartit donc essentiellement sur trois zones, qui sont le Jura, les Vosges et les Alpes. Une présence occasionnelle a été observée dans le Grand Est. Quelques cas de détection sporadique ont été rapportés en dehors du secteur de présence continue, notamment dans le Massif Central ou dans les Alpes du Sud (Réseau Loup-Lynx et Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, 2016).

L'urbanisation et l'augmentation des espaces cultivés provoquent la fragmentation des aires forestières. L'aire de répartition des lynx se trouve diminuée par le morcellement de son milieu de vie, ce qui amoindrit les possibilités d'expansion de l'espèce et les interactions entre les différentes populations (Breitenmoser, 2000). L'évolution démographique du lynx est hétérogène en France: le noyau vosgien est très fragile, malgré sa place stratégique au carrefour des populations suisse et française, la présence alpine est en cours d'installation, alors la population du Jura est stable.

E) Processus morbides

Le lynx boréal est un animal solitaire, et l'effectif de population est peu important sur son aire de présence française. Par conséquent, le risque de transmission d'agents infectieux et la probabilité qu'il les maintienne dans sa population sont faibles. Le risque d'épidémie est donc relativement faible (Schmidt-Posthaus et al., 2002b).

L'exposition des lynx boréaux aux agents pathogènes bactériens ou encore aux protozoaires est plus fréquente que celle aux agents viraux. La faible séroprévalence d'agents viraux chez le lynx s'explique par la fréquence réduite des interactions intra-spécifiques, et par le fort taux de mortalité chez les lynx porteurs de maladies d'origine virale (Johnson et al., 2004). En effet, les contacts étroits entre lynx sont rares, à l'exception des périodes de reproduction, les séjours dans des centres de réhabilitation ou encore les interactions entre une femelle et sa progéniture (Luaces et al., 2008). La transmission d'agents pathogènes infectieux entre espèces est également très réduite du fait du caractère solitaire des lynx. Cependant, la proximité des zones urbaines avec les zones d'habitat des lynx est en faveur d'une transmission de maladies par les espèces domestiques, qui jouent le rôle de réservoirs (pour les helminthes ou arthropodes notamment). De plus, le lynx boréal est un prédateur d'autres espèces de carnivores, comme les renards roux ou les chats domestiques, ce qui est en faveur d'une transmission directe d'agents pathogènes à fort pouvoir contagieux.

Les populations de lynx semblent avoir fait face à plusieurs goulots d'étranglement démographiques, ce qui est associé à des pertes de diversité génétique majeures. De plus, les faibles effectifs de lynx amènent à une consanguinité non négligeable, à l'origine d'une perte d'efficacité du système immunitaire. Ces éléments auraient tendance à exacerber la vulnérabilité de l'espèce face aux principaux agents infectieux (Fernex, 1977a).

La même matrice de décision que celle utilisée pour le loup gris a permis de catégoriser les agents étiologiques suivants en fonction du niveau de risque qu'ils représentent (**Tableau 1**).

a. Etiologie associée à un niveau de risque élevé : collisions avec des véhicules et trains

De la même façon que cela a été décrit chez le loup gris, les activités humaines sont à l'origine d'une mortalité accrue chez les populations de lynx boréaux. Dans une étude menée sur 72 lynx de l'espèce *Lynx lynx* retrouvés morts dans les Alpes suisses et les montagnes du Jura entre 1987 et 1999, 48% des cas de mortalité non causée par des maladies infectieuses ont été causés par l'homme, dont 34% de collisions avec des véhicules (Schmidt-Posthaus et al., 2002a). Aujourd'hui, il

semblerait que les accidents de la voie publique et le trafic ferroviaire restent les principales causes de mortalité de l'espèce (von Arx et al., 2004).

Sur le territoire français, les réseaux routier et ferroviaire sont très développés et toujours en cours d'expansion. Les routes et chemins de fer ont tendance à morceler le territoire, et à séparer des zones de présence du lynx. Or, comme le loup, le lynx boréal est une espèce mobile qui va avoir tendance à se disperser sur le territoire. Lors de leur deuxième année de vie, les jeunes lynx vont quitter le territoire maternel afin d'établir leur propre territoire. Lors de cette première phase de dispersion, les individus sont peu expérimentés et traversent des milieux plus ou moins favorables. On peut être amenés à penser qu'ils sont alors plus enclins à traverser des routes lors de cette phase critique. Cette période de dispersion a lieu principalement de janvier à avril, lorsque la mère délaisse les petits au profit de sa nouvelle portée.

Aujourd'hui, le programme de recherche ITTECOP (Infrastructures de Transports Terrestres, Ecosystèmes et Paysages), mené par le ministère de la transition écologique et solidaire, a lancé le projet « ERC-Lynx ». Ce projet naît en 2017 de la volonté de limiter la mortalité par traumatismes de la route en France. Il a pour but d'éviter, de réduire et de compenser le risque de mortalité du lynx en France, par collision avec les véhicules de transport. Les enjeux du projet sont multiples. Ils consistent en l'élaboration de scénarios de mesures correctrices visant à diminuer les collisions, et le développement d'outils pour les acteurs territoriaux pour mener à bien ces objectifs. En effet, à terme, le projet permettra le développement et la mise à disposition pour ces acteurs d'un logiciel pour évaluer l'impact d'un aménagement des infrastructures de transport terrestre et leurs emprises sur la viabilité du lynx.

Le projet « ERC-Lynx » repose sur un modèle Lynx-Habitat-Collision et permet d'évaluer le risque de collision chez les lynx en fonction de différents critères. La probabilité de collision dépend de l'exposition des lynx au risque, c'est-à-dire des zones de présence permanentes, et le danger représenté par le réseau routier, dépend du type de route, du trafic sur cet axe, de la vitesse de circulation, etc. La détermination des zones d'habitat du lynx repose quant à elle sur les probabilités d'utilisation de l'espace (type de milieu, forestier ou non), de colonisation et d'extinction locales (type de milieu, présence de cultures...).

b. Agents étiologiques associés à un niveau de risque modéré

i. Virus de la leucémie féline (FeLV)

Le virus de la leucémie féline affecte les chats mais aussi d'autres félidés comme le lynx boréal (**Annexe 16**). Sa prévalence est faible et déclinante sur le territoire français. Cet agent infectieux présente une contagiosité élevée. Des études ont montré que le lynx ibérique *Lynx pardinus* est susceptible d'être infecté par le FeLV (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a). Entre 1993 et 2003, en Espagne,

dans les massifs du parc national Doñana et de la Sierra Morena, 16,7% (n=3/18) des échantillons de sérum analysés par PCR issus de lynx ibériques étaient positifs au virus FeLV (Luaces et al., 2008). Entre 2006 et 2007, une épizootie de virus FeLV a causé la mort de deux tiers des lynx ibériques infectés (Geret et al., 2011a), ce qui a été à l'origine d'une augmentation de la séroprévalence chez cette population, qui atteignait 27% dans la zone de Doñana, en Espagne, en 2007 (G. López et al., 2009).

Ce virus étant peu résistant dans l'environnement, la transmission se fait principalement par contact direct par voie oro-nasale, avec de la salive, qui représente la matière virulente majeure. En tant qu'espèce solitaire, la probabilité de contacts entre individus est faible, par conséquent la transmission au sein d'une population l'est aussi. Néanmoins, le lynx est un prédateur d'espèces porteuses du FeLV, tel que le chat domestique, ce qui est en faveur d'une transmission directe de l'agent pathogène à fort pouvoir contagieux. Similairement à l'infection au FIV, la transmission verticale est possible mais rare.

ii. Endoparasites

Une étude sur la réintroduction du lynx boréal en Suisse a mis en évidence que la cause de mortalité infectieuse la plus fréquente chez cette espèce était parasitaire (Schmidt-Posthaus et al., 2002a). Au cours d'une étude réalisée sur des carnivores sauvages en Andalousie, en Espagne, 65% des lynx ibériques étudiés étaient porteurs de parasites (J. Millán et al., 2007). Les parasites concernés sont répertoriés dans l'**Annexe 6**.

Parmi les endoparasites, les espèces du genre *Toxascaris leonina* et *Toxocara sp* sont les plus diagnostiquées (Schmidt-Posthaus et al., 2002a). Les autres endoparasites mis en évidence, avec une prévalence plus faible, sont :

- Des nématodes digestifs des genres *Trichuris*, *Capillaria sp*, *Uncinaria sp*, *Nematodirus sp* ;
- Des cestodes digestifs du genre *Taenia sp.* ;
- Des trématodes digestifs *Alaria alata*, sans signe clinique associé, identifié pour la première fois chez un lynx sauvage en janvier 2020 (Ozoliņa et al., 2020) ;
- Des nématodes respiratoires *Aelurostrongylus abstrusus* (Schmidt-Posthaus et al., 2002a).

Une autre étude sur huit cadavres de lynx ibériques a également permis de mettre en évidence d'autres helminthes, avec une prévalence plus faible (Torres et al., 1998). On peut notamment citer :

- Nématodes : *Eucoleus aerophilus*, *Vigisospirura ptekhina potekhina*, *Mastophorus muris* et *Physaloptera praeputialis* ;

- Cestodes : *Mesocestoides litteratus* ;
- Trématodes : *Brachylaima* sp.

Ces parasites n'ont cependant pas encore été mis en évidence chez les lynx boréaux.

iii. Ectoparasites

Les parasites concernés sont répertoriés dans l'**Annexe 9**. Parmi les acariens susceptibles d'infecter le lynx, on peut citer notamment les tiques et agents de gale. Des épizooties de gale peuvent avoir des conséquences sévères sur le long terme sur les dynamiques démographiques, particulièrement pour les populations menacées, de faible effectif ou fragmentées, comme c'est le cas pour le lynx boréal français (Pence et al., 2002). La gale sarcoptique est une maladie parasitaire très contagieuse causée par les acariens *Sarcoptes scabiei*, transmise principalement par contact direct. Cette gale a déjà été mise en évidence chez des lynx sauvages non captifs en Europe, notamment dans une population de lynx suisses *Lynx lynx*. L'infection à *Sarcoptes scabiei* est endémique des populations de lynx sauvages suisses depuis plus de quarante ans (Ryser-Degiorgis et al., 2002). La gale sarcoptique est endémique des populations de renards roux dans le nord des Alpes françaises, ce qui accroît le risque de transmission au lynx par prédation (Schmidt-Posthaus et al., 2002a). La transmission par contact entre lynx est également possible lors des périodes de reproduction.

La gale notoédrique à *Notoedres cati* peut être à l'origine d'une infestation des lynx (Schmidt-Posthaus et al., 2002a). Tout comme la gale sarcoptique, la gale notoédrique a déjà été mise en évidence chez des lynx boréaux en Europe. Néanmoins, elle diffère car elle est sporadique chez les populations de chats domestiques et d'espèces sauvages en Suisse (Ryser-Degiorgis et al., 2002). Une co-infection à *Sarcoptes Scabiei* et à *Notoedres cati* peut également se produire. Les gales sarcoptique et notoédrique peuvent s'avérer fatales lors d'infection sévère, chez un animal débilité, comme cela a été mis en évidence chez des lynx boréaux en Suisse et en Suède (Pence et al., 2002; Ryser-Degiorgis et al., 2002). Enfin, de la gale auriculaire à *Otodectes cynotis* a déjà été mise en évidence chez des lynx (Schmidt-Posthaus et al., 2002b).

Les autres ectoparasites mis en évidence sont les tiques et les insectes. Dans l'étude de Millan *et al*, 50% des lynx ibériques étaient porteurs de tiques (J. Millán et al., 2007). Parmi les insectes susceptibles de parasiter le lynx, on retrouve les poux, les puces ainsi que les mouches de la famille des *Hippoboscidae* (J. Millán et al., 2007). Cinq espèces de tiques ont été mises en évidence, de même que quatre espèces de puces, trois espèces de poux et une espèce unique de mouche.

c. Agents étiologiques associés à un niveau de risque faible

i. Parvovirus félin (FPV)

Le parvovirus félin est à l'origine de la panleucopénie chez plusieurs espèces de la famille des félins (**Annexe 2**). De la mortalité associée à la panleucopénie féline a été démontrée chez des individus adultes lynx roux *Lynx rufus* (Riley et al., 2004). Une infection au parvovirus félin FPV a été mise en évidence chez un lynx boréal en 2009 (Wasieri et al., 2009). La source de contamination la plus probable chez l'espèce *Lynx lynx* est la population locale de chats sauvages (Wasieri et al., 2009).

La transmission indirecte est donc majoritaire chez cette espèce, par voie oro-nasale par contact avec des sécrétions et par ingestion de selles issues d'un individu porteur du virus. La transmission transplacentaire joue également un rôle. Les animaux domestiques sont sûrement la principale source de l'agent pathogène.

Des antigènes du parvovirus, et une réponse immunitaire spécifique, ont été mis en évidence chez un lynx prélevé dans la Sierra Morena (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a). Plusieurs génotypes du virus de la panleucopénie féline sont susceptibles d'affecter les animaux du genre *Lynx*, comme les populations de lynx sauvages du Canada *Lynx canadensis* en Amérique du Nord. La panleucopénie féline semble affecter davantage les individus mâles, du fait de l'étendue plus élevée de leur territoire et donc du risque accru d'être en contact avec des agents infectieux (Biek et al., 2002). De plus, les mâles ont tendance à présenter un comportement de territorialisation plus important, via un marquage avec des fèces entre autres, ce qui favorise une transmission indirecte par voie oro-fécale.

ii. Virus de l'immunodéficience féline (FIV)

L'infection au FIV (**Annexe 17**) touche avec une prévalence assez élevée les chats domestiques en France, avec lesquels les lynx peuvent parfois partager une partie de leur territoire. A l'échelle de la population générale cette prévalence est de l'ordre de 10%. En Italie, cette prévalence atteint 11,3% des chats domestiques ayant accès à l'extérieur (Bandeccchi et al., 2006). Bien que le virus de l'immunodéficience féline présente une spécificité pour chaque espèce de félinidé, il a été reporté qu'il pouvait exister des transmissions virales inter-espèces. Tout comme le virus de la leucémie féline FeLV, ceci le rend vulnérable à l'émergence de cette maladie. Le lynx ibérique *Lynx pardinus* et le lynx roux californien *Lynx rufus* sont susceptibles d'être infectés par le FIV (Lagana et al., 2013; Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009b), par conséquent il est probable que le lynx boréal le soit aussi. En effet, dans la région de Sierra Morena en Espagne, un cas d'exposition d'un lynx ibérique au FIV a pu être relevé (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a).

La transmission est horizontale directe par morsure, via les contacts belliqueux, qui peuvent avoir lieu chez le lynx boréal. En effet, les matières virulentes sont la salive et le sang. Des cas de transmissions verticale transplacentaire et par le lait maternel ont été décrits mais restent anecdotiques.

iii. **Virus de la maladie de Carré (CDV)**

Les félidés représentent une famille d'hôtes imparfaite pour le virus de la maladie de Carré, qui doit s'adapter via des mutations dans son génome de façon conséquente pour survivre et devenir pathogène chez ces carnivores (Origgi et al., 2012) (**Annexe 1**).

Le virus de la maladie de Carré est fragile dans l'environnement, donc transmis principalement par contact direct et par les aérosols. Le caractère solitaire des lynx limite donc la transmission. Cependant, le lynx boréal est un prédateur d'autres espèces de carnivores, ce qui reste en faveur d'une transmission directe de cet agent pathogène à fort pouvoir contagieux.

En Suisse, un lynx présentant des symptômes neurologiques a été euthanasié en 2009. Les analyses biologiques post mortem réalisées se sont avérées positives pour le virus de la maladie de Carré (Origgi et al., 2012). La séroprévalence de la maladie de Carré chez les lynx européens a été évaluée à 24,3% en Suisse (M. Meli et al., 2006).

iv. **Coronavirus félin (FCoV)**

Le coronavirus félin FCoV (**Annexe 18**) est un virus ubiquiste très contagieux existant sous deux formes :

- le Coronavirus Entérique Félin, qui est une forme digestive non pathogène. Lors de co-infection, cet agent opportuniste peut provoquer des entérites ;
- Le Coronavirus de la Péritonite Infectieuse Féline (PIF), qui est la forme pathogène à l'origine d'une infection systémique sévère chez les Félidés, la PIF. Bien que les infections avec la forme pathogène soient sporadiques, cette maladie reste relativement courante chez le chat.

La transmission de l'infection est liée à l'excrétion fécale du coronavirus entérique félin par individus porteurs asymptomatiques. Etant donné que les lynx utilisent les fèces comme marqueurs de leur territoire, la transmission indirecte par consommation de selles contaminées est possible. Ce virus est peu pathogène, mais il peut le devenir après mutation. Néanmoins, ce virus n'est pas résistant dans le milieu extérieur, ce qui diminue la probabilité de contamination. Il n'existe pas de transmission verticale.

L'exposition au coronavirus félin a déjà été démontrée par des analyses sérologiques chez des populations de lynx sauvages canadiens, sans aucun signe

clinique associé (Biek et al., 2002). En Europe, la séroprévalence de l'infection au coronavirus chez les lynx boréaux s'est avérée très faible, ce qui suggère que ce virus ne se maintient pas dans les populations de lynx (Ryser-Degiorgis et al., 2005a).

v. **Adénovirus canin de type 1 (CAV-1)**

Le sérotype 1 de l'adénovirus canin est responsable de l'hépatite de Rubarth, ou hépatite infectieuse canine, qui est une maladie grave souvent fatale chez les canidés domestiques et sauvages (**Annexe 3**).

Des anticorps contre l'adénovirus canin 1 (CAV-1) ont été mis en évidence chez un lynx prélevé dans la Sierra Morena (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a). Cette découverte semble prouver que la transmission inter-spécifique du virus est possible, mais aucune conséquence clinique n'a été mise en évidence pour l'instant.

vi. **Calicivirus félin (FCV)**

Le calicivirus félin (FCV) est un virus susceptible d'infecter les félidés (**Annexe 19**). Avec l'herpesvirus félin de type 1 (FHV-1), le FCV forme le complexe coryza du chat et regroupe la majorité des pathologies respiratoires chez les félidés.

La transmission se fait principalement par voie oro-nasale, directe ou indirecte par les aérosols, et par voie oro-fécale. Le virus peut résister plusieurs semaines dans le milieu extérieur, ce qui favorise la transmission indirecte du virus. L'exposition au calicivirus félin a déjà été démontrée par des analyses sérologiques chez des populations de lynx sauvages canadiens et de lynx ibériques (prévalence de 4,5%) (Roelke et al., 2008). Cependant, les titrages en anticorps associés se sont révélés faibles (Biek et al., 2002).

vii. **Protozoaire *Neospora caninum***

L'exposition à la néosporose a été mise en évidence chez des lynx boréaux captifs en Europe (Sedlák et al., 2006). Cependant, les félidés, dont fait partie le lynx, ne représentent pas un hôte définitif de *Neospora caninum* car ils n'excrètent pas d'oocystes, la forme infectante (**Annexe 13**).

La néosporose se transmet rarement par contact direct chez les lynx, comme lors de la prédation, mais surtout indirectement grâce aux fèces émis dans l'environnement, dans lesquelles les oocystes peuvent résister pendant une longue période. Une transmission verticale est aussi possible. La séroprévalence à *Neospora caninum* n'est pas négligeable dans les populations de lynx. Dans la population étudiée dans la Sierra Morena, celle-ci était relativement élevée (21%)

(Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a). Un contact entre le lynx et d'autres espèces de carnivores sympatriques est ainsi mis en évidence, ce qui est en faveur d'une transmission inter-espèces d'agents infectieux (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a).

viii. Bactéries spirochètes *Leptospira interrogans*

Leptospira interrogans est à l'origine de la leptospirose, une maladie zoonotique infectieuse bactérienne grave mortelle (**Annexe 5**). Elle a été définie dans la partie traitant des maladies infectieuses du loup.

Comme pour le loup gris, l'infection aux leptospires se transmet surtout indirectement par contamination par les urines infectées dans des milieux souillés (eau, boue) et par les rongeurs qui sont des espèces réservoirs.

Dans une population de lynx ibériques espagnole, la séroprévalence de la leptospirose à *Leptospira interrogans* a été évaluée à 31.8% (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a). Des tests sérologiques ont également mis en évidence une exposition dans une population de lynx du Canada *Lynx canadensis* au Québec (Labelle et al., 2000).

ix. Exposition à des résidus toxiques

Les lynx sont susceptibles d'être en contact avec les mêmes résidus toxiques que ceux décrits chez les loups gris (**Tableau 2**), de manière accidentelle ou intentionnelle. Cette exposition à des molécules toxiques peut se produire par consommation de proies elles-mêmes imprégnées de résidus toxiques, comme des rongeurs ou des lagomorphes, ou par intoxication volontaire.

Les analyses toxicologiques réalisées sur des lynx ibériques dans le sud de l'Espagne ont mis en évidence des imprégnations de zinc, plomb, cadmium, cuivre et pesticides organochlorés dans des prélèvements de foie, tissu musculaire et moelle osseuse (J. Millán et al., 2008) Les faibles concentrations mesurées ne semblent pas pouvoir causer de manifestations cliniques chez les individus concernés.

Comme dit précédemment, la sévérité de l'atteinte clinique et la mortalité dépendent des doses ingérées. La toxicité peut être aiguë, lors d'ingestion importante, ou retardée.

x. Pression de braconnage

Des tirs de braconnage ont déjà été rapportés en France et dans les autres pays européens où le lynx boréal est présent. En République Tchèque, le braconnage se révèle être la cause principale de déclin des populations de lynx boréaux. En effet, sur neuf lynx suivis par télémétrie radio, quatre ont été tués de façon illégale (Červený et al., 2002). Dans les pays scandinaves, le braconnage représente aussi

la principale cause de mortalité des lynx boréaux, représentant près de la moitié de la mortalité chez les individus adultes (Andrén et al., 2006). Dans cette région, la présence du lynx est conflictuelle. L'espèce exerce une prédation considérable sur les cervidés dans le nord de la Scandinavie, ce qui les oppose aux chasseurs, et sur les moutons domestiques en liberté en Norvège.

Des cas de braconnage ou d'abattage réglementé en raison de la prédation sur des troupeaux de bétail ont également été observés en Suisse (Schmidt-Posthaus et al., 2002a; Thali et al., 2007).

d. Agents étiologiques associés à un niveau de risque négligeable

i. Virus de la Rage

Le lynx ne représente pas un réservoir important de la maladie (**Annexe 4**). En effet, le lynx est susceptible d'être infecté par le virus de la rage, mais il n'est pas réellement un vecteur car, contrairement aux canidés, il présente une forme paralytique non agressive. Or, la transmission du virus se fait *via* la salive, par voie cutanée ou muqueuse lors de lésions comme des morsures ou griffures, soit par contact étroit entre les individus. La contamination d'un autre animal à partir d'un individu infecté est donc peu probable. De plus, les lynx sont des prédateurs des renards, et vont ainsi permettre de réduire la transmission de la rage vulpine en limitant les effectifs de renards (Fernex, 1977b).

ii. Herpesvirus félin (FeHV-1)

L'herpesvirus félin est fragile dans l'environnement, la transmission indirecte est donc minoritaire (**Annexe 14**). De plus, le caractère solitaire des lynx limite la probabilité de contacts étroits entre individus, et donc la transmission directe par voie oro-nasale et oro-pharyngée. Une transmission verticale est possible, par contamination du nouveau-né lors du passage dans le canal de naissance, par contact avec les autres jeunes de la portée ou les sécrétions oro-nasales de la mère.

Les infections aux herpesvirus ont d'abord été prouvées comme possible par inoculation chez des lynx roux *Lynx rufus* en 1991 (Eberle et al., 1991). Des anticorps contre l'herpesvirus félin ont été détectés chez des lynx ibériques *Lynx pardinus* dans le Sud de l'Espagne, avec une séroprévalence de 11,1% (Roelke et al., 2008).

iii. L'alphaherpesvirus *Pseudorabies* et maladie d'Aujezky

Un premier cas avéré d'infection au virus *Pseudorabies* a été décrit chez un lynx ibérique *Lynx pardinus* en Espagne en 2015 (Masot et al., 2016). Le virus a été mis en évidence par PCR dans les cellules nerveuses et non nerveuses du cerveau, des nœuds lymphatiques et de cellules gastriques d'un jeune lynx retrouvé mort, qui présentait à l'examen histologique une méningoencéphalite non purpurée.

Etant donné qu'il s'agit du premier cas d'infection au virus SuHV-1 décrit chez un lynx, ses conséquences à l'échelle individuelle et populationnelles sont encore mal connues (**Annexe 8**).

iv. Protozoaires *Toxoplasma gondii* et *Cytauxzoon felis*

La toxoplasmose est une protozoose due à la prolifération du protozoaire de l'ordre des Coccidies : *Toxoplasma gondii* (**Annexe 13**). L'épidémiologie et les facteurs de risque liés à la toxoplasmose chez le lynx boréal sont peu connus. Les félidés, dont le lynx, sont porteurs d'oocystes de petite taille et présentent une coccidiose intestinale banale. Les oocystes deviennent infectants après sporulation dans l'environnement. Il semblerait que la principale source d'exposition des lynx ibériques à *Toxoplasma gondii* soit la consommation de viande de lapins sauvages, leur proie principale, porteuse du protozoaire. La consommation de lapins sauvages est en revanche moins privilégiée par les lynx boréaux. Une contamination indirecte via de l'eau ou un aliment contaminé par des ookystes issus de fèces de chats infectés ne peut être exclue et est facilitée en raison de la forte résistance du parasite dans l'environnement. La contamination peut se faire par voie transplacentaire. Chez une population de lynx *Lynx pardinus* issue de la région de Doñana en Espagne, la séroprévalence à *Toxoplasma gondii* s'est avérée être la plus élevée avec 61% (n=19/31). Elle est plus élevée chez les groupes d'individus plus âgés (Jokelainen et al., 2013; Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a). Par conséquent, les protozoaires *T. gondii* seraient enzootiques dans les populations de lynx ibériques.

L'espèce *Cytauxzoon felis* est un parasite sanguin, transmis par les tiques du genre *Dermacentor*. La première zone endémique européenne de *Cytauxzoon* sp a été mise en évidence en Italie du Nord en 2012 (Carli et al., 2012). Une mise en contact de ce protozoaire avec le lynx boréal a également été démontrée en Roumanie en 2014. Chez les individus étudiés, la séroprévalence de l'infection à *Cytauxzoon* atteignait même 100% (Gallusová et al., 2016). Un premier cas a été décrit en France en 2017 chez un chat domestique, dans la région de la Bourgogne-Franche-Comté, montrant la circulation du parasite sur le territoire français (Legroux et al., 2017).

v. Bactérie *Mycobacterium bovis*

La bactérie *Mycobacterium bovis* peut se transmettre par contact direct ou par voie indirecte (**Annexe 11**). Comme cela a été défini auparavant, pour les carnivores, la contamination se fait majoritairement par voie digestive par consommation des matières contaminées issues de proie qui sont les petits cervidés ou les sangliers. Les oiseaux peuvent aussi représenter une source potentielle de *Mycobacterium bovis*.

Peña et al (2006) ont trouvé des preuves directes d'infection active à *Mycobacterium bovis* chez des lynx ibériques *Lynx pardina*. En effet, des analyses bactériologiques par PCR sur les granulomes observés à l'autopsie se sont révélés positifs.

vi. Bactéries de la famille des *Anaplasmataceae*

L'ehrlichiose et l'anaplasmose sont résumées dans l'**Annexe 10**. Des infections actives aux bactéries du genre *Ehrlichia* ont été mises en évidence chez des lynx ibériques en Espagne (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a). Des anticorps contre *Ehrlichia* et *Anaplasma* ont également été détectés chez des lynx boréaux en Suède (Ryser-Degiorgis et al., 2005a).

L'anaplasmose à *Anaplasma phagocytophila* a été mise en évidence chez des renards roux *Vulpes vulpes* dans les Alpes Suisses (Karbowiak et al., 2009) et chez des ongulés sauvages (chamois et chevreuils) (Liz et al., 2002). Or, ces espèces partagent leur territoire avec le lynx boréal, et sont susceptibles d'entretenir des contacts étroits par prédation, ce qui favorise la transmission de la bactérie interspécifique.

Il s'agit d'une maladie vectorielle, transmise par la tique *Rhipicephalus sanguineus*, qui se répartit surtout sur le bassin méditerranéen en France. La probabilité de contact entre cette tique et le lynx est donc peu probable, car nous le rappelons le lynx se distribue principalement dans les Alpes et le massif jurassien.

vii. Bactérie *Chlamydomphila felis*

Les bactéries du genre *Chlamydomphila* sont à l'origine de la chlamyidiose féline chez les félinés (**Annexe 20**).

Chlamydomphila felis se distribue dans le monde entier. Cette maladie infectieuse se transmet principalement par contact direct. Cette bactérie a été mise en évidence chez des lynx ibériques avec une séroprévalence de 4.5%. La chlamydomphilose a été détectée post mortem chez un lynx sur les quatre autopsiés dans la région d'étude, sans lésion associée (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009b).

viii. Bactéries du genre *Mycoplasma*

Des mycoplasmoses ont déjà été décrites chez des lynx (cf **Annexe 21**). Des bactéries *Mycoplasma arginini* ont déjà été mises en évidence chez des lynx du Parc Zoologique de Londres (Hill, 1975). Cependant, aucune étude n'a encore permis de déterminer la caractère pathogène de cet agent infectieux chez les carnivores sauvages, à l'exception du raton laveur *Nyctereutes procyonoides viverrinus* (Sumithra et al., 2013).

Une exposition à *Mycoplasma haemofelis* a également été mise en évidence chez des lynx boréaux en Suisse, avec une séroprévalence de 44% (Willi et al., 2007a). Cette infection est connue chez les chats domestiques, et est appelée hémobartonellose. Elle cause une anémie hémolytique sévère, pouvant aller jusqu'à la mort, associée à une anorexie et un abattement (Wolf-Jäckel et al., 2010).

ix. Bactérie *Yersinia pestis*

La bactérie *Yersinia pestis* est à l'origine de la peste, qui est une zoonose très grave chez l'homme (**Annexe 22**). Des anticorps anti-*Yersinia* ont déjà été mis en évidence chez plusieurs lynx *Lynx canadensis* en Amérique du Nord (Biek et al., 2002). Le mode de contamination le plus probable est celui de la consommation de rongeurs ou de lagomorphes infectés par *Yersinia pestis*. La contamination par morsure d'insectes parasites (puces notamment) n'a pas été démontrée chez le lynx.

Wild et al (2006) ont mis en évidence des cas de mortalité pour lesquels la peste a été mise en cause dans une population de lynx du Canada *Lynx canadensis*. Six lynx autopsiés montraient des lésions compatibles avec la peste et l'infection à *Yersinia pestis* a été confirmée par mise en culture ou analyse sérologique.

x. Infections bactériennes mineures

Des infections bactériennes à streptocoques ont déjà été mises en évidence chez des lynx comme étant à l'origine de bronchopneumonie purulente fatale. Les bactéries identifiées sont notamment les streptocoques bêta-hémolytiques *Streptococcus pyogenes* et *Streptococcus canis* (Schmidt-Posthaus et al., 2002a). Les agents pathogènes du genre *Streptococcus* sont des bactéries Gram+. Les infections peuvent être asymptomatiques.

Les bactéries du genre *Salmonella* sont des entérobactéries Gram- de petite taille (3 µm environ). Elles touchent principalement les bovins, ovins, équidés et suidés. Cependant, le lynx serait un porteur asymptomatique de l'espèce *Salmonella enterica*, comme de nombreux autres carnivores. La contamination se fait à partir d'une proie contaminée. En revanche, en cas d'infection concomitante, il est possible que des signes cliniques apparaissent (diarrhée légère ou signes de gastro-entérite plus marqués) (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a).

xi. Processus néoplasiques, neurologiques, circulatoires et génito-urinaires

Dans l'étude histologique menée par Peña et al sur les nœuds lymphatiques de lynx ibériques autopsiés, des processus néoplasiques ont été objectivés chez certains individus. Parmi les néoplasies observées, on peut citer le carcinome urothélial ou le carcinome épidermoïde (Peña et al., 2006). De plus, d'après Heaver et al, il a été démontré que six lynx captifs dans des parcs zoologiques du Royaume-Uni sont décédés des suites de néoplasies fatales entre 2000 et 2015 (Heaver et Waters, 2019). Pour cinq d'entre eux, les analyses histopathologiques entreprises

ont permis de diagnostiquer des carcinomes à cellules squameuses. Les individus atteints de processus néoplasiques étaient majoritairement âgés (5/6).

L'étude de Heaver *et al* a aussi permis de montrer l'importance des maladies neurologiques dans la mortalité des lynx captifs au Royaume-Uni. De l'épilepsie idiopathique a été identifiée comme la cause de la mort chez quatre individus, dont trois appartenaient à la classe d'âge gériatrique (Heaver et al., 2019).

Des maladies circulatoires ont également été mises en évidence comme causes de la mort de quatre lynx, parmi lesquels trois présentaient des cardiomyopathies (Heaver et al., 2019). Un cas de mortalité causé par une cardiomyopathie a aussi été démontré chez un lynx mâle adulte en Suisse en 2003 (Ryser-Degiorgis et Robert, 2006). Une étude histopathologique réalisée sur 38 échantillons de cœurs de lynx suisses et 21 de lynx suédois a montré que 66% de la population suisse présentait des lésions cardiaques (fibrose myocardique ou artériosclérose), alors que cette prévalence était inférieure, de l'ordre de 24%, en Suède. Cette dernière étude a mis en évidence que les adultes et sub-adultes sont significativement plus atteints par ces pathologies cardiaques que les juvéniles, et que la prévalence est significativement plus élevée chez les mâles que les femelles (Ryser-Degiorgis et al., 2006). Il semblerait que le ventricule droit et le septum inter-ventriculaire soient plus sévèrement atteints par ce type de lésions, et que la face interne du myocarde soit plus affectée (Ryser-Degiorgis et al., 2006). L'anatomie cardiaque et les pathologies cardiaques ont été analysées post mortem sur des lynx boréaux finlandais, permettant de donner une description anatomique détaillée du cœur des individus de cette espèce (Kareinen et al., 2020). Une table des mesures physiologiques du cœur des lynx boréaux a ainsi pu être établie et représente un guide pour les pathologistes lors des examens nécropsiques de lynx.

Enfin, des pathologies de la sphère uro-génitale ont été démontrées chez quatre lynx captifs au Royaume-Uni, qui présentaient tous des néphropathies avancées (Heaver et al., 2019). L'atteinte néphrologique a été fatale pour un seul individu, alors que les trois autres présentaient des lésions compatibles avec des maladies rénales chroniques. Des maladies rénales chroniques ont été diagnostiquées chez des lynx ibériques *Lynx pardinus* (Jiménez et al., 2008), sans qu'aucun animal de l'étude ne meure de son atteinte rénale. La lésion principalement observée correspond à une glomérulonéphrite membraneuse, à différents grades de sévérité. Dans les cas les plus sévères, une sclérose des capillaires glomérulaires a été observée. Les autres lésions trouvées sont les néphrites interstitielles et les scléroses tubulaires.

e. Tableaux récapitulatifs des risques associés aux agents étiologiques à l'origine de morbidité chez le lynx boréal en France

Agent étiologique	Exposition			Risque populationnel			Evaluation du risque global
	Séro-prévalence	Mode de transmission	Risque d'introduction	Expression clinique et sévérité individuelle	Morbidité, mortalité et létalité	Forme épidémiologique	
Virus de la leucémie féline (FeLV)	Lynx ibérique : 27% (région de Doñana, Espagne) (G. López et al., 2009)	Contagiosité élevée ; transmission faible car contamination indirecte peu probable (virus fragile dans l'environnement), contamination par contact direct rare par voie oro-nasale via la salive ; transmission par les chats domestiques la plus probable (M. L. Meli et al., 2009); transmission verticale rare	Présence du virus le territoire français, avec une prévalence faible chez les chats domestiques ; prédation sur les chats qui sont porteurs	Infections sévères rares ; développement de tumeurs des organes lymphoïdes et hémato-poïétiques, à l'origine d'anémie et d'immunosuppression ; 2 cas de mortalité décrits chez des <i>Lynx pardinus</i> (Geret et al., 2011a), mortalité décrite chez les <i>Lynx rufus</i> également (Geret et al., 2011b)	Aucun cas de mortalité décrit	Sporadique	Modéré
Ecto-parasites (acariens et insectes)	Alpes suisses 65% des lynx analysés (J. Millán et al., 2007)	Très contagieux ; transmission par contact direct donc peu probable chez le lynx, sauf en période de reproduction notamment	Présente sur le territoire français, renards roux et chiens et chats domestiques porteurs, mis en évidence en Suisse et en France chez le lynx boréal	Troubles cutanés, épuisement, anémie, dermatite proliférative sévère en fin d'évolution (Schmidt-Posthaus et al., 2002a) ; Individus porteurs affaiblis donc plus vulnérables aux pathogènes secondaires	Mortalité décrite chez des lynx boréaux suisses et norvégiens (Pence et al., 2002; Ryser-Degiorgis et al., 2002)	Enzootie (Ryser-Degiorgis et al., 2002)	Modéré
Endo-parasites (<i>Toxascaris leonina</i> et <i>Toxocara canis</i> surtout)	Alpes suisses : 67% des lynx analysés porteurs d'endo-parasites (Schmidt-Posthaus et al., 2002a)	Transmission par ingestion d'œufs ou d'hôtes intermédiaires porteurs, favorisée par la forte résistance des œufs dans l'environnement. Renard roux est une espèce réservoir de certains parasites, donc transmission directe lors de prédation possible.	Déjà présents sur le territoire français, chiens et chats domestiques et renards roux porteurs des parasites	Cause de mortalité infectieuse la plus fréquente chez cette espèce en Suisse (Schmidt-Posthaus et al., 2002a) ; Infestations sévères : troubles digestifs, pelage de mauvaise qualité, anémie, obstruction intestinale ; Individus porteurs affaiblis donc plus vulnérables aux pathogènes secondaires	Rares cas de mortalité sans co-infection avec d'autres agents pathogènes (Schmidt-Posthaus et al., 2002a)	Enzootie (Ryser-Degiorgis et al., 2002)	Modéré
Parvovirus (FPV)	Lynx ibériques : 6,2% (Sierra Morena, Espagne) (Roelke et al., 2008)	Hautement contagieux ; transmission par contact direct faible car espèce solitaire, transmission indirecte majoritaire par	Présent en France et dans des territoires voisins (Espagne, Portugal, Italie) (Javier Millán,	Infection aigüe ; Gastro-entérite hémorragique modérée	Un cas de mortalité décrit chez un lynx boréal (Wasieri et al., 2009)	Enzootie	Faible

		voie oro-nasale par contact avec des sécrétions et par ingestion de selles contaminées (favorisée par sa survie plusieurs mois dans l'environnement), transmission transplacentaire	Candela, Palomares, et al., 2009a), animaux domestiques jouent rôle de réservoir				
	Risque modéré		Risque faible				
Virus de l'immuno-déficience féline (FIV)	Prévalence assez élevée chez les chats domestiques : environ 10% dans la population générale. 1 cas décrit chez un lynx ibérique dans le sud de l'Espagne (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a)	Transmission horizontale directe par morsure lors de rapports belliqueux, par les chats domestiques en première hypothèse ; transmissions verticales transplacentaire et néonatale anecdotiques	Prévalence assez élevée chez les chats domestiques	Asymptomatique chez certains individus, mais souvent syndrome d'immunodéficience acquise évoluant en syndrome de dépérissement par analogie avec les chats domestiques	Aucun cas de mortalité décrit chez le lynx boréal	Enzootie	Faible
	Risque faible		Risque faible				
Virus de la maladie de Carré (CDV)	Lynx ibérique : 14,8% (Andalousie, Espagne) (M. L. Meli et al., 2010)	Transmission par contact direct intra-spécifique peu probable, par contact inter-spécifique lors de prédation ; voie indirecte (oro-nasale) difficile car non résistant dans l'environnement	Présent dans des territoires voisins (Espagne, Portugal, Italie) et en France	Adaptation via des mutations génomiques pour devenir pathogène chez le lynx (Origi et al., 2012) ; Peut provoquer des encéphalites (mis en évidence chez des lynx canadiens <i>Lynx canadensis</i> et des lynx roux <i>Lynx rufus</i> (Daoust et al., 2009)) Un cas d'infection sévère en Suisse (Origi et al., 2012)	Aucun cas de mortalité décrit chez le lynx boréal, un cas décrit chez un lynx ibérique (M. L. Meli et al., 2010)	Sporadique	Faible
	Risque modéré		Risque faible à modéré				
Coronavirus félin (FCoV)	Non documenté	Forme non pathogène, de la flore commensale, devient pathogène après mutations génomiques. Transmission indirecte par consommation de selles contaminées par des individus porteurs	Non documenté	Souvent asymptomatique. (Biek et al., 2002) Forme digestive : entérite banale Forme sévère : péritonite infectieuse féline, polymorphe, toujours fatale	Aucun cas de mortalité décrit	Forme pathogène sporadique (Ryser-Degiorgis et al., 2005a)	Faible
	Risque faible		Risque faible				
Adénovirus canin de type 1 (CAV-1)	Non documenté	Transmission par contact direct inter-spécifique depuis les canidés possible (Javier	Présent chez les loups gris dans la région des	Non documenté	Aucun cas de mortalité décrit	Sporadique	Faible

		Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a) mais peu probable, favorisée par sa forte stabilité dans l'environnement	Alpes Françaises et dans les territoires voisins. Espèce réservoir : renard roux (Verin et al., 2017)				
	Risque faible			Risque inconnu			
Protozoaire <i>Neospora caninum</i>	Prévalence chez les lynx ibériques : 21% (Sierra Morena, en Espagne) (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a)	Lynx n'est pas un hôte définitif. Rarement transmis par contact direct entre lynx, sauf lors de prédation ou reproduction, indirectement via les oocystes émis dans les selles (résistants dans l'environnement) et transmission transplacentaire	Déjà présents sur le territoire français, carnivores domestiques porteurs peuvent être en contact avec des lynx	Non documenté	Aucun cas de mortalité décrit	Enzootie	Faible
	Risque modéré			Risque inconnu			
Bactérie <i>Leptospira interrogans</i>	Lynx ibériques espagnols : 31.8% (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a)	Transmission indirecte par contact avec des matières contaminées par des urines infectées	Circule sur le territoire français, mis en évidence chez des lynx espagnols	Souvent porteurs asymptomatiques, expression clinique mal connue chez le lynx boréal	Aucun cas de mortalité décrit	Sporadique	Négligeable à faible
	Risque modéré			Risque négligeable à faible			
Calicivirus félin (FCV)	Lynx ibérique : 4,5% (Espagne) (Roelke et al., 2008)	Transmission par voie oro-nasale, via les aérosols, ou par voie oro-fécale, favorisée par sa résistance plusieurs semaines dans le milieu extérieur	Virus circulant dans les populations de chats domestiques	Infection très polymorphe. Syndrome fébrile avec lésions ulcératives buccales et nasales classiquement. Souvent guérison spontanée en quelques jours. Forme systémique sévère rare.	Aucun cas de mortalité décrit chez le lynx boréal	Enzootie	Négligeable à faible
	Risque faible			Risque négligeable à faible			
Protozoaire (<i>Toxoplasma gondii</i> surtout)	Prévalence élevée chez les lynx ibériques de la Sierra Morena en Espagne : 80,7% (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a) Prévalence plus élevée chez les individus âgés	Transmission principalement par consommation de viande de lapins sauvages porteurs, ou par contamination indirecte via de l'eau ou un aliment contaminé par des ookystes (résistants dans le milieu), comme un aliment contaminé par des ookystes issus de fèces de chats, ou par voie trans-placentaire	Prévalence importante chez les chats domestiques en France, certaines proies du lynx porteuses	Coccidiose intestinale banale donc signes digestifs, parfois asymptomatique. Rarement mortelle.	Pas de mortalité rapportée chez le lynx boréal, un cas décrit de mortalité néonatale chez un lynx roux (Jokelainen et al., 2013)	Enzootie (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a)	Négligeable
	Risque élevé			Risque négligeable			
Bactérie <i>Mycobacterium</i>	Non documenté	Contamination digestive indirecte	Foyers sporadiques	Evolution chronique, polymorphisme de	Mis en évidence chez	Sporadique	Négligeable

<i>bacterium bovis</i>		par consommation de matières contaminées (proies telles que des sangliers...), permise par la grande résistance dans le milieu extérieur, ou par contact direct par voie respiratoire. Transmission néonatale par le lait possible. Espèce réservoirs : sangliers et cervidés.	de tuberculose encore présents en France	signes cliniques peu spécifiques. Dégradation sévère de l'état général en fin d'évolution (amaigrissement marqué) décrite chez d'autres carnivores sauvages. Forme généralisée : mortelle	un lynx ibérique (Briones et al., 2000)		
Risque faible			Risque négligeable				
Virus de la rage (RABV)	Nulle	Hautement contagieux. Transmission via la salive, par voie cutanée ou muqueuse (nécessairement par des lésions de type griffures, morsures...) soit par contact étroit entre les individus, ce qui diminue la probabilité d'infection chez les lynx.. Transmission intra et inter-spécifique (le renard est l'espèce réservoir)	Faible : France indemne de rage, contrôles rigoureux aux frontières depuis les pays non indemnes, vaccination des carnivores domestiques	Forme paralytique non agressive (Fernex, 1977b)	Aucun cas de mortalité décrit	Sporadique	Négligeable
Risque négligeable			Risque faible				
Bactéries <i>Anaplasmataceae sp</i>	Non documenté	Transmission vectorielle par les tiques <i>Rhipicephalus</i>	Dans les Alpes Suisses, <i>A. phagocytophila</i> mis en évidence chez des renards roux (Karbowski et al., 2009) et des ongulés sauvages (Liz et al., 2002) donc proximité des porteurs	Souvent asymptomatique chez les félidés	Aucun cas de mortalité décrit	Non documenté	Négligeable
Risque faible			Risque négligeable				
Herpesvirus félin (FeHC-1)	Non documenté	Virus fragile et contact entre individus rare donc transmission faible, par contact direct via les sécrétions respiratoires et génitales. Transmission indirecte par les aérosols possible au pic d'excrétion. Contamination	Non documenté	Décrit chez des espèces domestiques : troubles de la reproduction et atteintes respiratoires légères. Mortalité néonatale décrite chez les chiens domestiques.	Aucun cas de mortalité décrit chez le lynx boréal	Sporadique	Négligeable

		néonatale possible.					
	Risque faible			Risque négligeable			
Bactérie <i>Chlamydo- phila felis</i>	Prévalence de 4,5% chez les lynx ibériques (Espagne) (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a)	Transmission essentiellement directe donc rare chez le lynx	Non documenté	Portage souvent chronique, avec de longues phases asymptomatiques. Troubles oculaires majoritaires, respiratoires, hyperthermie, dysorexie	Aucun cas de mortalité décrit	Non documenté	Négligeable
	Risque faible			Risque négligeable			
Bactéries <i>Mycoplasma</i>	<i>Mycoplasma haemofelis</i> : prévalence jusqu'à 44% chez les lynx européens (Willi et al., 2007b)	Non documenté	Non documenté	Caractère pathogène inconnu chez les carnivores sauvages. Anémie hémolytique sévère chez les chats domestiques.	Aucun cas de mortalité décrit	Non documenté	Négligeable
	Risque modéré			Risque inconnu			
Virus <i>Pseudo- rabies</i>	Non documenté	A priori transmission par voie orale, par ingestion de matière issue d'un animal contaminé (sanglier ++) Espèce réservoir : sanglier	Virus circulant chez les sangliers et donc sur le territoire des lynx	Non documenté	Un cas détecté chez un lynx ibérique en Espagne en 2015 (Masot et al., 2016)	Sporadique	Négligeable
	Risque faible			Risque négligeable			
Bactérie <i>Yersinia pestis</i>	Non documenté	Contamination indirecte par consommation de rongeurs ou lagomorphes infectés	Non documenté	Infection aigüe, signes non spécifiques. Mortalité chez des individus autopsiés en Amérique du Nord (Biek et al., 2002)	Aucun cas de mortalité décrit	Sporadique en France, épizootie lors d'apparition de cas	Négligeable
	Risque négligeable			Risque négligeable			

Tableau 5 : Répertoire des agents pathogènes d'origine infectieuse à l'origine de morbidité chez le lynx boréal en France, classés selon le niveau de risque associé

Cause anthropique	Risque à l'échelle populationnelle	Conséquences à l'échelle individuelle	Evaluation globale du risque
Collisions avec des véhicules et trains	De plus en plus fréquentes (densification des réseaux routier et ferroviaire, morcellement du territoire, modèle de dispersion de l'espèce) ; 34% des causes de mortalité non infectieuses dans une population suisse (Schmidt-Posthaus et al., 2002a)	Traumatismes souvent brutaux, pouvant être mortels pour les animaux qui en font l'objet	Elevé
Exposition à des toxiques	Contact accidentel par consommation de proies ayant ingéré un produit toxique, ou intoxication criminelle par disposition directe d'un toxique ou d'appâts contaminés ; Représente peu de cas a priori	Sévérité dépendant de la molécule et de la quantité ingérée. Peut être mortel lors d'ingestion d'une dose importante. Anti-coagulants : signes hémorragiques ; Chloralose : signes nerveux ; Inhibiteurs des cholinestérases : signes digestifs et cardio-respiratoires.	Faible
Braconnage	Cas isolés de braconnage rapportés en France, rendus publics, et dans les pays voisins (Italie, Suisse...).	Tirs souvent létaux	Faible

Tableau 6 : Répertoire des agents étiologiques d'origine anthropique à l'origine de morbidité chez le lynx boréal en France

f. Causes de mort naturelles

Tout comme pour les loups, les causes de mortalité naturelle sont le vieillissement et la compétition entre individus. En effet, le lynx est une espèce solitaire, et chaque individu vit sur un territoire précis. Lorsque les territoires de lynx

viennent à se recouper, ou qu'un individu pénètre sur l'aire d'habitat et de chasse d'un autre individu, des attaques intra-spécifiques peuvent avoir lieu.

Le taux de mortalité chez les jeunes lynx est naturellement élevé. En effet, près de la moitié des jeunes n'atteignent pas l'âge adulte (Breitenmoser, 2000).

Pour les espèces où les contacts sociaux sont limités, comme le lynx, l'infanticide par les mâles constitue une stratégie reproductrice. Cependant, des cas d'infanticides non parentaux ont déjà été décrits (Guillermo López et al., 2010). Ce type d'infanticide permet de raccourcir la période d'inter-œstrus, et offre donc la possibilité au mâle de se reproduire avec la femelle.

L'infanticide non parental est une méthode individuelle visant à augmenter les aptitudes reproductrices du mâle.

III. Suivi sanitaire de la faune sauvage

A) Enjeux de l'épidémiosurveillance de la faune sauvage

La surveillance épidémiologique des maladies animales est une méthode d'observation et d'analyse, reposant sur une collecte systématique et continue de données sanitaires. Le but est de suivre la situation sanitaire d'une population, et en particulier de déceler l'apparition de processus pathologiques représentant un danger pour la santé publique et animale. Elle présente un intérêt majeur pour avoir connaissance de la situation épidémiologique des maladies sur le territoire et elle permet d'anticiper les crises sanitaires (Morner et al., 2002). Dans le cas de l'épidémiosurveillance des espèces de faune sauvage, l'enjeu est de protéger les populations animales contre ces maladies mais aussi, dans une moindre mesure, d'alerter en cas de l'apparition de zoonoses.

Les objectifs de la surveillance épidémiologique sont de pouvoir détecter précocement l'apparition d'une maladie, de qualifier sa prévalence et son incidence par la suite, et de suivre son évolution dans le temps et l'espace, afin de mettre en place un plan de lutte, et d'évaluer ses résultats rapidement.

Il existe trois types de surveillance pour la faune sauvage (Decors et al., 2014a) :

- Surveillance événementielle : généraliste, elle permet la détection précoce de signaux de mortalité et de morbidité anormaux ;
- Surveillance événementielle renforcée : cette méthode est utilisée pour détecter une maladie dans une zone précise, et à une période à risque d'émergence ;
- Surveillance programmée (ou active) : « *vise à tester de manière standardisée et systématique, pour un ou plusieurs agents pathogènes qui n'entraînent pas nécessairement de signes cliniques ou des lésions détectables, un échantillon suffisant d'animaux dans une population afin de détecter une prévalence limite d'animaux infectés ou réactifs* » (Decors et al., 2014a). Il permet de couvrir des tailles d'échantillons relativement importantes, sur une zone assez étendue en un temps limité. Cette surveillance cible préférentiellement une espèce. Elle est en cours de développement pour les espèces de grands carnivores français. Elle est souvent combinée à d'autres méthodes de surveillance.

Aujourd'hui, les facteurs de risque sont accrus du point de vue sanitaire pour la faune sauvage. L'urbanisation est à l'origine d'une restriction de l'espace de vie et d'une fragmentation du milieu par le réseau routier, et de multiples usages de l'espace doivent cohabiter (agriculture, loisirs, biodiversité...), impactant les populations sauvages (Patz et al., 2004). Enfin, de nos jours, les interactions entre

espèces sauvages et domestiques sont accrues, et sont en faveur d'une transmission facilitée d'agents pathogènes.

Des études chez le lynx ibérique *Lynx pardinus* ont montré que cette espèce, proche du lynx boréal, serait susceptible d'être infecté par de nombreux agents pathogènes rencontrés chez d'autres espèces de carnivores proches phylogénétiquement. On peut citer par exemple le virus de l'immunodéficience féline (FIV), le virus de la leucémie féline (FeLV) ou le virus de la maladie de Carré (CVD). Leur sensibilité, le partage de leur territoire avec d'autres espèces porteuses et leur apparente absence d'immunité contre ces agents infectieux à l'échelle collective, les rend vulnérables si ces maladies venaient à émerger dans leur aire d'habitat (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009a) Cela fait des maladies infectieuses un des principaux enjeux pour la conservation des lynx. Le contrôle de la prévalence de ces maladies dans les populations d'espèces voisines se révèle être une priorité dans la conservation du lynx.

Les maladies ne permettent pas à elles seules d'expliquer l'extinction d'une population d'espèce hôte (De Castro et Bolker, 2005). En effet, il a été démontré que les maladies peuvent causer l'extinction d'espèces sauvages (Thorne et Williams, 1988), seulement lorsque l'effectif de population est limité et qu'il existe des espèces réservoirs partageant le même territoire (De Castro et al., 2005). D'après l'absence apparente d'immunité acquise contre ces agents infectieux chez le lynx, et le fait que ces agents infectieux ont déjà été détectés chez des espèces de carnivores proches, l'émergence d'une de ces maladies pourrait être un risque non négligeable pour leur survie. Cela renforce l'importance de la connaissance des maladies infectieuses pour la conservation des lynx.

B) L'organisation d'un réseau à l'échelle nationale : le réseau SAGIR

SAGIR est l'un des réseaux français de surveillance épidémiologique des maladies des mammifères et oiseaux sauvages en France, animé et administré par l'Office Français de la Biodiversité. Ce réseau réalise une collecte quotidienne d'informations sur la mortalité de la faune sauvage, grâce à la collaboration étroite entre l'Office Français de la Biodiversité et des fédérations de chasseurs. Il s'agit d'un outil de vigilance aussi bien vis-à-vis des maladies déjà présentes sur le territoire, que vis-à-vis des maladies nouvelles quelle que soit la nature de l'agent pathogène incriminé. Lors d'une épizootie, on remarque une augmentation anormale d'évènements de mortalité sur le terrain, à l'échelle nationale ou locale (Decors et al., 2014b). Ca a été le cas par exemple pour la maladie de l'œdème chez le sanglier sauvage en 2013 (Decors et al., 2015). Cette détection en temps réel de la mortalité de la faune sauvage représente donc un enjeu sanitaire primordial.

Le réseau SAGIR met en jeu plusieurs acteurs. Les premiers maillons de la chaîne sont les interlocuteurs techniques départementaux (ITD), qui prennent en

charge les cadavres découverts de façon fortuite sur le terrain par des observateurs divers (promeneurs, agent de l'Office Français de la Biodiversité, technicien d'une fédération de chasse, agriculteurs, naturalistes, etc...). Pour les espèces loups et lynx, les cadavres sont collectés quel que soit leur état de conservation. Les cadavres sont ensuite transférés au laboratoire vétérinaire départemental le plus proche, qui s'articule ensuite pour certains examens complémentaires avec des laboratoires spécialisés (toxicologie, parasitologie, histologie) ou de référence. Une fiche SAGIR, associée à un numéro unique, assure la traçabilité des résultats. Ces résultats sont ensuite centralisés dans une base de données nationale, administrée par l'Office Français de la Biodiversité, *Epifaune*. Après centralisation, les résultats sont restitués auprès de tous les acteurs et sont valorisés d'un point de vue scientifique. C'est ainsi que plus de 2000 nécropsies sont réalisées dans les laboratoires vétérinaires départementaux chaque année en France.

L'Unité Sanitaire de la Faune (USF) est une unité qui a pour but la surveillance des maladies des oiseaux et des mammifères sauvages. Cette surveillance repose sur deux dispositifs, qui sont la surveillance événementielle permanente entreprise par le réseau SAGIR, pour tout agent pathogène et sur l'ensemble du territoire national, et la réalisation d'études ciblant des couples espèces/pathogènes dans un territoire et un temps donnés.

C) Le réseau Loup-Lynx

L'Office Français de la Biodiversité (OFB) est un établissement public dédié à la protection et la restauration de la biodiversité qui pilote divers réseaux et missions. L'un d'eux est le réseau Loup-lynx, issu de la fusion en 2001 des réseaux Lynx et Loup, auparavant séparés. Il existe un ou plusieurs représentants du réseau Loup-Lynx au sein de chacune des 13 directions inter-régionales métropolitaines qui constituent l'OFB.

Le réseau Loup-lynx constitue un outil de suivi et de surveillance des populations de loups et de lynx en France. Il permet de rendre compte de l'évolution des aires de répartition et de la démographie de ces deux espèces protégées sur le territoire français. Il s'agit d'un système de surveillance unique en Europe qui repose sur l'association d'indicateurs géographiques et démographiques de présence de ces animaux sur le terrain afin de suivre leur expansion. Ce système permet la formalisation de l'analyse des données, et donc de signaler les éléments atypiques. L'objectif est de rendre compte objectivement de l'état de conservation de ces espèces et ainsi de permettre d'adapter les mesures de protection. En ce qui concerne l'espèce loup, la délimitation des secteurs de présence et la démographie permettent également de définir les zones d'éligibilité aux mesures de protection des troupeaux contre la prédation (tirs de régulation notamment).

Les plans de gestion de ces deux espèces reposent sur la combinaison d'indicateurs d'état et de tendance. Il existe pour cela des outils indirects et géographiques, grâce à la collecte étendue d'indices de présence, qui permettent d'estimer l'aire de présence de l'espèce. Un autre type d'outils, directs et démographiques cette fois, permet quant à lui une meilleure compréhension des mécanismes biologiques à l'œuvre.

D) Une surveillance originale à l'interface des deux réseaux

Les réseaux SAGIR et Loup-Lynx sont imbriqués et complémentaires en ce qui concerne la surveillance et le suivi des espèces loup et lynx en France. En effet, le réseau Loup-Lynx constitue l'outil de suivi des populations de loups gris et de lynx boréaux, alors que le réseau SAGIR représente un dispositif de surveillance et de caractérisation spatio-temporelle des maladies auxquelles ces espèces sont sujettes. Leurs actions conjointes permettent de rendre compte des agents étiologiques pouvant représenter un risque pour ces carnivores, et de les mettre en relation avec l'évolution de leur démographie. Le réseau Loup-Lynx organise une collecte continue et structurée de données sur le terrain, et ces données peuvent aussi être mises à profit par le réseau SAGIR pour la surveillance épidémiologique des populations. Les acteurs de terrain et collaborateurs sont à l'interface entre les deux réseaux, et ils sont ainsi en mesure d'alerter à l'échelle nationale en cas de mise en évidence de signaux de morbidité anormaux. De plus, les différents réseaux sont en collaboration avec les laboratoires départementaux d'analyses vétérinaires. Cela est également en faveur d'actions rapides généralisées si des pathologies venaient à être détectées de façon anormale.

PARTIE 2 : EPIDEMIOLOGIE DESCRIPTIVE DES PROCESSUS
MORBIDES CHEZ LES ESPECES LOUP ET LYNX, A PARTIR DE
DONNEES RECOLTEES ENTRE 1986 ET 2019

I. Cadre et objectifs généraux de l'étude

Cette étude rétrospective a été réalisée en 2020, à partir des données sanitaires collectées par les réseaux SAGIR et Loup-Lynx entre en 1990 pour le lynx boréal, 1992 pour le loup gris (dates des premières données disponibles après la réapparition de ces grands carnivores) et 2019.

L'objectif de cette étude est de fournir un bilan descriptif des processus morbides à mortels rencontrés par les populations sauvages de loups gris et de lynx boréaux en France. De nouvelles stratégies de surveillance sanitaire seront également proposées et adaptées au contexte de ces espèces.

II. Matériel et méthodes

A) Constitution d'un évènement SAGIR après la collecte d'un cadavre

Un « évènement » correspond, pour le réseau SAGIR, à un épisode de mortalité concernant une espèce, sur une journée, sur une surface géographique de 1 km². Un échantillon correspond à un cadavre. Un évènement comporte de 1 à n échantillons. Pour les carnivores sauvages, à tendance solitaire ou vivant en petite communauté, un évènement vise souvent un seul individu.

Pour chaque évènement donné, une unique fiche SAGIR est obligatoirement remplie. Une fiche de données SAGIR apporte de nombreux renseignements aux acteurs du réseau :

- Numéro d'Identification unique ;
- Précisions sur la découverte et la collecte du prélèvement (coordonnées du découvreur et collecteur, date, coordonnées GPS) ;
- Description du prélèvement (espèce, sexe, classe d'âge et moyen de détermination, état du cadavre et conditions de conservation) ;
- Mortalité groupée/anormale ;
- Commémoratifs de l'échantillon (environnement du cadavre, examen externe du cadavre et symptômes si l'animal est trouvé vivant) ;
- Suspicion du découvreur et commentaires.

B) Données issues des examens nécropsiques

Après la découverte d'une dépouille, si son état le permet, celle-ci est transférée au laboratoire départemental d'analyses vétérinaires le plus proche, qui procède à un examen nécropsique complet.

a. Autopsie

L'anatomopathologie joue un rôle clé dans la surveillance sanitaire des animaux sauvages. En 2014, les résultats d'autopsie ont été standardisés avec la mise en œuvre d'un protocole harmonisé pour fiabiliser les données et faciliter leur analyse. Celui-ci a été adapté aux contextes loup-lynx en 2017 et est mis à jour régulièrement après consultation des différents intervenants. Il a été transmis, sous la forme d'un vade-mecum, aux différents laboratoires vétérinaires départementaux. Les résultats des examens nécropsiques ont d'abord été saisis dans une base de données Access, puis dans une base dématérialisée nommée *Epifaune*.

Grâce au *Vade-mecum des laboratoires départementaux d'analyses vétérinaires* co-écrit par l'Office Français de la Biodiversité, l'ADILVA et Faunapath et à la formation continue du personnel des laboratoires départementaux, le protocole de l'examen nécropsique est aujourd'hui harmonisé mais garde la souplesse nécessaire au diagnostic. La procédure de cet examen pour la faune sauvage se déroule étape par étape, selon un logigramme fourni par le réseau SAGIR.

Quatre protocoles d'autopsie peuvent être employés en fonction du département et du contexte de découverte. Ces derniers sont décrits dans le **tableau 7**.

Protocoles	Circonstances
Harmonisé (amélioré ou non)	Déroulé classique de l'examen nécropsique selon le logigramme disponible sur le <i>Vade-mecum</i>
Harmonisé sans encéphale	Protocole harmonisé normal, sans ouverture de la boîte crânienne (méninges et encéphale ne sont pas observés)
Partiel	Lorsque l'état de la carcasse, ou sa décomposition, ne permet pas la réalisation d'un protocole harmonisé

Tableau 7 : Types de protocoles d'autopsies pour la faune sauvage, d'après le Vade-mecum des laboratoires départementaux d'analyses vétérinaires (Edition 2016)

L'examen nécropsique se déroule en trois à quatre temps :

1. Examen macroscopique externe, mobilisations musculo-squelettiques et pesée ;
2. Dépouillement ;
3. Dissection et séparation organe par organe ;
4. Ouverture du crâne.

b. Examens complémentaires

i. Toxicologie

Lors de lésions caractéristiques évoquant une exposition à un résidu toxique, comme lors de présence de sang non coagulé à l'examen nécropsique, des analyses toxicologiques peuvent être entreprises. Celles-ci sont effectués de façon

systématique depuis 2017. Ces analyses sont effectuées par le laboratoire de toxicologie vétérinaire Toxlab de l'École Vétérinaire VetAgro Sup de Lyon. Les prélèvements nécessaires à ces analyses sont du tissu hépatique ou du contenu stomacal.

Les différentes classes de molécules étudiées pour les intoxications des espèces loup et lynx sont :

- Les molécules rodenticides anti-vitamines K (brodifacoum, chlorophacinone, coumafène, flocoumafène, bromadiolone, coumatétralyl, difénacoum, diféthialone, coumachlore, féruléol) ;
- La chloralose, molécule rodenticide hypnotique ;
- Les inhibiteurs des cholinestérases (aldicarbe, carbofuran, méthiocarb, benfuracarb, carbosulfan, méthomyl, dichlorvos, mévinphos, terbufos, diazinon, chlorpyrifos-méthyl, malathion, pyrimiphos-éthyl, parathion, chlorpyrifos-éthyl, éthoprofos) ;
- Les organochlorés (Lindane, Aldrine+métabolite, DDT+métabolites, Endosulfan+métabolites, Heptachlore+métabolites, HexaChloroCycloHexane, Chlordane+métabolites, Chlorotalonil, Dicofol, HexaChloroBenzène).

L'intérêt de réaliser ces analyses sur prélèvements de contenu stomacal est double. En effet, cela permet d'estimer la concentration en résidu puis d'avoir une idée de la quantité minimale ingérée. En fonction du poids de l'animal, du poids du contenu gastrique, de la concentration en résidu mesurée, il est possible de calculer, pour certains résidus, la dose minimale et de la comparer à certaines valeurs de référence (DL50 par exemple).

Depuis 2017, des analyses toxicologiques sont réalisées de façon systématique. Les analyses qui sont réalisées systématiquement pour la toxicologie sont la recherche de résidus d'anti-vitamines K, les inhibiteurs de cholinestérases et la chloralose.

ii. Virologie

Lors de lésions compatibles avec une infection virale, ou lorsque la cause de la mort n'est pas identifiée, des analyses virologiques peuvent être réalisées. Celles-ci ont tendance à varier en fonction du laboratoire départemental.

La recherche virale se fait généralement par identification de l'agent viral via des méthodes de biologie moléculaire. La plus couramment employée est la Polymerase Chain Reaction (PCR), ou RT-PCR en temps réel, à partir d'échantillons de sérum ou d'organes. La recherche virale peut également se faire par analyse sérologique. Cette méthode permet de mettre en évidence le contact d'un individu avec un agent pathogène, par la mise en place d'une réaction immunitaire spécifique, mais elle ne

permet pas de discriminer les infections actives. Les seuils de quantification permettent d'indiquer s'il s'agit plutôt d'une infection active, pouvant expliquer les signes cliniques ou lésions observées, ou s'il s'agit plutôt d'un portage asymptomatique.

En ce qui concerne les loups *Canis lupus*, la recherche virale porte principalement sur trois agents qui sont :

- Le parvovirus canin ;
- L'adénovirus canin, responsable de l'hépatite de Rubarth ;
- Le paramyxovirus, responsable de la maladie de Carré.

Pour les lynx *Lynx lynx*, les virus recherchés en routine sont les suivants :

- Le parvovirus félin ;
- Le virus leucémogène félin (FeLV) ;
- Le paramyxovirus, responsable de la maladie de Carré
- Le virus de l'immunodéficience féline (FIV).

Pour la recherche du parvovirus, la recherche est souvent effectuée sur un écouvillon rectal.

iii. Parasitologie

Lors d'un examen nécropsique, plusieurs types de parasites peuvent être mis en évidence. Tout d'abord, certains parasites peuvent être mis en évidence par observation directe lors de l'examen macroscopique externe. Les parasites externes observés sont notamment les tiques et les puces. Certains acariens et dermatophytes peuvent être suspectés lors de lésions de dépilation par exemple, mais le diagnostic nécessitera alors d'être confirmé par un examen microscopique, comme pour la gale sarcoptique, la gale auriculaire, la démodécie ou la teigne.

Les parasites internes peuvent être observés à l'examen macroscopique, comme pour les formes adultes des nématodes digestifs et pulmonaires et des cestodes. L'observation peut être complétée par des examens coprologiques qualitatifs ou quantitatifs, comme la méthode de Baermann couramment employée, dans le but d'observer des larves ou des œufs. Pour certains parasites, l'examen microscopique est indispensable pour confirmer ou non la parasitose, après une éventuelle étape d'enrichissement. C'est le cas de la trichinellose à *Trichinella spiralis*, pour laquelle la mise en évidence de larves repose sur un enrichissement par digestion artificielle.

Enfin, les loups et les lynx peuvent être porteurs de protozoaires, appartenant au groupe *Apicomplexa* principalement, identifiables souvent par coproscopie.

iv. Bactériologie

Lorsque des lésions caractéristiques d'une infection bactérienne sont mises en évidence à l'examen nécropsique, des analyses bactériologiques sont effectuées, comme lors de lésions suppurées telles qu'une pneumonie, un abcès ou phlegmon.

La mise en évidence d'une prolifération bactérienne peut reposer sur une mise en culture sur gélose, ou sur des examens de biologie moléculaire. L'identification bactériologique, quant à elle, peut être réalisée via des méthodes biochimiques ou par spectroscopie de masse.

v. Histologie

Lorsque des lésions anatomopathologiques caractéristiques sont observées à l'autopsie, une analyse histologique est entreprise pour préciser les lésions. Ces analyses permettent à la fois de caractériser les lésions à l'échelle cellulaire, mais également d'identifier des agents pathogènes visibles en microscopie. C'est par exemple le cas de certains virus, qui apparaissent sous la forme d'inclusions intracytoplasmiques ou intra-nucléaires dans certains tissus.

c. Prélèvements pour l'obtention de résultats rétrospectifs

i. « Sérothèque »

Les prélèvements sanguins sur dépouilles de loups ou de lynx sont aujourd'hui harmonisés. L'extraction sanguine sur cadavre se fait à partir du sinus cérébelleux, (collection de sang derrière la cavité orbitaire), sur un cadavre frais non congelé pour prélever une quantité suffisante de sang ni dilué ni souillé. La deuxième possibilité est le prélèvement de jus pulmonaire.

ii. « Organothèque » et « histothèque »

Pour chaque dépouille autopsiée, des prélèvements d'organes sont souvent réalisés (cf **Tableau 8**). La nature des prélèvements et leur mode de conservation diffèrent en fonction des laboratoires.

<i>Prélèvement</i>	<i>Description et mode de conservation</i>	<i>Visée du prélèvement</i>
Muscle	Echantillon de 3 cm ³ conservé dans de l'alcool à 70°	Génétique (génotypage)
Foie, poumon, cœur, rein, rate, utérus, encéphale, intestin, nœud lymphatique	Echantillons de 3 cm ³ conservés dans de l'alcool à 70° et congelés à -80°C ou -96°C	Études rétrospectives

Tableau 8 : Nature des prélèvements pouvant être collectés dans le cadre des autopsies de loups et de lynx

C) Saisie sur la base de données *Epifaune*

L'OFB s'est doté d'une base de données sous Microsoft SQL Serveur, appelée Epifaune, destinée à centraliser les données sanitaires sur la faune sauvage produites par SAGIR, et d'autres réseaux de surveillance événementielle tout en veillant au respect de la propriété pour chaque réseau. Epifaune est administrée par l'OFB et est le fruit d'une collaboration entre l'OFB et ADILVA-Faunapath. Elle s'est dotée d'un référentiel de données standardisées afin d'avoir une meilleure homogénéité des données et de faciliter leur exploitation. La structuration des données transmises a également été harmonisée pour répondre aux standards nationaux et favoriser l'interopérabilité entre les bases de données. Les données de laboratoires sont structurées de la façon suivante : matrice/analyte/méthode. L'analyte est défini ainsi dans le projet de norme AFNOR FD V 01-00 « objet de la méthode d'analyse », et correspond à une entité physique, chimique ou biologique. Il correspond ici soit à l'agent étiologique soit à une lésion. Epifaune comporte des fonctions de géolocalisation grâce au portail IGN et des fonctions de reporting (sous QlikView). Le logiciel a été développé en mode web server et fonctionne en configuration Extranet. Le module de production permet à différents types d'acteurs de saisir, à partir d'une interface Web, des données de réseaux de surveillance épidémiologique de la faune sauvage, mais aussi de stocker, corriger, valider, extraire et analyser ces données. Le traitement des données est possible directement avec le logiciel R.

Epifaune a été mise en production en janvier 2016 mais est également alimentée par des données rétrospectives (2014 et 2015). Les données enregistrées par les interlocuteurs techniques départementaux sont les commémoratifs liés au foyer de mortalité. Les données saisies par les laboratoires sont i) une synthèse lésionnelle (recentrée sur 4-5 lésions principales), ii) les résultats des examens complémentaires réalisés et iii) une conclusion à quatre niveaux associée à un niveau de confiance. Le rapport littéral de nécropsie est transmis directement aux interlocuteurs techniques départementaux et est également attaché à Epifaune, qui assure l'archivage informatique des dossiers complets (Decors et al., 2016).

Pour tous les échantillons une conclusion définitive, un processus pathologique principal, un processus accessoire et des découvertes d'autopsie sont formulés en s'appuyant à la fois sur les résultats du terrain et des laboratoires. Si l'échantillon n'est pas exploitable, la valeur attribuée au processus pathologique principal sera alors « impossible ». Si malgré les examens réalisés, aucune hypothèse diagnostique ne peut être formulée, la valeur attribuée au processus pathologique principal sera « indéterminé ». A chaque conclusion est attribué un indice de confiance qui va de 1 (pas d'hypothèse) à 5 (Diagnostic de certitude).

Epifaune constitue la base de données utilisée par le réseau SAGIR pour centraliser les données d'épidémiologie-surveillance obtenues par les différents acteurs

du réseau. Cela permet un partage et une possibilité de consultation des données par les divers acteurs de la surveillance. Ce logiciel est un outil de surveillance épidémiologique permettant de valoriser collectivement les observations des ITD et les résultats des autopsies et examens complémentaires réalisés par les laboratoires. Il permet une gestion des données en temps réel, et donc une meilleure réactivité si nécessaire.

Cette base de données contient différents types de données :

- Données de terrain : ce sont les commémoratifs de l'évènement ;
- Données de laboratoire : résultats d'autopsie, des examens complémentaires et diagnostic final.

D) La particularité de l'espèce loup

L'espèce loup présente la particularité d'être associée à deux processus d'observation différents. En effet, pour cette espèce, des tirs dérogatoires de régulation de la population sont autorisés. On distingue donc les loups ayant fait l'objet de tirs dérogatoires, et les loups trouvés morts ou malades. Dans l'étude de la mortalité générale des loups, seuls les loups trouvés morts ou malades seront étudiés, car plus représentatifs des processus morbides auxquels l'espèce est confrontée.

Comme dans la plupart des régions où le loup est présent à l'échelle mondiale, il existe des interactions inévitables avec les animaux d'élevage. Dans les aires de présence du loup sur le territoire français, on retrouve en majorité des systèmes d'élevage ovin. Dans les Alpes françaises notamment, le pastoralisme repose principalement sur des systèmes d'estive en zones de montagne. Par conséquent, la probabilité de rencontre entre le loup et les moutons se trouve accrue pendant la période estivale, ce qui encourage les attaques de troupeaux domestiques. Le nombre d'attaques augmente proportionnellement à l'évolution de la population de loups à l'échelle nationale, et à l'expansion de son aire de répartition (Office Français de la Biodiversité, 2020).

De ce fait, des moyens de régulation des populations de loups ont été mis en place pour limiter les dégâts sur les élevages. En France, il existe quatre types de tirs dérogatoires pouvant être menés à l'encontre des loups :

- Les tirs de défense simples ;
- Les tirs de défense renforcés ;
- Les tirs de prélèvement simples ;
- Les tirs de prélèvement renforcés, en dehors du contexte pastoral.

Chaque année, il est autorisé d'abattre 19% de l'effectif de loups estimé par l'Office Français de la Biodiversité sur le territoire. Il s'agit d'un plafond national, et

chaque département français est en mesure de réaliser des tirs de défense et de prélèvement. Aujourd'hui, la population de loups est estimée à 480 à 580 individus, soit un nombre de tirs de régulation annuels autorisé d'une centaine d'individus.

E) Analyse statistique

a. Statistique descriptive

L'analyse statistique descriptive des données étudiées a été réalisée avec le logiciel de traitement statistique *R* (*R Core Team 2020*), utilisant le logiciel RStudio comme interface utilisateur.

b. Analyse factorielle multidimensionnelle

Afin de faire des recherches de clusters, et de mettre en évidence des zones de forte mortalité pour les loups et lynx, des analyses factorielles ont été réalisées.

La grande majorité des données étudiées étant qualitatives, c'est une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) qui a été privilégiée (Thioulouse et al., 2018). En effet, l'ACM est une méthode exploratoire d'analyse de données multivariées, qui a pour objectif d'identifier les groupes d'individus ayant des caractéristiques similaires en s'appuyant sur les correspondances entre les variables. Contrairement à d'autres techniques d'analyse multidimensionnelle, elle permet de représenter dans un espace commun les variables et les individus. Les ACM ont été effectuées avec le logiciel *R*, à l'aide du package *FactoMineR* spécialisé dans les analyses factorielles.

Pour cette analyse, nous avons retenu 9 variables :

- Variables purement descriptives : sexe, classe d'âge, saison, année et département de découverte ;
- Quatre processus pathologiques secondaires qui ont été mis en évidence par les examens nécropsiques, qui seront décrits plus loin.

Toutes les variables ont été considérées comme « actives », c'est-à-dire participant à la mortalité, à l'exception de l'année de découverte. Des traumatismes ont été observés annuellement entre 1996 et 2019, bien que certaines années seul un événement ait été rapporté. L'année a donc été définie comme variable « supplémentaire » dans l'ACM, car les modalités possibles sont nombreuses et irrégulièrement réparties. De plus, la mortalité traumatique est très faible dans certains départements (un loup mort trouvé dans le Cantal, un dans l'Aveyron). Ces derniers peuvent fausser les analyses statistiques, c'est pourquoi les individus découverts dans des départements de très faible mortalité ont été exclus car peu représentatifs de la mortalité globale de l'espèce.

L'approche HCPC (Hierarchical Clustering on Principal Components) a ensuite été utilisée pour identifier les groupes d'individus similaires, c'est-à-dire les clusters.

III. Résultats : bilan de processus morbides détectés chez les loups gris et les lynx boréaux

A) Article à destination d'une revue de faune sauvage

La mortalité des loups et lynx en France : analyse des causes et adaptation de la surveillance sanitaire

Alexia Lena^{1,4}, Mathilde Paul¹, Christophe Duchamp², Nicolas Jean³, Lorette Hivert⁴, Mattias Delpont¹, Anouk Decors⁴

Affiliations

1. IHAP, ENVT, INRAE, Université de Toulouse, Toulouse, France
2. OFB, Direction de la recherche et de l'appui scientifique, UPADE – Gap
3. OFB, DGPT – Gap
4. OFB, Direction de la recherche et de l'appui scientifique, Unité Sanitaire de la Faune – Orléans

- **Loup gris *Canis lupus* et lynx boréal *Lynx lynx* : deux espèces au statut de protection et des besoins de suivi patrimonial des populations en France**
- **Analyse des sources et de la répartition spatiale et temporelle des causes de mortalité permet d'identifier des causes proximales mais aussi les processus morbides sous-jacents qui peuvent potentiellement impacter le statut de conservation des espèces.**
- **Nécessité d'un système performant de détection précoce, qui repose ici sur un système original, interface de deux réseaux administrés par l'OFB**

Introduction

Loup gris et lynx boréal sont toutes deux des espèces protégées au niveau international, européen et français. Pour le loup, cette protection peut néanmoins faire l'objet de dérogations, sous réserve qu'elles ne nuisent pas au maintien des populations dans un état de conservation favorable. Ces deux espèces font l'objet d'un Plan National d'Action qui prévoit entre autres des études et recherches permettant de caractériser l'état de conservation de l'espèce. La population française de lynx est aujourd'hui estimée à environ 150 individus répartis sur trois noyaux (Jura, Vosges, Alpes), qui évoluent de façon contrastée : stable dans le massif jurassien, fragile dans les Vosges par exemple. La population de loups française présente quant à elle une évolution démographique favorable. La surveillance des maladies apporte des données nécessaires pour comprendre et documenter l'état des populations. Si cela paraît évident en cas d'observation de mortalité de masse, cela est tout aussi vrai en cas de maladies plus discrètes, susceptibles d'influencer les paramètres démographiques (maladies responsables d'infertilité, d'infécondité, de changement de structure des populations ou affectant les patrons de dispersion et de migration) (Preece et al., 2017). La surveillance des populations de loups et de lynx doit être accompagnée d'une surveillance plus généraliste des espèces sentinelles, comme c'est le cas pour d'autres espèces de carnivores telles que le renard roux.

Les descriptions publiées de déclin ou d'extinction de grands carnivores suite à une maladie sont rares. Une maladie même mineure peut néanmoins avoir un effet dévastateur, sur des populations de petite taille et fragmentée (Murray et al. 1999). Dans ce contexte, il paraît primordial de détecter précocement toute maladie susceptible d'avoir un impact populationnel. La surveillance des maladies du lynx et du loup repose sur l'articulation entre deux réseaux : le réseau Loup/lynx et le réseau SAGIR.

La synergie des réseaux Loup-Lynx et SAGIR au cœur du dispositif de surveillance

Chaque réseau possède un fonctionnement et des processus d'observation propres. Le réseau Loup-Lynx, actif depuis 2001, est piloté par l'Office Français de la Biodiversité (OFB) et se déploie sur près de 40 départements en 2020. La création du réseau a pour objectif principal de suivre et de rendre compte objectivement de l'état de conservation de ces deux espèces protégées, et permettre secondairement d'adapter les mesures de protection. Il constitue un outil majeur de suivi et de surveillance des populations de loups et de lynx, et s'appuie sur l'association d'indicateurs géographiques et démographiques de présence de ces espèces sur le terrain. Le réseau SAGIR est quant à lui un réseau national de surveillance événementielle des maladies de la faune sauvage libre, dont les pressions d'observation et de collecte peuvent être modulées en fonction des besoins. La « surveillance événementielle » est une surveillance généraliste et continue qui repose sur la détection de signaux de mortalité et morbidité anormaux, sans présumer de l'étiologie. La mise en évidence d'un agent pathogène ne résulte pas d'un dépistage systématique mais d'une démarche diagnostique pour déterminer les processus ayant abouti à la mort des animaux. Le réseau SAGIR repose sur la collaboration entre l'OFB et les fédérations de chasseurs. Pour le diagnostic, il s'appuie sur des partenaires de proximité, les laboratoires départementaux d'analyses vétérinaires, ainsi que sur des laboratoires spécialisés et de référence. En ce qui concerne le loup et le lynx, le réseau SAGIR n'applique aucun filtre et procède à la collecte exhaustive de tous les cadavres détectés quel que soit leur état et à la mise en œuvre systématique d'un examen nécropsique complet.

Pour détecter une épizootie à son début, l'indicateur le plus précoce est la détection d'événements de mortalité. L'interface entre ces deux réseaux permet une surveillance syndromique¹ capable de détecter tout signal inhabituel de mortalité dans les populations de grands carnivores. Elle s'appuie d'une part sur la détection de signaux anormaux de mortalité et d'autre part sur la surveillance des paramètres

¹ La surveillance syndromique est définie par le Center for Diseases Control and Prevention (homologue américain) comme : « une approche, dans laquelle les intervenants sont assistés par des procédures d'enregistrement automatiques des données, qui permettent la mise à disposition de données pour le suivi et l'analyse épidémiologique en temps réel ou proche du temps réel. Cela afin de détecter des événements habituels ou inhabituels plus tôt qu'il n'aurait été possible de le faire sur la base des méthodes traditionnelles de surveillance »

démographiques. Tout signal anormal déclenche alors des investigations d'urgence dont les données sont essentielles à la gestion des espèces (gestion de la maladie, gestion adaptative de l'espèce, etc.).

Plusieurs modalités de surveillance des maladies par le réseau SAGIR

La découverte d'un cadavre est un phénomène très variable dans le temps et dans l'espace parce qu'il met en jeu de très nombreux facteurs. Par ailleurs, dans son fonctionnement généraliste ou renforcé, la détection par le réseau SAGIR repose sur l'expression clinique due à l'agent pathogène. Du fait du manque de connaissances sur la sensibilité des espèces sauvages aux agents infectieux ou toxiques, sur leur expression clinique (souvent extrapolée des animaux domestiques), sur les potentielles barrières écologiques ou d'espèce, exercer une vigilance sur les populations sauvages nécessite souvent au départ de combiner plusieurs modes de surveillance pour améliorer la sensibilité de la détection et évaluer le meilleur mode de détection. En fonction du niveau de morbidité/mortalité estimé, le réseau SAGIR est donc un outil nécessaire mais pas toujours suffisant. Il permet en effet de détecter l'émergence de maladie avec forte expression clinique et fort taux de mortalité, mais il doit être articulé avec d'autres modes de vigilance pour une plus grande efficacité/précocité de détection, notamment dans le cas de maladie à faible expression clinique (Decors et al, 2015).

Les loups abattus lors de tirs de régulation représentent un *pool* d'échantillons pérenne exploitable. Un prélèvement systématique de sérum ou de jus pulmonaire sur ces individus alimente une banque d'échantillons de sérum (**Figure 3**). Cette sérothèque offre la possibilité de mettre en œuvre, lorsque c'est pertinent, une surveillance sérologique complémentaire à la surveillance événementielle.



Figure 3 : Banques d'échantillons sériques à l'échelle nationale

Une mortalité représentative de l'évolution démographique : stable chez le lynx, en progression chez le loup

L'étude réalisée a porté sur les loups et lynx trouvés morts pendant la période de 1990, date de la première autopsie de lynx boréal suite à sa réintroduction, et 2019.

Entre 1990 et 2019, ce sont 175 évènements² de lynx européens et 233 évènements de loups gris qui ont été répertoriés sur le territoire de la France Métropolitaine, les

² Un évènement se définit comme « un foyer de mortalité concernant une espèce, sur une journée, sur une surface géographique de 1 km² ». Dans le cas du loup et du lynx, un évènement correspond souvent à un seul cadavre.

évènements correspondant souvent à un seul individu (seulement deux évènements de mortalité groupée chez le loup).

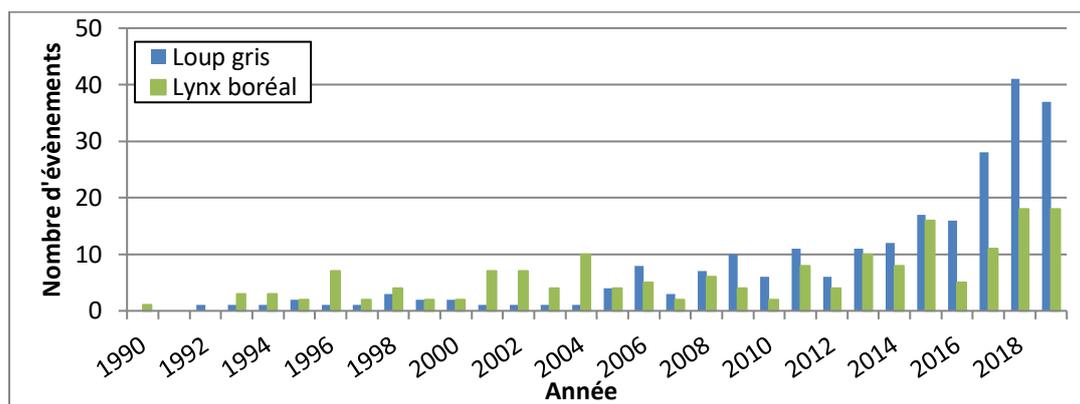


Figure 4 : Evolution annuelle du nombre d'évènements en fonction de l'espèce

La mortalité détectée chez les loups gris tend à augmenter depuis les années 1990, et à suivre l'augmentation des effectifs de populations pour cette espèce. En ce qui concerne les lynx, les effectifs d'animaux trouvés morts annuellement sont faibles, la variabilité annuelle de la mortalité correspond probablement davantage à une fluctuation d'échantillon. La mortalité atteint un pic chez les lynx en 2018, avec 23 évènements dénombrés sur l'année.

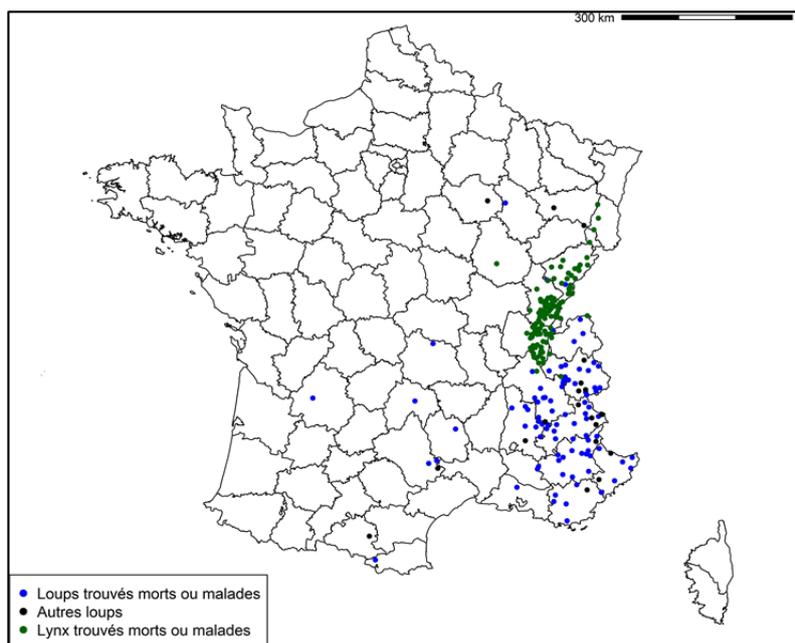


Figure 5 : Distribution nationale des évènements de loups gris et de lynx boréaux entre 1990 et 2019³

³ « Autre loup » : évènement pour lesquels seuls les commémoratifs sont disponibles ; les données d'autopsies sont des données manquantes.

La distribution de la mortalité se distribue sur l'ensemble des aires de présence des deux espèces (**Figure 5**), et apparait diffuse dans le temps. Les dépouilles de lynx collectées se répartissent essentiellement à 41% dans le Jura (72/175), 30% dans l'Ain (52/175) et 23% dans le Doubs (40/175). Les évènements concernant des loups gris se répartissent quant à eux de la façon suivante : 19% dans les Hautes-Alpes (45/235), 17% dans les Alpes-de-Haute-Provence (39/235), 15% dans les Alpes-Maritimes (35/235), 14% en Savoie (33/235), 10% en Isère (24/235), 7% dans le Var (16/235) et 6% dans la Drôme (15/235).

Une mortalité *a priori* indépendante de la saison pour le loup, mais plus marquée en automne chez les lynx

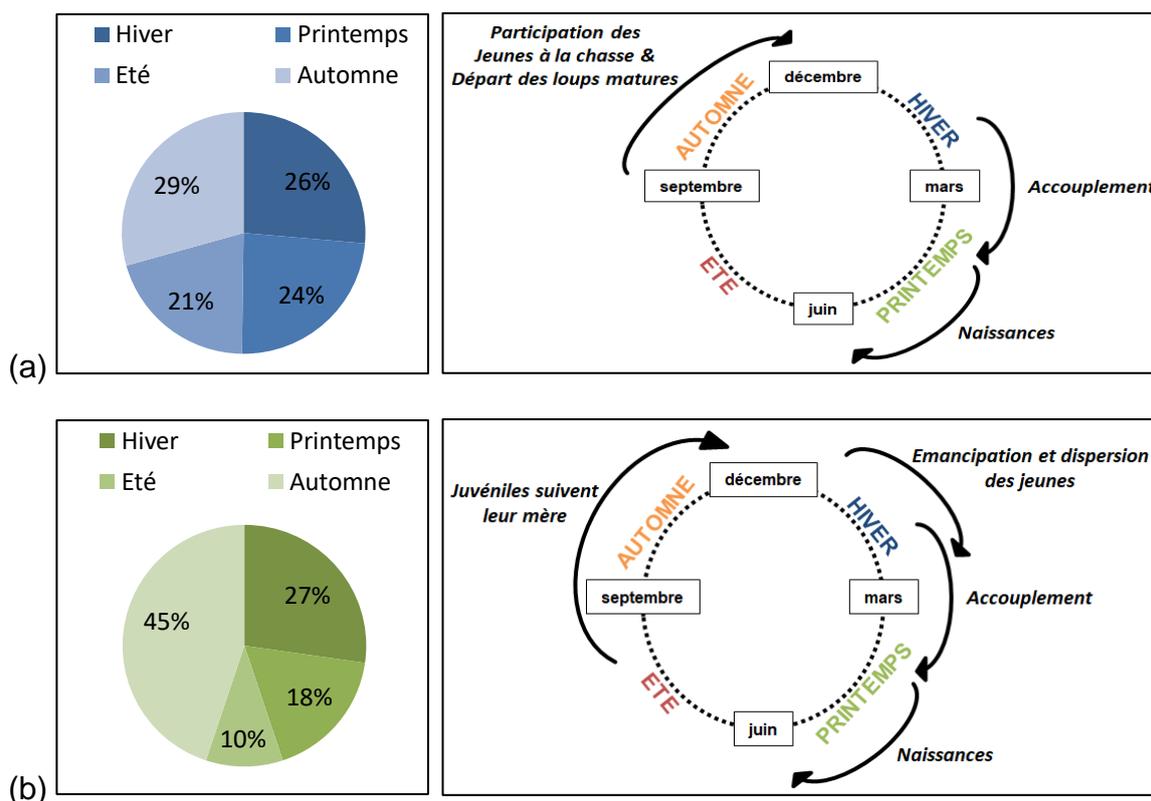


Figure 6 : Répartition des évènements en fonction de la saison et périodes biologiques chez les loups gris (a) et les lynx boréaux (b)

La distribution des évènements au cours de l'année est hétérogène (cf **Figure 6a** et **6b**). Pour les loups gris, la mortalité ne semble pas dépendante de la saison (test d'indépendance khi-deux, $p\text{-value}=0,21$).

Pour les lynx boréaux, la mortalité fluctue significativement en fonction de la saison (test khi-deux, $p\text{-value}= 2.6e-10$). C'est l'automne qui semble concentrer le plus de mortalité, soit 45% des évènements mortels détectés. De plus, il semblerait que la classe d'âge la plus représentée en automne soit celle des adultes (cf **Tableau 9**). Cette hausse de la mortalité peut s'expliquer par la biologie de l'espèce. Tout

d'abord, c'est à partir du mois de juillet que les juvéniles commencent à partir à la chasse avec des adultes, dans le but de prendre leur indépendance l'hiver suivant. Ils sont alors à même de rencontrer d'autres individus, et donc d'être en contact avec des agents infectieux circulants. Leur manque d'expérience peut aussi les amener à subir plus d'évènements traumatiques, ce qui sera vérifié par la suite. Enfin, les jeunes présentent un système immunitaire moins performant (populations à risque pour les agents infectieux : jeunes, âgés, en gestation, immunodéprimés), les exposant davantage aux processus pathologiques infectieux. L'hiver constitue la deuxième saison la plus déterminante dans la mortalité de l'espèce. Pendant les mois d'hiver, les jeunes de 9 à 11 mois vont s'émanciper et quitter le territoire maternel (cf **Figure 6b**).

Caractérisation des individus selon leur classe d'âge, leur sexe et leur état corporel

	Classe d'âge			
	Immature	Adulte	Sénescent	Indéterminé
Loup gris	43 20[F] 16[M] 7[I] 19[H] 5[P] 6[E] 13[A]	94 26[F] 61[M] 7[I] 29[H] 27[P] 13[E] 25[A]	1 [M] [A]	97 4[F] 7[M] 86[I] 14[H] 21[P] 29[E] 30[A]
Lynx boréal	86 43[F] 38[M] 5[I] 19[H] 10[P] 5[E] 2[A]	65 24[F] 40[M] 1[I] 19[H] 18[P] 9[E] 19[A]	0	24 8[F] 10[M] 6[I] 10[H] 3[P] 3[E] 8[A]

Tableau 9 : Distribution des individus selon leur classe d'âge, leur sexe et la saison de découverte

(H : hiver, P : printemps, E : été, A : automne, F : femelle, M : mâle)

La mortalité des lynx boréaux semble plus élevée chez les individus immatures qui représentent 57% (86/151) des individus ayant pu être sexés (cf **Tableau 9**), mais ce résultat ne se révèle pas significatif (test khi-deux, $p\text{-value}=0,08$).

Il semblerait que la mortalité chez les loups femelles soit moins importante pendant les mois de janvier à juin. La période de reproduction débute pendant le mois de février. Les femelles vont ensuite s'isoler pour trouver un gîte, et donner naissance entre fin avril à fin juin. Les femelles qui ont des portées restent avec leurs progénitures pendant les premières semaines de vie, et sont moins amenées à se déplacer, ce qui peut expliquer que la mortalité soit plus faible ou moins détectée à cette période de l'année. En revanche, les individus mâles subissent significativement plus de mortalité que les individus femelles (test khi-deux, $p\text{-value}=0,003$), cependant le sexe de 41% (97/235) des cadavres de loups n'est pas déterminé.

L'état corporel des lynx et des loups est un paramètre difficile à déterminer, lorsque les cadavres ne sont pas frais. Pour les lynx, 74% (95/129) des dépouilles pour lesquelles le paramètre a été notifié présentait un bon état d'engraissement, alors que seulement huit individus ont été jugés en état de misère physiologique.

Cinq causes proximales de mortalité mises en évidence

La détection des maladies repose sur une démarche diagnostique. On cherche donc à déterminer la cause proximale de la mort, ainsi que tous les processus morbides qui y ont contribué. Quand l'état du cadavre et la logistique de terrain le permettent, examens radiologique, nécropsique, histologique et toxicologique sont systématiquement mis en place. Les examens complémentaires à mettre en œuvre sont à l'appréciation du pathologiste qui s'appuie à la fois sur les commémoratifs (circonstances de la mort), les signes cliniques, la biologie de l'espèce, le tableau lésionnel, l'état du cadavre et les organes disponibles.

Cinq grandes catégories de causes de mortalité ont pu être mises en évidence (cf **Figure 7**) : les causes traumatiques (collisions routières principalement), les autres causes d'origine anthropique (exposition à des toxiques ou destruction par arme à feu), les maladies d'origine infectieuse et les morts par épuisement des ressources énergétiques de l'animal.

L'étude des processus létaux des loups gris a été limitée par l'incomplétude des données. Au total, les résultats d'autopsie de 109 cadavres de loups gris ont été analysés et enregistrés dans la base de données sur 233 événements rapportés, ainsi que 175 lynx boréaux.

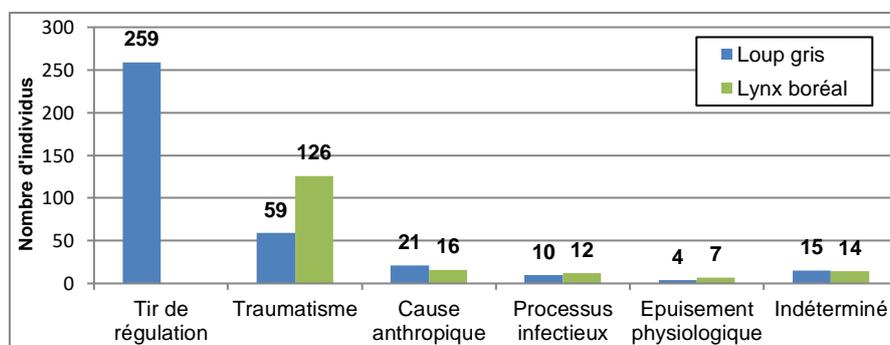


Figure 7 : Catégories de causes de mortalité chez les loups et lynx entre 1990 et 2019

Les traumatismes représentent 54% (59/109) des loups et 72% (126/175) des lynx trouvés morts ou malades pour lesquels le diagnostic est connu. La mortalité en lien avec les activités humaines représente 19% des loups (hors tirs de régulation) et 9% des lynx trouvés morts ou malades. Il s'agit notamment d'imprégnation voire intoxication avec des produits toxiques, de destructions par arme à feu, d'attaques

par des chiens de protection des troupeaux, et de mortalité à cause de pièges. Les processus infectieux sont peu mis en cause dans la mortalité des grands carnivores. Ils correspondent respectivement à 9% et 7% des évènements mis en évidence chez les loups et les lynx. La mort par inanition est *a priori* rare chez ces deux espèces, puisque seuls quatre cadavres de loups et sept de lynx ont témoigné d'une telle condition. Ce type de mort survient lorsque l'animal épuise ses réserves énergétiques et ne parvient pas à s'alimenter en accord avec ses besoins. La mortalité globale est probablement sous-estimée, car les cadavres d'animaux affaiblis, en mauvais état général, peuvent être localisés dans des milieux peu accessibles à l'homme.

D'autres causes de mortalité plus rares, n'appartenant pas aux catégories ci-dessus, ont été diagnostiquées. Ainsi, un lynx mâle adulte est décédé d'un arrêt cardio-respiratoire provoqué par une cardiomyopathie hypertrophique sévère. Des hépatites nécrosantes d'étiologie indéterminée ont été identifiées chez deux lynx femelles juvéniles. Un lynx est mort d'une hémorragie interne d'origine indéterminée.

Sur les 15 loups gris pour lesquels le processus pathologique n'a pas pu être déterminé, les dépouilles de 10 d'entre eux n'étaient pas intègres (restes osseux ou consommation partielle), en état de putréfaction ou au stade de dessiccation. De même, sur les 14 lynx, cinq étaient non exploitables.

Les processus traumatiques, principale cause de mortalité

Les évènements traumatiques correspondent à la cause de mortalité la plus représentée. Ces traumatismes peuvent être de plusieurs types (cf **Tableau 10**).

Catégorie	Loup gris	Lynx boréal
Collision avec un véhicule ou train	44	101
Traumatisme par dérochage	3	2
Attaque intra-spécifique	1	2
Traumatisme d'origine inconnue	11	21

Tableau 10 : Causes traumatiques à l'origine de mortalité chez le loup et le lynx

Les collisions avec des véhicules sont les plus nombreuses. Elles représentent 58% (101/175) de la mortalité globale dans la population de lynx française, et 40% (44/109) des loups trouvés morts.

Une analyse factorielle des correspondances multiples, ou ACM, a été réalisée sur les individus morts des suites d'évènements traumatiques. Ont été pris en compte dans l'analyse les commémoratifs (sexe, âge, saison, département et année de découverte) ainsi que les co-morbidités, essentiellement le parasitisme, la présence de co-infections virale et/ou bactérienne, les processus morbides d'origine anthropique (imprégnations par des résidus toxiques, traces de tirs non létaux) et les

autres processus isolés (par exemple des malformations congénitales, processus inflammatoires ou tumoraux, etc). Une méthode de classification hiérarchique a ensuite été employée pour identifier les agrégats d'individus traumatisés similaires, ou clusters (**Figure 8**).

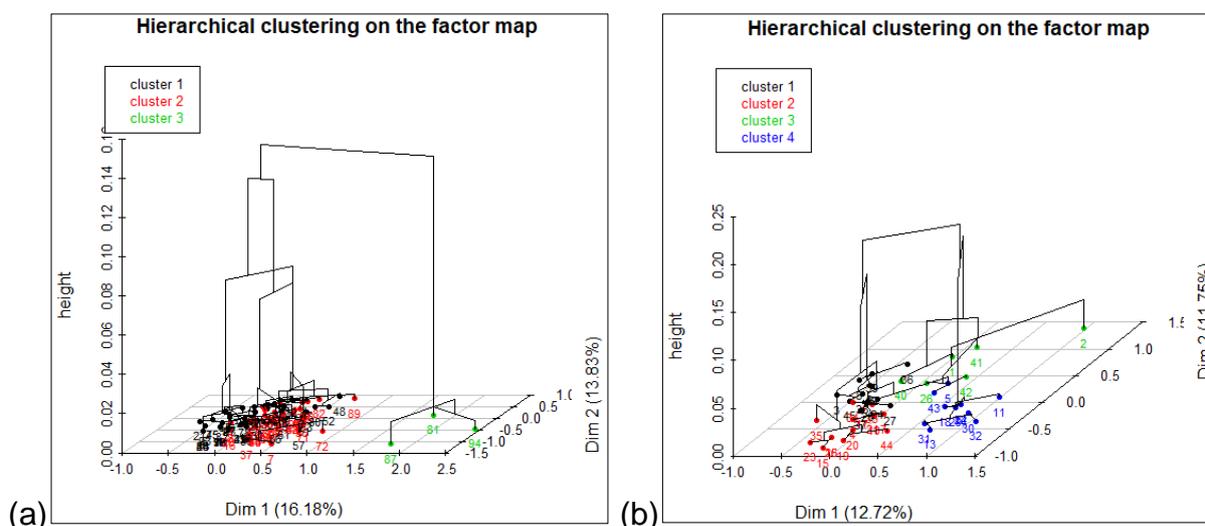


Figure 8 : Arbres de décision de l'ACM, par classification hiérarchique, sur les loups (a) et lynx (b)

Ces analyses ont permis de démontrer que la mortalité par traumatisme, quel que soit le type de traumatisme, est plus représentée dans plusieurs classes des populations de grands carnivores :

- Loups dans les départements de l'Isère et des Hautes-Alpes, au printemps ;
- Loups adultes dans le département du Var, en hiver ;
- Loups peu parasités dans les départements de la Drôme et de la Savoie ;
- Jeunes lynx mâles parasités dans le Jura, plus particulièrement en automne ;
- Lynx femelles dans le département de l'Ain.

Les traumatismes routiers représentent la majorité des événements traumatiques enregistrés (44/59 loups, 101/126 lynx). Les populations d'individus victimes de traumatismes routiers ont été décrites dans le **Tableau 11** suivant.

	Sexe			Classe d'âge				Effectif total
	Femelle	Mâle	Inconnu	Immature	Adulte	Sénescent	Inconnu	
Loup gris	17	24	3	10	29	1	4	44
Lynx boréal	42	48	11	46	41	0	14	101

Tableau 11 : Description de l'échantillon d'individus ayant subi un traumatisme routier

La réalisation d'un test statistique d'hypothèse khi-deux a permis de déterminer qu'un sexe n'était pas représenté plus que l'autre dans les échantillons de loups et de lynx accidentés. En revanche, les loups adultes sont significativement plus touchés que les immatures ($p\text{-value}=3,3e-06$). Contrairement au lynx, le loup est une espèce sociable qui vit en petite communauté. Les jeunes sont amenés à rester dans la meute pendant parfois plusieurs générations avant de prendre leur indépendance pour se disperser. Ces derniers profitent plus longtemps de l'expérience de leurs aînés et parcourent de moins grandes distances, c'est pourquoi les jeunes sont peut-être moins sujets aux collisions routières. Les clusters de traumatismes routiers identifiés chez les loups gris par analyse factorielle sont i) dans la zone rassemblant les départements de l'Isère et des Hautes-Alpes, au printemps, ii) dans le Var, en hiver, pour les individus adultes, iii) dans la zone rassemblant la Drôme et la Savoie, pour des individus peu parasités.

Le programme « ERC-Lynx », lancé en 2017, a pour but d'éviter, de réduire et de compenser le risque de mortalité du lynx en France, par collision avec les véhicules de transport. L'enjeu principal est le maintien d'une connectivité écologique entre les aires d'habitats du lynx, de diminuer les collisions, et de développer des outils pour les acteurs territoriaux, comme le développement d'un logiciel pour évaluer l'impact d'un aménagement des infrastructures de transport terrestre et leurs emprises sur la viabilité du lynx. Ce programme a permis d'identifier les facteurs de risque de collisions chez le lynx boréal en France. La répartition des collisions par classe d'âge et sexe est homogène. Les collisions sont significativement plus nombreuses en semaine que pendant le week-end, et plus marquées en automne que le reste de l'année. Le type de route et de sol a aussi une influence avérée sur les traumatismes, ainsi les routes à grande vitesse (entre 80 et 90 km/h) et les sols non artificialisés concentrent respectivement 71% et 68% des collisions (Souillot, D., 2018).

Les traumatismes routiers présentent un enjeu particulier pour la détection précoce de la maladie, parce qu'ils peuvent représenter des événements sentinelles de pathologies sous-jacentes. En effet, une collision peut par exemple être évocatrice d'une baisse de vigilance, provoquée par un processus plus discret (trouble neurologique par exemple). A ce jour, les comorbidités identifiées chez les individus percutés par des véhicules sont le parasitisme, identifié chez 8 loups et 48 lynx, ou des expositions à des produits toxiques tels que des insecticides ou des raticides, identifiées chez 6 loups et 9 lynx.

Toxiques et braconnage : les deux espèces concernées

Sur la période de 1990 à 2019, ce sont 4 loups et 3 lynx qui sont morts des suites d'intoxications par des résidus toxiques. Les résidus identifiés sont des molécules raticides à action anti-coagulante (bromadiolone, chlorophacinone, difénacoum,

diféthialone), du raticide à base de chloralose, des insecticides (carbofuran, lindane), ou encore du plomb. Dans le cas des anticoagulants, une intoxication secondaire par consommation d'une proie elle-même imprégnée (rongeur, renard, etc) est le scénario le plus probable dans la majorité des cas. Un lynx a été intoxiqué au pentobarbital de façon accidentelle par consommation d'un ovin euthanasié.

Certaines expositions non létales à des produits toxiques peuvent engendrer une baisse de vigilance favorisant la survenue d'évènements secondaires tels que des traumatismes, c'est pourquoi on recherche systématiquement des résidus toxiques ciblés pour les individus traumatisés. Ainsi, ce sont 148 analyses toxicologiques qui ont été réalisées dans l'échantillon de lynx, et 116 dans l'échantillon de loups, toutes molécules confondues (cf **Tableau 12**). Les molécules les plus recherchées sont les anti-coagulants, les inhibiteurs de cholinestérasés et la chloralose (142/148 chez les lynx, 94/116 chez les loups, ces trois catégories de molécules confondues).

Molécules	Loup gris		Lynx boréal	
	Analyses	Positifs	Analyses	Positifs
AVK	29	9	53	14
IDC	35	3	46	0
Chloralose	30	1	43	4
Strychnine	13	0	3	0
Plomb	0	0	2	1
OC	9	1	0	0

Tableau 12 : Tableau récapitulatif des échantillons ayant été analysés pour toxicologie, et des analyses positives chez le loup gris et le lynx boréal

Les imprégnations toxiques mises en évidence sont principalement des imprégnations aux anticoagulants (14/19 lynx, 9/14 loups), plus précisément la bromadiolone (détectée chez 8 lynx) ou la chlorophacinone (détectée chez 4 loups). Les anticoagulants sont responsables de troubles létaux hémorragiques, mais aussi sub-létaux. Des études complémentaires doivent être menées sur des populations sentinelles comme les renards pour voir si la probabilité de collision est liée ou non à la présence d'anticoagulants. L'usage de cette catégorie de molécules est en constante ré-évaluation. A ce jour, leur implication dans les collisions routières est encore mal connue, de même que le mécanisme écologique d'exposition des grands carnivores. En effet, l'ingestion directe d'un produit phyto-pharmaceutique contenant des anticoagulants semble peu probable, mais une consommation secondaire d'une proie elle-même imprégnée est possible, y compris à distance du lieu de l'exposition. Les voies de dissémination des molécules anticoagulantes au travers de la chaîne trophique sont aussi mal connues. De la chloralose a été détectée sur 5 cadavres au total. En résumé, la chloralose et les inhibiteurs des cholinestérasés constituent les molécules actuellement les plus utilisées pour la destruction de la faune sauvage. En revanche, des molécules telles que les organochlorés ou la strychnine ne sont quasiment plus détectées. Les expositions à des résidus toxiques ont été

démontrées tout au long de l'année, bien qu'elles semblent moins prépondérantes pendant la période estivale.

Des attaques par des chiens de troupeaux ont également été décrites chez six loups et deux lynx. Les loups souffraient pour trois d'entre eux de comorbidités (atteinte de la colonne vertébrale, n=3).

Enfin, des destructions par arme à feu sont observées chez ces deux espèces. Ce sont 11 loups et 6 lynx qui ont été exposés à des tirs (hors quota de tirs de régulation) entre 1992 et 2019. Ces tirs sont souvent létaux. Il arrive cependant que ces traumatismes soient découverts à l'examen nécropsique chez des individus décédés en raison d'un autre agent causal. Par exemple, des plombs ont été découverts de façon fortuite à l'autopsie de trois lynx et un loup.

Enfin, deux lynx ont été abattus après avoir été pris dans des pièges, et deux lynx sont décédés de pneumonie d'origine indéterminée après avoir été relâchés dans l'environnement à la suite de périodes de captivité.

Une pression infectieuse à bas bruit

Une analyse bibliographique a été réalisée pour hiérarchiser les agents infectieux selon le risque qu'ils représentent pour les espèces loups et lynx. Peu d'agents infectieux représentent un niveau de risque modéré chez nos deux espèces d'intérêt et nécessitent donc une attention particulière : la maladie de Carré et les acarioses chez le loup, la leucose féline et les parasitoses externes et internes chez le lynx.

La circulation des agents infectieux est détectée par des techniques de laboratoire variées. Pour l'identification des agents infectieux viraux et bactériens, ce sont souvent les méthodes de biologie moléculaire comme la PCR qui sont privilégiées, car elles offrent un diagnostic de certitude rapide et peu coûteux. L'identification des bactéries peut également se faire par mise en culture. Enfin, l'identification des parasites se fait par observation directe ou par coprologie qualitative. Les analyses d'infectiologie ne sont pas systématiques à ce jour, mais laissées à l'appréciation du pathologiste en fonction des commémoratifs et lésions observées.

Les processus létaux d'origine infectieuse représentent 9% et 7% des événements respectivement chez les loups et les lynx, mais ils constituent malgré tout une préoccupation majeure.

Des infections létales dues au parvovirus ont été diagnostiquées chez deux lynx juvéniles en 2018 et 2019, ainsi que chez un loup en 2013 (en association avec des lésions d'hépatite nécrosante et une imprégnation à la chlorophacinone). En 2001, un cas de péritonite infectieuse féline a été suspecté chez un jeune lynx femelle suite à la mise en évidence par PCR de coronavirus. Un cas de maladie de Carré a été

défecté chez un loup en 2006. Sept lynx et deux loups ont présenté des septicémies d'origine bactérienne, dont deux par surinfection de gales sarcoptique et auriculaire sévères. Une bronchopneumonie suppurée à germes non spécifiques a été détectée chez un lynx, et une pneumonie vermineuse a été causée par des nématodes chez un loup. Enfin, un cas d'entérotoxémie à *Clostridium perfringens* a été mis en évidence chez un loup gris en 2005.

Dans une population de petite taille comme le lynx, menacée par les événements traumatiques et l'impact de l'homme, toute cause infectieuse létale peut affecter le devenir de l'espèce (Schmidt-Posthaus *et al*, 2002). De plus, ces faibles effectifs entraînent une faible diversité génétique au sein de la population. Cette perte de diversité génétique et l'augmentation de la consanguinité peuvent compromettre la viabilité des populations (Casas-Marce *et al*, 2013). Le caractère solitaire de l'espèce limite néanmoins le risque d'épidémie. En effet, chez les lynx, la probabilité qu'un agent infectieux se maintienne dans la population est faible car les interactions intra-spécifiques sont rares, contrairement aux loups gris qui vivent en petite communauté. Les effets pathologiques des maladies infectieuses sont aggravés par l'association avec d'autres facteurs, comme la malnutrition, le stress ou la consanguinité (Schmidt-Posthaus *et al*, 2002).

Les individus peuvent être porteurs asymptomatiques d'agents infectieux, c'est-à-dire qu'ils ne présentent aucune manifestation clinique ou lésionnelle d'une infection sous-jacente. Un portage du parvovirus, défini par une faible charge virale, ou un contact antérieur avec le germe démontré par sérologie, a été mis en évidence chez six lynx et sept loups, respectivement sur les 23 lynx et 24 loups pour lesquels des analyses virologiques ont été faites. Une mise en contact avec un paramyxovirus, responsable de la maladie de Carré, a été démontrée chez un lynx et quatre loups, respectivement sur les 14 lynx et 14 loups analysés. Quatre loups sur huit analysés étaient séropositifs contre l'adénovirus canin de type 1, responsable de l'hépatite de Rubarth, et un lynx était porteur de coronavirus félin sur un prélèvement pulmonaire (seul prélèvement analysé). Des infections bactériennes à streptocoques, staphylocoques et pasteurelles, au niveau de divers organes comme les poumons ou la rate, ont été démontrées chez 10 animaux au total. Ces résultats montrent une circulation probablement active des virus et bactéries dans les populations de loups. Des enquêtes sérologiques permettraient de mieux caractériser la circulation spatio-temporelle de ces agents infectieux et d'apprécier le risque pour les populations.

Le parasitisme : un enjeu au sein des populations

Les grands carnivores sont susceptibles d'être infectés par de nombreux parasites. Lorsqu'elles sont très sévères, les infestations parasitaires peuvent être mortelles (Ryser-Degiorgis *et al*, 2002 ; Pence *et al*, 2002). Les individus fortement parasités sont considérablement affaiblis et donc plus sujets aux processus pathologiques

secondaires. Le parasitisme est marqué chez les lynx, tous départements confondus. Des endoparasites ont été démontrés chez 39% (67/170) des lynx et 22% (80/367) des loups étudiés, et des parasites externes chez respectivement 32% (54/170) et 10% (37/367) d'entre eux. La sévérité de l'infestation n'est pas toujours renseignée.

Parmi les parasites externes mis en évidence, on trouve les tiques du genre *Ixodes* (loup et lynx) ou *Dermacentor* (loup), les acariens responsables de gales sarcoptique ou auriculaire *Sarcoptes scabiei* ou *Otodectes cynotis* (loup et lynx), des puces (loup et lynx) ainsi que de la démodécie (un cas chez un lynx). D'après les recherches bibliographiques effectuées, il apparaît que les ectoparasitoses représentent chez les loups et lynx un risque global modéré donc celles-ci ne doivent pas être négligées. La surveillance de ces maladies est essentielle pour le suivi des populations. Par exemple, des méthodes de surveillance audio-visuelle par pièges photos ont déjà été développées pour la détection de la gale sarcoptique chez les loups de la péninsule ibérique, et permettent d'identifier de façon non invasive certains processus pathologiques sub-létaux (Oleaga et al., 2011b). Les parasites internes retrouvés sont principalement les nématodes *Ascaris*, *Toxocara*, *Toxascaris*, *Aelurostrongylus*, *Capillaria* (lynx), *Ancylostoma*, *Trichuris* (loup et lynx), *Trichinella* (loup) et des cestodes du genre *Taenia*. De rares cas de coccidiose, trématodose ont aussi été détectés. Une leishmaniose a été mise en évidence chez un loup femelle adulte. Un kyste liquidien intracérébral a été observé chez un lynx, laissant suspecter la possibilité de cœnurose à *Cœnurus cerebellis* chez cette espèce.

Quelles adaptations des stratégies de surveillance pour l'avenir ?

Les objectifs principaux de la surveillance épidémiologique sont la détection précoce de tout signal de morbidité ou de mortalité anormal, et le suivi spatio-temporel des maladies à enjeu pour la santé des populations.

Les modalités de surveillance doivent être adaptées aux objectifs recherchés. Une analyse bibliographique a permis de mettre en exergue plusieurs agents infectieux représentant un risque modéré pour les grands carnivores. En ce qui concerne le loup, deux agents étiologiques sont associés à un niveau de risque global modéré : ce sont le virus de la maladie de Carré et les ectoparasites, comme la gale sarcoptique. Pour le lynx, ces agents causaux caractérisés par un risque modéré sont le virus de la leucémie féline, les endoparasites, digestifs ou respiratoires, et les ectoparasites en partie similaires à ceux décrits chez le loup. On rappelle que, dans cette étude, des parasites internes ont été observés chez 39% des lynx et 22% des loups étudiés, et des parasites externes chez respectivement 32% et 10% des lynx et des loups. Les parasitoses se révèlent enzootiques sur le territoire pour les deux espèces de carnivores. Ce sont souvent les formes cliniques sévères qui sont détectées. La surveillance événementielle généraliste déjà en cours pourrait être utilement complétée par une surveillance ciblée s'appuyant sur des

pièges photos pour la gale sarcoptique afin de mieux caractériser l'évolution spatio-temporelle des maladies, caractériser leur gravité clinique et les quantifier.

Le choix des méthodes de surveillance dépend de l'expression clinique et lésionnelle de l'agent causal, de la situation épidémiologique, de la disponibilité d'outils analytiques pour le détecter et de la réponse sérologique (Decors et al., 2014a). Pour la maladie de Carré et les ectoparasitoses du loup, c'est une surveillance événementielle basée sur le diagnostic sur loups et espèce sentinelles qui semble la plus adaptée. La recherche systématique du virus de la maladie de Carré pourrait être entreprise pour détecter un changement de virulence ou d'expression clinique dans la population. Pour les maladies à risque modéré chez les lynx, soit la leucose féline et les parasitoses, la stratégie à privilégier est celle d'une surveillance événementielle renforcée. Celle-ci passe par la recherche là aussi systématique du virus de la leucémie féline pour détecter une circulation de l'agent infectieux, nulle jusqu'à présent. Certaines espèces, domestiques ou sauvages peuvent être utilisées comme sentinelles pour détecter précocement l'émergence d'une maladie ou indiquer la circulation et la sévérité clinique d'un agent infectieux (exemple : le renard roux pour la maladie de Carré). En raison de l'existence d'interactions inter-spécifiques, l'épidémiosurveillance des populations de loups et lynx doit être croisée avec celle des carnivores domestiques.

Lorsque la surveillance épidémiologique amène à détecter un signal de mortalité anormal, des investigations ciblées peuvent être opérées, c'est pourquoi les sérothèques et organothèques bénéficieraient d'être complétées. En cas d'accident démographique, les échantillons sériques et organiques permettent de réaliser des études rétrospectives, et d'identifier certains agents viraux, bactériens ou toxiques. Il serait intéressant de systématiser les recherches toxicologiques chez les loups trouvés morts, ce qui est déjà fait chez les lynx.

Les signaux anormaux de mortalité par traumatismes, qui représentent la principale cause de mortalité chez les loups et lynx en France, doivent aussi être investigués. Les comorbidités associées peuvent notamment provoquer un affaiblissement des individus atteints, et donc d'une baisse de vigilance (essentiellement le parasitisme, les expositions à des résidus toxiques ou encore le portage d'agents infectieux asymptomatique).

Les processus d'observation des cadavres sont mal connus à ce jour pour les espèces loup et lynx. La méthode de recensement des cadavres en elle-même est aléatoire et représente un biais dans l'analyse des causes de mortalité, car la probabilité de découverte d'un cadavre est variable selon la période, la méthode de recherche et le milieu du décès (découvertes concentrées dans les milieux où la présence humaine est plus marquée). Elle dépend de la méthode de recherche de cadavres, de la densité de cadavres, du comportement social des animaux (solitaire,

grégaire), de leur biologie, du type et de l'ouverture du milieu de découverte, ainsi des conditions météorologiques (Mineau et Collins 1988 ; Tobin and Dolbeer, 1990 ; Ward et al. 2006 ; Preece et al., 2017 ; Wobeser, 1992). Geoffrey et al. (2020) ont observé que les cadavres sont majoritairement retrouvés dans des zones à forte détectabilité (proches des routes et/ou des habitations et/ou des cours d'eau). Cela explique que la mortalité liée aux collisions avec des véhicules soit donc probablement surestimée. Il est aussi intéressant de pouvoir de détecter les cadavres rapidement après la mort. Il arrive que l'état du cadavre ne permette pas de conclure sur l'âge de l'animal ou son sexe (cadavres en état de putréfaction avancée ou en dessèchement, restes osseux, ou lorsque la dépouille est consommée post mortem). Au moins 19 dépouilles de lynx et 43 dépouilles de loups étaient altérées ou putréfiées, amenant à une autopsie partielle.

De plus, les pratiques d'analyses diffèrent entre les laboratoires départementaux, ce qui peut avoir une influence sur la phase diagnostique et donc sur les processus pathologiques identifiés. Le protocole harmonisé à l'échelle nationale pourrait être ré-évalué, notamment pour le mode de conservation des cadavres après collecte ou pour le délai de transfert des cadavres aux laboratoires.

Il est indispensable de prévoir un dispositif de suivi en cas d'émergence de maladies, pour limiter le risque d'épizootie, comme celle de maladie de Carré survenue dans une population de renards du Parc National Stelvio en Italie en 2009 (Martella et al., 2010). En cas d'éclosion d'un processus pathologique, il est important de réaliser un suivi spatio-temporel *via* une surveillance épidémiologique renforcée. Celle-ci peut s'orchestrer autour de la recherche active de cadavres dans une zone restreinte, ou bien être audiovisuelle (exemple : pièges photos pour la détection de la gale sarcoptique (Oleaga et al., 2011b)). Il faut aussi être en mesure de détecter la prévalence des agents étiologiques mis en cause. Pour pouvoir estimer le taux de prévalence ou la circulation d'un agent infectieux, il faut coupler la surveillance événementielle à d'autres méthodes à l'échelle des populations. Des sondages réguliers des populations dans un but de suivi de l'exposition à un agent infectieux peuvent être faits. Des prélèvements systématisés sur les animaux autopsiés permettraient de compléter les banques d'échantillons déjà existantes. Les loups abattus dans le cadre de tirs de régulation représentent une ressource de prélèvements non négligeable. Cette stratégie permettrait, si une maladie infectieuse venait à émerger sur le territoire, la réalisation d'études rétrospectives et d'apporter des connaissances sur les types de maladies présentes, leur localisation, et les populations concernées (Mörner et al., 2002). Cela permettrait dans certaines populations de faire un point sur leur statut vis-à-vis de certains agents infectieux. Un dépistage systématique sur les animaux morts autopsiés, sans clinique évocatrice, permettrait également de voir si la circulation est active.

Conclusion

Il est parfois complexe de déterminer les causes de mortalité chez la faune sauvage, et les espèces *Canis lupus* et *Lynx lynx* en sont des exemples représentatifs. Bien que certaines causes de mortalité soient mises en lumière avec certitude, comme c'est le cas pour les traumatismes, des pathologies secondaires d'origine infectieuse ou anthropique viennent souvent complexifier le diagnostic. Grâce au système original de surveillance basé sur l'interface entre un réseau à finalité épidémiologique et un réseau à finalité écologique, plusieurs processus létaux majeurs ont pu être identifiés : ce sont les collisions avec des véhicules et l'exposition à des résidus toxiques et à des agents infectieux. Ces résultats montrent l'intérêt des examens nécropsiques, systématiques lors de toute découverte de cadavre de loup ou lynx, même lorsqu'il s'agit de tirs de régulations.

Actuellement, les processus morbides mis en jeu dans la mortalité des grands carnivores font l'objet de plus en plus d'études en Europe continentale, comme en Suisse (Schimdt-Posthaus *et al*, 2002), en Espagne (Millan *et al*, 2009 ; Millan *et al*, 2016) ou encore en Italie (Ambrogi *et al*, 2019).

Les stratégies de surveillance et de conservation des grands carnivores en France sont amenées à être adaptées dans le futur. La détection de la mortalité présente plusieurs biais, et les méthodes de recherche des dépouilles pourront être repensées, afin d'obtenir des échantillons d'animaux plus représentatifs de l'ensemble de la population. Les connaissances des maladies présentes chez la faune sauvage nécessitent d'être actualisées en continu, car les processus pathologiques sont dynamiques. Avec le changement climatique, la diversification des utilisations du territoire et les modifications des paysages, les populations doivent maintenant faire face à de nouveaux enjeux qui peuvent modifier l'équilibre actuel des populations (Patz *et al*, 2004 ; Hoberg *et al*, 2015).

Remerciements

Nous tenons à remercier les services départementaux et les délégations inter-régionales de l'OFB, l'ensemble des membres et partenaires du réseau Loup-Lynx, les laboratoires départementaux d'analyses vétérinaires, les fédérations de chasse, les centres de réhabilitation et les vétérinaires libéraux, qui ont participé au dressage de ces bilans.

B) Impact des activités humaines sur la mortalité

a. Focus sur les évènements traumatiques

i. Analyse factorielle sur les individus morts des suites d'un traumatisme

Les traumatismes représentent la cause de mortalité la plus importante en France pour les loups gris et les lynx boréaux, c'est pourquoi nous avons décidé d'explorer davantage ce signal de mortalité. De plus, la détection de signaux anormaux de mortalité par traumatisme (c'est-à-dire en dehors des périodes de dispersion, de portions routières fortement accidentogène, etc.) peut être révélatrice de processus pathologiques sous-jacents. Cela nécessite ensuite d'articuler avec des investigations sanitaires ciblées et des modalités de surveillance adaptées. Une analyse factorielle sur les individus traumatisés (tout type de traumatisme) a été réalisée pour ces deux espèces.

Chez les individus traumatisés, plusieurs types de processus pathologiques secondaires ont été mis en évidence :

- Le parasitisme, pathologie associée aux traumatismes la plus représentée (nfestations de parasites internes ou externes confondues) ;
- Les pathologies d'origine anthropique, correspondant aux imprégnations toxiques, et aux tirs de braconnage non létaux ;
- Les co-infections bactériennes et virales ;
- Les autres pathologies isolées (exemples : anomalies morphologiques, processus inflammatoires ou tumoraux, etc).

a) Loup gris

Pour l'analyse factorielle des évènements traumatiques, 45 loups gris ont été retenus d'après les critères énoncés précédemment. La part de variabilité expliquée par chacun des axes vectoriels apparaît dans la **figure 9**.

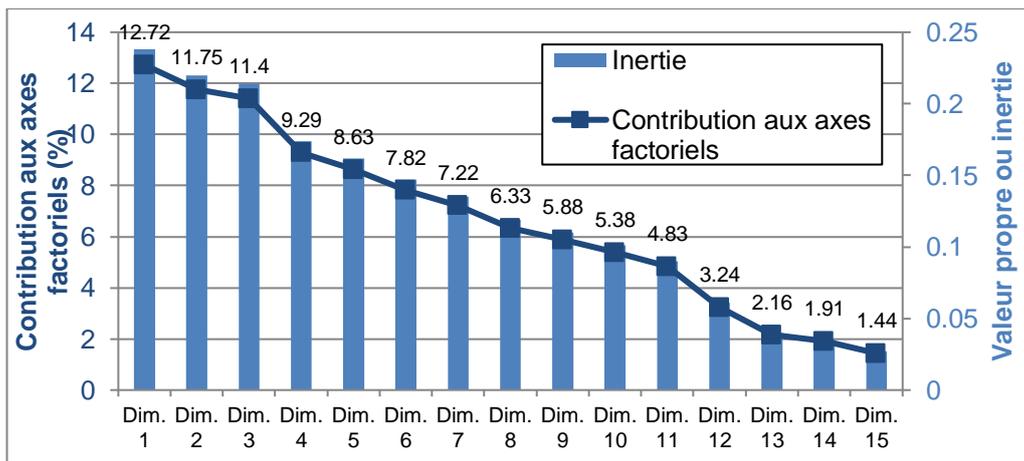


Figure 9 : Inertie de chaque axe de l'ACM et contributions en pourcentages aux axes factoriels chez les loups gris

Pour l'analyse factorielle effectuée sur l'échantillon de loups victimes de traumatismes en France, on a retenu trois axes factoriels, comptant pour 35,9% de la variance des données.

Variables	Modalités	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3
<i>Saison</i>	<i>Hiver</i>	21,58%	0,82%	0,32%
	<i>Printemps</i>	11,32%	6,83%	10,33%
	<i>Eté</i>	2,74%	7,76%	15,92%
	<i>Automne</i>	0,30%	3,38%	0,01%
<i>Département</i>	<i>Alpes-de-Haute-Provence</i>	2,37%	0,89%	23,21%
	<i>Alpes-Maritimes</i>	8,23%	6,51%	1,24%
	<i>Drôme</i>	0,31%	11,47%	0,78%
	<i>Hautes-Alpes</i>	2,67%	5,88%	4,24%
	<i>Isère</i>	7,21%	2,58%	7,34%
	<i>Savoie</i>	0,02%	2,73%	0,02%
	<i>Var</i>	12,23%	1,55%	3,18%
<i>Sexe</i>	<i>Femelle</i>	0,01%	8,33%	0,60%
	<i>Mâle</i>	0,09%	7,29%	0,58%
<i>Classe d'âge</i>	<i>Adulte</i>	1,80%	0,51%	0,58%
	<i>Immature</i>	4,94%	1,39%	1,60%
<i>Parasitisme</i>	<i>Oui</i>	5,51%	2,40%	3,38%
	<i>Non</i>	1,01%	0,44%	0,63%
<i>Pathologie d'origine anthropique</i>	<i>Oui</i>	0%	6,98%	6,08%
	<i>Non</i>	0%	1,07%	0,93%
<i>Co-infection</i>	<i>Oui</i>	0,78%	19,26%	17,04%
	<i>Non</i>	0,08%	19,26%	17,04%
<i>Autre</i>	<i>Oui</i>	14,5%	0,04%	0,31%
	<i>Non</i>	2,23%	0,01%	0,05%

Tableau 13 : Contribution des différentes variables aux axes factoriels chez le loup

Le **Tableau 13** montre que ce sont la saison, le département de découvertes et les processus pathologiques « autres » qui contribuent le plus au premier axe factoriel. Par exemple, la saison de découverte explique 36% de la variabilité de l'axe horizontal qui lui-même explique environ 12,7% de la variabilité de la population. Les variables contribuant le plus au deuxième axe factoriel sont le département, le sexe et la présence de co-infections (cf **Figure 10a**). Enfin, les variables contribuant le plus au troisième axe factoriel sont la saison et la présence de co-infections.

La figure 10a présente la cartographie des modalités des différentes variables, et la figure 10b la distribution des individus selon les axes 1 (horizontal) et 2 (vertical).

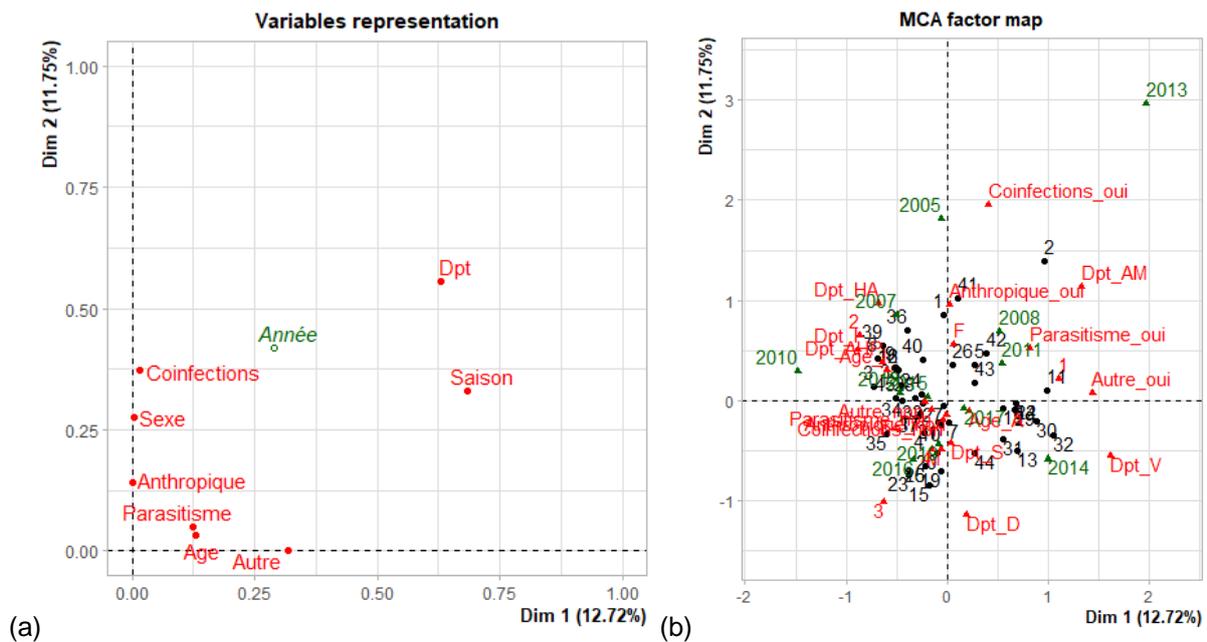


Figure 10 : Graphique représentant les variables (a) et les individus (b) dans le plan factoriel pour l'échantillon de loups gris (45 individus)

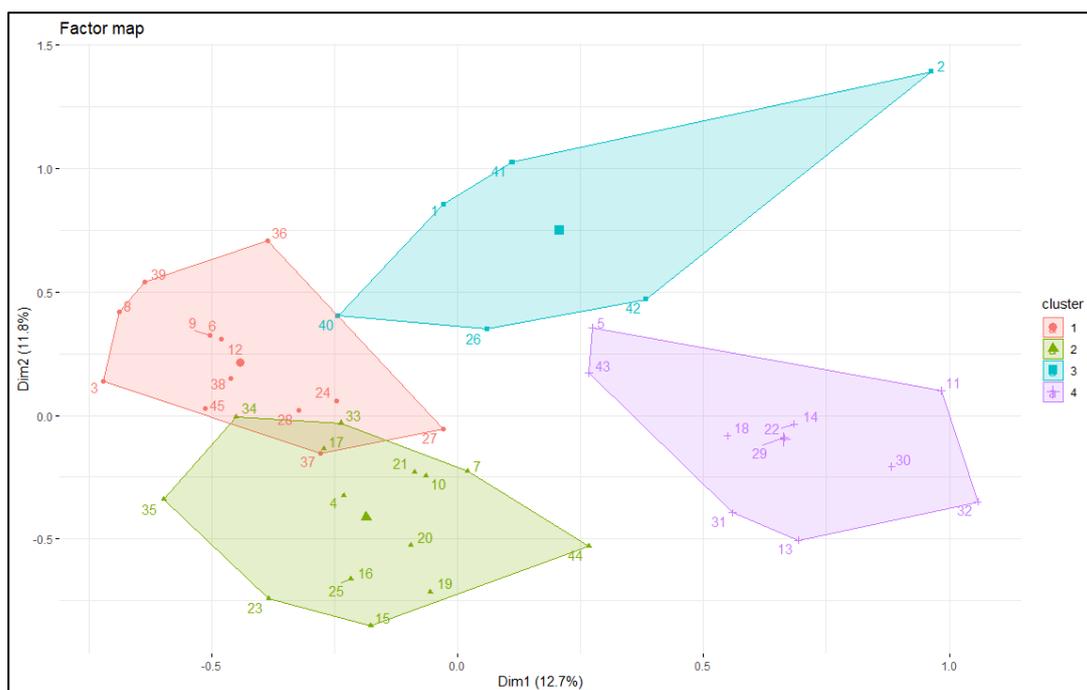


Figure 11 : Représentation des clusters mis en évidence par la méthode HCPC dans la population de loups gris victime d'évènements traumatiques

L'approche HCPC a révélé l'existence de quatre clusters (cf **Figure 11**). Le premier cluster mis en évidence regroupe 13 loups. Les modalités discriminantes pour décrire cet agrégat sont la découverte dans les départements de l'Isère et des

Hautes-Alpes (regroupant 11 individus de la classe) et la découverte pendant la saison de printemps (11 individus également).

Dans le deuxième agrégat, comptabilisant 15 individus, sont plus représentés les individus découverts dans la Drôme et la Savoie (12 individus), en période d'été et d'automne (12 individus), aucun loup ne présentant de parasitisme.

Le troisième cluster comptant six individus, non regroupés spatio-temporellement, ne sera pas étudié car peu représentatif de la mortalité globale.

Enfin, le dernier agrégat mis en exergue au cours de cette analyse compte 11 individus, correspond à des individus adultes en totalité, découverts dans le Var (4 individus), en hiver (neuf individus), présentant un processus pathologique secondaire « autre » que du parasitisme, une exposition à un toxique ou une infection non parasitaire (cinq individus).

Ainsi, la mortalité traumatique est agrégée dans les départements de l'Isère et des Hautes-Alpes, pendant les mois de mars à mai, dans les départements de la Drôme et de la Savoie entre juin et novembre, et dans le Var entre décembre et février chez les loups adultes. Les loups victimes d'événements traumatiques dans la Drôme et la Savoie en été et automne semblent majoritairement indemnes de parasites. Cependant, les recherches de parasites internes et externes ne sont pas réalisées systématiquement sur les cadavres. L'absence de parasitisme enregistré dans certaines régions peut donc être corrélée à un défaut de détection. En revanche, la mortalité traumatique ne semble pas présenter de lien avec les pathologies secondaires causées par l'homme ni avec les co-infections observées.

b) *Lynx boréal*

98 individus ont été retenus pour l'analyse factorielle des événements traumatiques à l'origine de mortalité dans la population de lynx française.

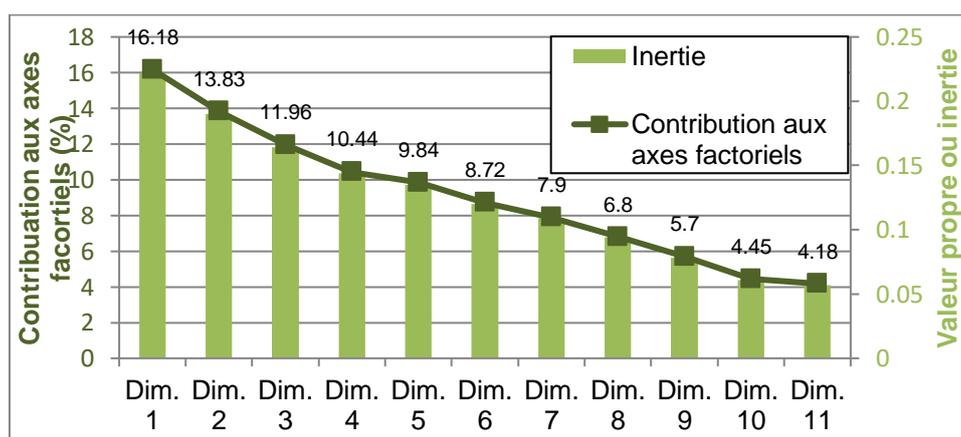


Figure 12 : Inertie de chaque axe de l'ACM et contributions en pourcentages aux axes factoriels chez les lynx boréaux

De la même façon que pour les loups, nous avons retenu trois axes factoriels pour l'analyse factorielle effectuée sur l'échantillon de lynx victimes de traumatismes (cf **Figure 12**).

Variables	Modalités	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3
<i>Saison</i>	<i>Hiver</i>	0,01%	0,09%	3,59%
	<i>Printemps</i>	0,18%	15,13%	0,36%
	<i>Eté</i>	1,57%	4,66%	3,04%
	<i>Automne</i>	0,85%	13,53%	0,77%
<i>Département</i>	<i>Ain</i>	0,92%	0,12%	23,95%
	<i>Doubs</i>	4,48%	5,36%	9,57%
	<i>Jura</i>	7,64%	5,63%	3,29%
<i>Sexe</i>	<i>Femelle</i>	1,49%	3,08%	5,77%
	<i>Mâle</i>	1,43%	2,96%	5,54%
<i>Classe d'âge</i>	<i>Adulte</i>	1,79%	17,48%	0,76%
	<i>Immature</i>	1,34%	13,11%	0,57%
<i>Parasitisme</i>	<i>Oui</i>	6,60%	0,08%	12,48%
	<i>Non</i>	8,80%	0,11%	16,64%
<i>Pathologie d'origine anthropique</i>	<i>Oui</i>	15,04%	1,63%	7,38%
	<i>Non</i>	1,90%	0,21%	0,93%
<i>Co-infection</i>	<i>Oui</i>	16,44%	12,56%	0,29%
	<i>Non</i>	0,88%	0,68%	0,02%
<i>Autre</i>	<i>Oui</i>	27,45%	3,44%	4,81%
	<i>Non</i>	1,17%	0,15%	0,20%

Tableau 14 : Contribution des différentes variables aux axes factoriels chez le lynx

Le **Tableau 14** montre que ce sont les processus pathologiques secondaires (parasitisme, co-infection, processus d'origine humaine et « autres ») qui contribuent le plus au premier axe factoriel. Par exemple, la saison de découverte explique 15,4% de la variabilité de l'axe horizontal qui lui-même explique environ 16,2% de la variabilité de la population. Les variables contribuant le plus au deuxième axe factoriel sont la saison, le département, l'âge, et la présence de co-infections mises en évidence. On retrouve ces informations sur la **Figure 13a**. Enfin, les variables contribuant le plus au troisième axe factoriel sont le département, le sexe et le parasitisme.

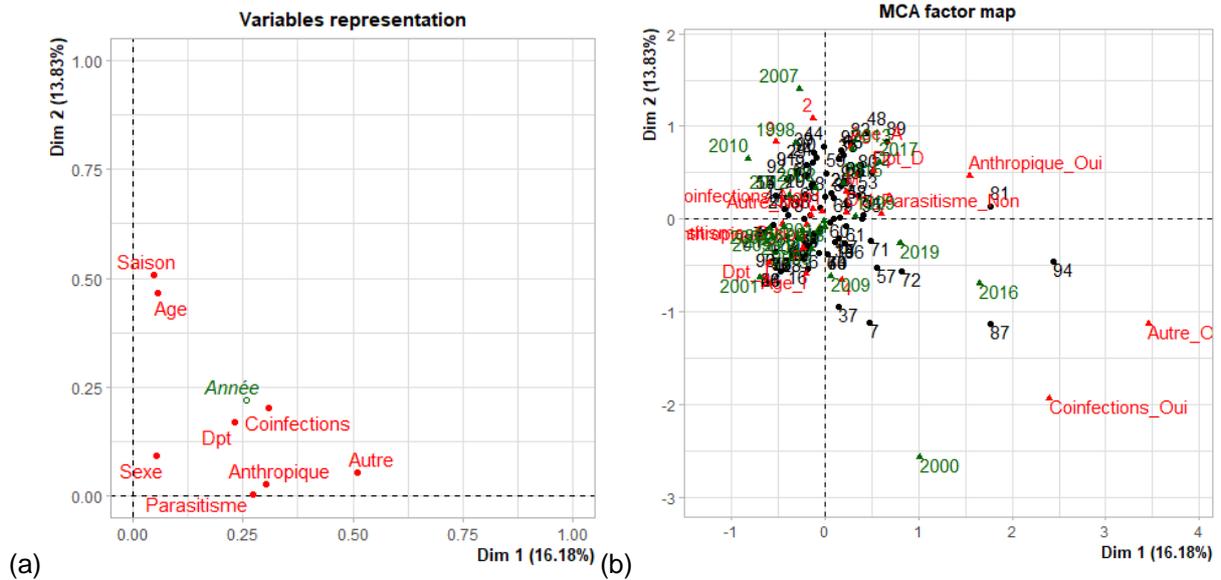


Figure 13 : Graphique représentant les variables (a) et les individus (b) dans le plan factoriel pour l'échantillon de lynx boréaux (102 individus)

D'après la **Figure 13b**, les pathologies accessoires infectieuses non parasitaires (notées co-infections) et les autres processus secondaires semblent peu représentatifs de l'ensemble de l'échantillon de lynx.

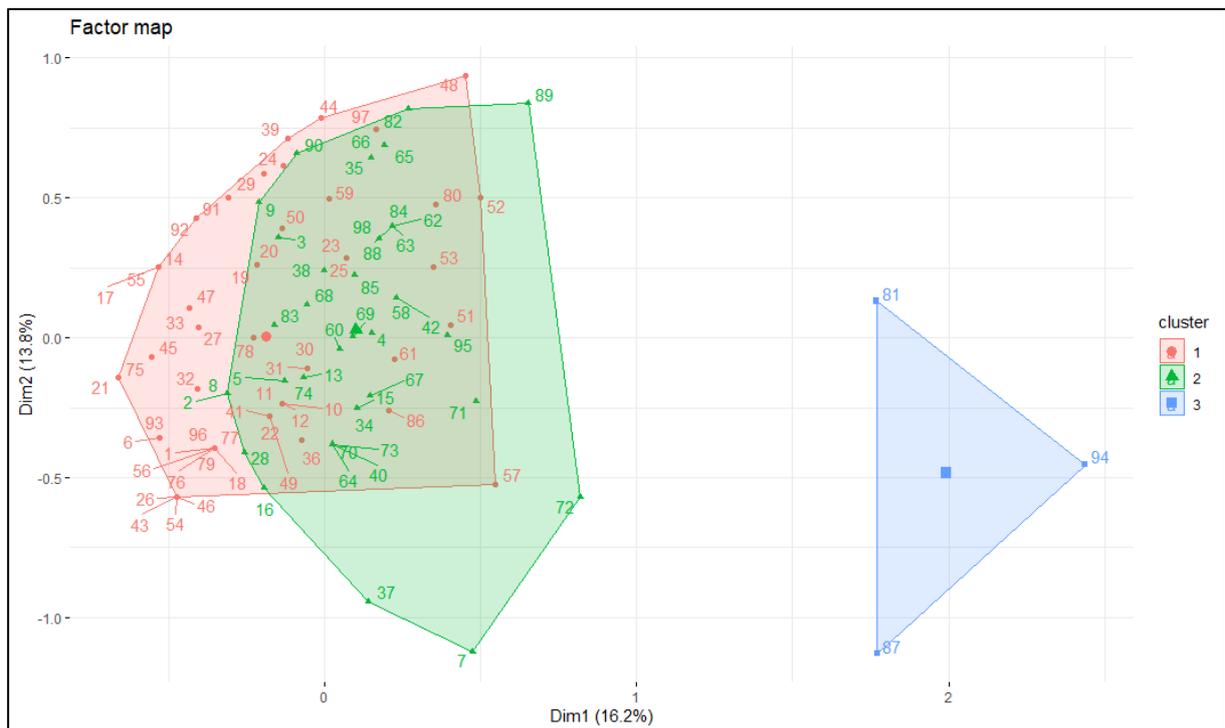


Figure 14 : Représentation des clusters mis en évidence dans la population de lynx boréaux victime d'évènements traumatiques

La classification hiérarchique HCPC a révélé l'existence de trois clusters dans la population de lynx traumatisés (cf **Figure 14**). Le premier cluster mis en évidence regroupe 54 lynx. Cet agrégat d'individus est caractérisé en majorité par des individus mâles (mâles surreprésentés, 34 individus de l'échantillon), jeunes (36 individus), découverts dans le Jura (28 individus) en saison automnale (9 individus), porteurs de parasites internes ou externes (50 individus) mais ne présentant aucune co-infection.

Le deuxième agrégat, comptabilisant 41 individus, regroupe des individus majoritairement femelles (28 individus), découverts dans l'Ain (24 individus), non parasités (35 individus).

Enfin, le troisième cluster ne regroupe que 3 individus, non regroupés spatialement ou temporellement, et ne sera donc pas étudié dans notre analyse car peu représentatif de la mortalité générale.

En résumé, la mortalité par traumatisme est sur-représentée chez les jeunes lynx mâles dans le Jura, plus particulièrement en automne. En effet, on répète que cette mortalité plus élevée chez les jeunes à la fin de l'été et en automne s'explique par le fait qu'à partir du mois de juillet, les juvéniles commencent à partir à la chasse avec des adultes, dans le but de prendre leur indépendance l'hiver suivant. Leur manque d'expérience peut aussi les amener à subir plus d'évènements traumatiques.

Cette mortalité est également sur-représentée chez les lynx femelles dans le département de l'Ain, non infestées par des parasites.

Il semblerait qu'il y ait plus d'individus parasités dans le département du Jura. Cette hypothèse peut être vérifiée à l'aide d'un test statistique du khi-deux sur les lynx porteurs de parasites dans le Jura par rapport aux autres départements. Ce test confirme l'hypothèse émise ($p=0,007$) : il y a significativement plus d'animaux parasités dans le Jura que dans les autres départements. Néanmoins, le Jura correspond au département de plus forte mortalité du lynx sur le territoire français, ce qui implique qu'il y ait plus d'infestations parasitaires enregistrées. De plus, comme cela a été notifié pour les loups, la plus faible prévalence de parasitisme enregistrée dans le Doubs et l'Ain peut être corrélée à une détection moins importante. On ne peut pas exclure qu'il n'y ait pas aussi un biais dans les déclarations de parasitisme. Selon les départements, le parasitisme sera plus ou moins précisé dans le rapport d'autopsie, et ne sera parfois notifié que lorsqu'il est sévère. Les techniques de recherche des parasites peuvent également différer en fonction des laboratoires, et influencer cette observation.

ii. Distribution spatiale et temporelle des évènements routiers

Dans la suite du développement, les résultats obtenus pour les espèces loup et lynx seront présentées simultanément car les processus pathologiques présentés sont similaires pour les deux espèces.

D'après les analyses factorielles effectuées, on a démontré que la mortalité par traumatisme, quel que soit le type de traumatisme, est plus représentée chez plusieurs classes des populations de grands carnivores :

- Loups dans les départements de l'Isère et des Hautes-Alpes, au printemps ;
- Loups adultes dans le département du Var, en hiver ;
- Loups peu parasités dans les départements de la Drôme et de la Savoie ;
- Jeunes lynx mâles dans le Jura, plus particulièrement en automne, porteurs de parasites externes et internes ;
- Lynx femelles dans le département de l'Ain.

A présent, on peut étudier de façon plus descriptive les traumatismes routiers, qui représentent la majorité des évènements traumatique enregistrés (44/59 loups, 101/126 lynx).

Les traumatismes routiers dont sont victimes les grands carnivores ont lieu sur toute l'aire de présence de ces espèces (cf **Figure 15**). En effet, on remarque que les départements dans lesquels les évènements mortels liés à des collisions avec des véhicules sont détectés correspondent aux zones de plus forte présence régulière de ces espèces (cf **Figures 1 et 2**). Pour les loups gris, les régions où les évènements traumatiques sont les plus nombreux sont principalement la Provence-Alpes-Côte-d'Azur et l'Auvergne-Rhône-Alpes, alors que pour les lynx il s'agit de la région Auvergne-Rhône-Alpes seulement.

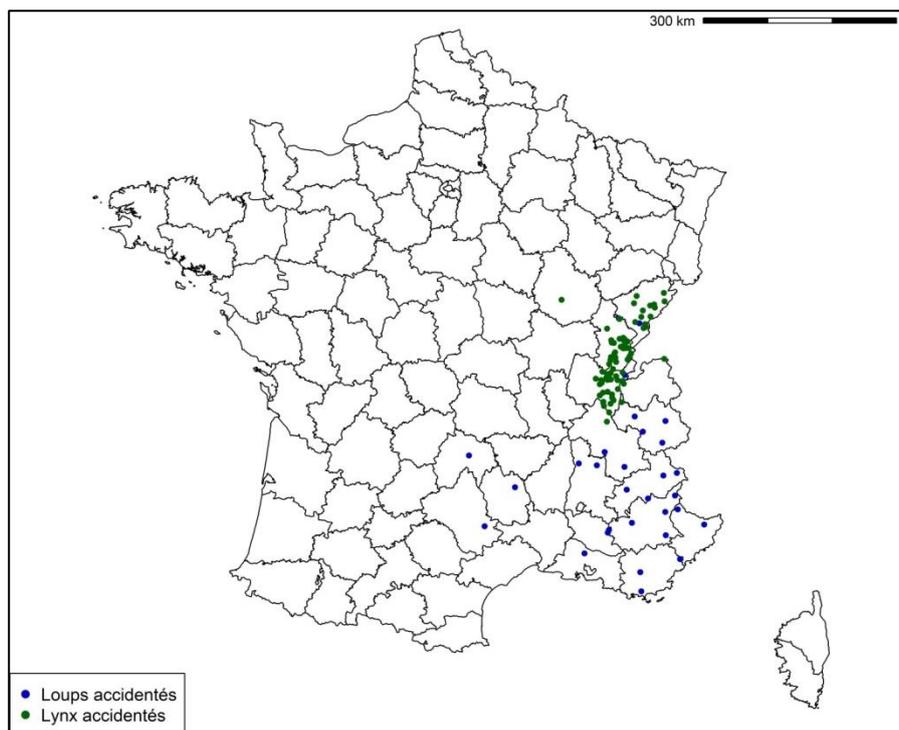


Figure 15 : Distribution des traumatismes de la route à l'échelle nationale pour les loups gris et les lynx boréaux

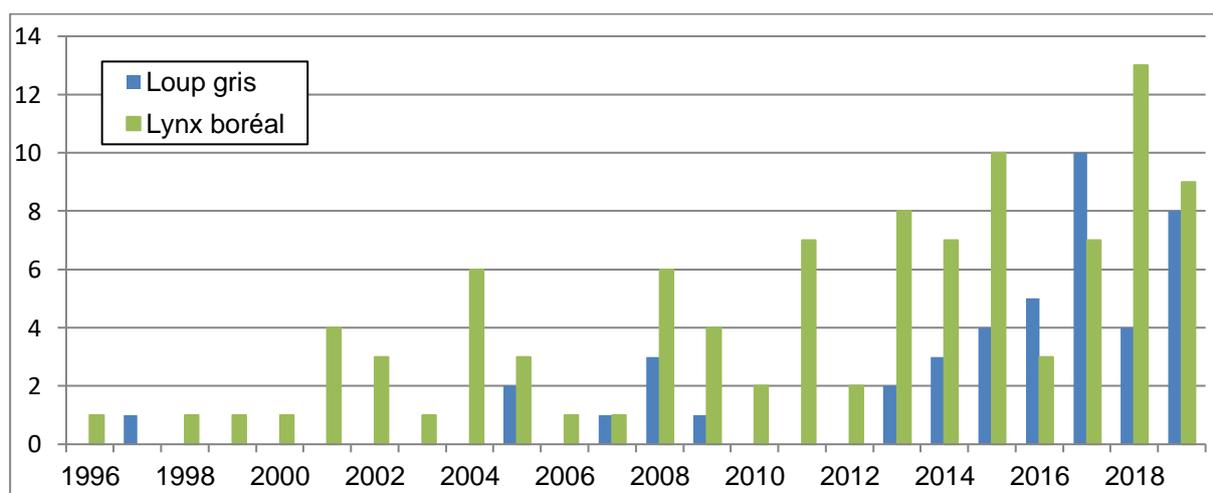


Figure 16 : Evolution annuelle des collisions avérées avec des véhicules pour le loup gris et le lynx boréal

Cette cause de mortalité semble être en augmentation depuis plusieurs années (cf **Figure 16**), bien que les effectifs soient relativement faibles. Ce type de mortalité a atteint un pic en 2018 pour la population de lynx boréaux, avec 14 individus décédés des suites de collisions, et en 2017 pour les loups gris, année où l'on dénombre 10 individus trouvés morts dans ces conditions.

De plus, on remarque que les traumatismes routiers sont plus marqués en automne, cette saison concentrant 45% (45/101) de la mortalité par collision pour les lynx par exemple.

iii. Echantillon d'individus victimes de collisions avec des véhicules et trains

Les collisions avec des véhicules représentent 58% (101/174) de l'ensemble de la mortalité chez les lynx français, et 41% (44/108) des loups non abattus.

	Sexe			Classe d'âge			
	Femelle	Mâle	Inconnu	Immature	Adulte	Sénescent	Inconnu
Loup gris	17	24	3	10	29	1	4
Lynx boréal	42	48	11	46	41	0	14

Tableau 15 : Description de l'échantillon d'individus ayant subi un traumatisme routier

La réalisation d'un test statistique d'hypothèse khi-deux a permis de déterminer qu'un sexe n'était pas représenté plus que l'autre dans les échantillons de loups et de lynx accidentés (cf **Tableau 15**). En revanche, les loups adultes sont significativement plus touchés que les immatures ($p\text{-value}=3,3e\text{-}06$). Contrairement au lynx, le loup est une espèce sociable qui vit en petite communauté. Les jeunes sont amenés à rester dans la meute pendant parfois plusieurs générations avant de prendre leur indépendance pour se disperser. Ces derniers profitent plus longtemps de l'expérience de leurs aînés et parcourent de moins grandes distances, c'est pourquoi les jeunes sont peut-être moins sujets aux collisions routières. Les clusters de traumatismes routiers identifiés chez les loups gris par analyse factorielle sont i) dans la zone rassemblant les départements de l'Isère et des Hautes-Alpes, au printemps, ii) dans le Var, en hiver, pour les individus adultes, iii) dans la zone rassemblant la Drôme et la Savoie, pour des individus peu parasités.

Le programme « ERC-Lynx », lancé en 2017, a pour but d'éviter, de réduire et de compenser le risque de mortalité du lynx en France, par collision avec les véhicules de transport. L'enjeu principal est le maintien d'une connectivité écologique entre les aires d'habitats du lynx, de diminuer les collisions, et de développer des outils pour les acteurs territoriaux, comme le développement d'un logiciel pour évaluer l'impact d'un aménagement des infrastructures de transport terrestre et leurs emprises sur la viabilité du lynx. Ce programme a permis d'identifier les facteurs de risque de collisions chez le lynx boréal en France. La répartition des collisions par classe d'âge et sexe est homogène. Les collisions sont significativement plus nombreuses en semaine que pendant le week-end, et plus marquées en automne que le reste de l'année. Le type de route et de sol a aussi une influence avérée sur les traumatismes, ainsi les routes à grande vitesse (entre 80 et 90 km/h) et les sols non artificialisés concentrent respectivement 71% et 68% des collisions (Souillot, D.,

2018). L'intérêt d'un tel programme serait limité pour les loups gris, certes victimes de ce type de traumatisme, mais pour lesquels l'évolution démographique est satisfaisante.

Les traumatismes routiers peuvent représenter des évènements sentinelles de pathologies sous-jacentes. En effet, une collision peut être évocatrice d'une baisse de vigilance, provoquée par un processus plus discret. Les comorbidités identifiées chez les individus percutés par des véhicules sont notamment le parasitisme, identifié chez 8 loups et 48 lynx, ou des expositions à des produits toxiques tels que des insecticides ou des raticides, identifiées chez 6 loups et 9 lynx.

iv. Processus pathologiques secondaires associés

Les traumatismes routiers peuvent représenter des évènements sentinelles de pathologies sous-jacentes. En effet, une collision peut être évocatrice d'une baisse de vigilance, provoquée par un processus plus discret.

Les processus pathologiques secondaires identifiés lors de collisions avec des véhicules sont :

- le parasitisme, identifié chez 18% (8/44) des loups atteints et 48% (48/101) des lynx, un cas de leishmaniose a également été détecté chez un loup gris en 2013 sans répercussion clinique *a priori* ;
- des expositions à des produits toxiques tels que des insecticides ou des raticides, identifiées chez 6 loups et 9 lynx ;
- des portages bactériens et viraux, identifiés chez 5 loups et 7 lynx. Les bactéries identifiées sont notamment *Pasteurella multocida*, *Staphylococcus aureus* ou des bactéries du genre *Streptococcus*, *Clostridium* et *Moraxella*. Les virus identifiés sont les parvovirus félin et canin, et le paramyxovirus responsable de la maladie de Carré ;
- des découvertes fortuites autres, comme la présence de cardiomyopathies chez deux lynx et un loup, la détection de plombs dans le tissu sous-cutané cicatrisé, ou encore une tumeur splénique chez un lynx.

Le projet de recherche « ERC-Lynx » en cours étudie les facteurs de risque des collisions routières dans les populations de lynx. En revanche, l'étude des processus pathologiques secondaires associés aux collisions avec des véhicules n'avait jamais été réalisée auparavant et se révèle intéressante. En effet, les comorbidités peuvent être à l'origine d'une baisse de vigilance qui va favoriser la survenue de traumatismes.

b. Focus sur les imprégnations toxiques

De nombreuses molécules à effet toxique peuvent être ingérées par les grands carnivores, et provoquer des manifestations cliniques sévères diverses.

L'imprégnation toxique peut se produire par ingestion accidentelle d'une proie elle-même intoxiquée, mais une origine criminelle ne peut pas être exclue. L'effet morbide associé à une molécule dépend de la dose d'exposition, de la voie d'exposition, de la toxicité intrinsèque de la molécule, des synergies avec d'autres molécules ingérées, de la sensibilité de l'espèce, et individuelle. On parle d'intoxication lorsque le contact avec la molécule est à l'origine de manifestations cliniques, létales ou sublétales, ou d'exposition lorsque l'imprégnation toxique ne provoque pas de répercussion sur son état général.

Sur la période de 1990 à 2019, ce sont 148 analyses toxicologiques qui ont été réalisées dans l'échantillon de lynx, et 116 dans l'échantillon de loups, toutes molécules confondues. En ce qui concerne les lynx, seules 13% (19/148) des analyses se sont révélées positives, et 12% (14/116) pour les loups (**Tableau 12**). Les résidus toxiques détectés sont principalement des anti-coagulants à visée raticides (23/33), des raticides à base de chloralose (5/33) et des insecticides inhibiteurs de cholinestérases (3/33). Les anti-coagulants (AVK) les plus détectés sont la bromadiolone (détectée chez 8 lynx) ou la chlorophacinone (détectée chez 4 loups).

Néanmoins, la cause de la mort correspondait à une intoxication par des résidus toxiques pour seulement 4 loups (4/14 exposés à un résidu toxique) et 3 lynx (3/19 exposés à un résidu toxique). Les résidus identifiés comme responsables de ces mortalités sont des molécules raticides à action anti-coagulante (bromadiolone, chlorophacinone, difénacoum, diféthialone), du raticide à base de chloralose, des insecticides ou pesticides (carbofuran, lindane), ou encore du plomb. Un lynx mâle adulte a été intoxiqué au pentobarbital de façon accidentelle par consommation d'un ovin euthanasié.

	Sexe			Classe d'âge		
	Femelle	Mâle	Inconnu	Immature	Adulte	Inconnu
Loup gris	3	7	1	3	6	2
Lynx boréal	8	11	0	7	11	1

Tableau 16 : Description de l'échantillon d'individus ayant été imprégné par des résidus toxiques

Toutes les classes d'âge et sexes semblent être susceptibles d'être exposés à des produits toxiques (cf **Tableau 16**).

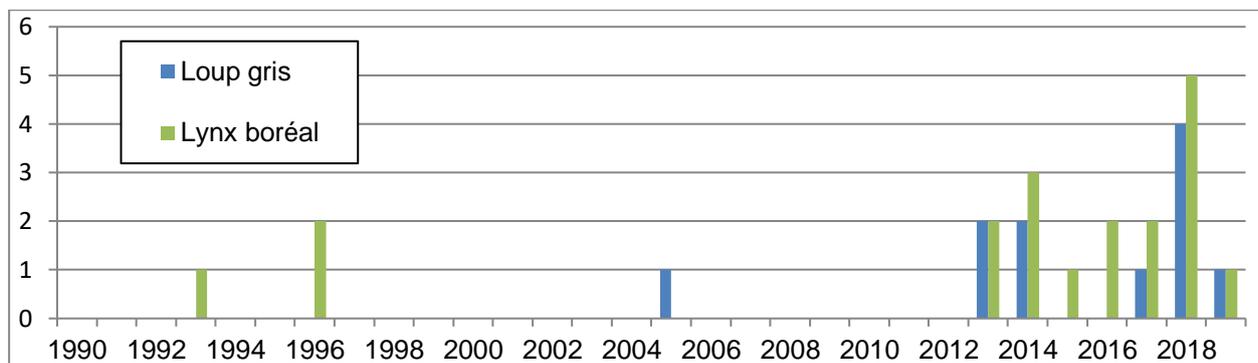


Figure 17 : Evolution annuelle des imprégnations toxiques détectées chez le loup gris et le lynx boréal

Ces expositions à des résidus toxiques sont réparties au cours du temps depuis 1990, et il ne semble pas y avoir de pic d'exposition (cf **Figure 17**). De plus, elles ont été démontrées tout au long de l'année, bien qu'elles semblent moins prépondérantes pendant la période estivale.

Les expositions non létales à des produits toxiques peuvent engendrer une baisse de vigilance favorisant la survenue d'évènements secondaires tels que des traumatismes. C'est pour cette raison que la recherche d'une imprégnation toxique est souvent réalisée pour les individus traumatisés, aussi bien les collisions avec des véhicules que les autres types de traumatismes.

C) Bilan des processus pathologiques secondaires mis en évidence

Les examens nécropsiques des animaux trouvés morts ou malades et des loups abattus dans le cadre de tirs dérogatoires permettent parfois de détecter des pathologies secondaires, dites « accessoires », qui ne sont pas à l'origine de la mortalité. En effet, certains processus morbides peuvent provoquer un affaiblissement de l'individu, et par conséquent une diminution de sa vigilance et de sa réponse immunitaire qui peut favoriser la survenue de processus pathologiques mortels. Ces pathologies secondaires sont parfois seulement des découvertes d'autopsie, qui ne semblent pas avoir eu d'impact sur l'état général de l'animal.

Les processus pathologiques secondaires mis en évidence chez le loup gris et le lynx boréal ont été résumés dans les **Annexes 23** et **24**. Ces pathologies peuvent être d'origine traumatique, toxique, infectieuse, inflammatoire, tumorale, etc.

a. Ectoparasitoses et endoparasitoses

On remarque que le parasitisme est le processus accessoire le plus souvent diagnostiqué lors des examens nécropsiques. Les parasites internes et cutanés mis en évidence sont résumés dans le tableau suivant (**Tableau 17**).

	Loup gris	Lynx boréal
Acariens du genre <i>Demodex</i>	0	1
Agents de gale auriculaire	0	37
Agents de gale sarcoptique	3	2
Cestodes du genre <i>Taenia</i>	79	2
Cestodes du genre <i>Echinococcus</i>	0	1
Coccidies (<i>Eimeria</i> ou <i>Isospora</i>)	1	4
Nématodes <i>Toxocara</i>	0	37
Nématodes <i>Ascaris</i>	0	31
Nématodes <i>Toxascaris</i>	0	2
Nématodes <i>Aelurostrongylus</i> et autres strongles pulmonaires	0	4
Nématodes <i>Ankylostomidae</i>	4	6
Nématodes <i>Capillaria</i>	0	11
Nématodes <i>Trichinella</i>	3	0
Nématodes <i>Trichuris</i>	2	3
Parasites internes non identifiés	2	0
Protozoaires du genre <i>Sarcocystis</i>	1	0
Puces	1	1
Tiques du genre <i>Dermacentor</i>	2	0
Tiques du genre <i>Ixodes</i>	31	33
Trématodes du genre <i>Dicrocoelium</i>	0	1
Trypanosomes <i>Leishmania</i>	1	0

Tableau 17 : Parasites mis en évidence lors des autopsies de loups et lynx

On rappelle que la présence de parasites internes a été démontrée chez 39% (67/170) des lynx et 22% (80/367) des loups étudiés, et des parasites externes chez respectivement 32% (54/170) et 10% (37/367) d'entre eux.

b. Point sur les cardiomyopathies chez les carnivores sauvages

Des cardiomyopathies ont été fortement suspectées chez quatre loups et deux lynx. Ces anomalies cardiaques correspondent souvent à des découvertes d'autopsie, et ne sont pas directement identifiées comme causes de la mort. Il a été suspecté chez un individu lynx seulement que la mort ait été provoquée par l'évolution d'une cardiomyopathie hypertrophique avancée.

Pour trois des quatre loups et pour les deux lynx, l'autopsie a révélé une hypertrophie du myocarde, soit un épaississement de la paroi, localisée au niveau des ventricules cardiaques. Pour un des individus loups, cette hypertrophie était concentrique et bilatérale (cf **Annexe 25**). L'hypertrophie était localisée au niveau du ventricule gauche seulement pour les deux autres loups atteints, de façon concentrique ou excentrique. Des cardiomyopathies hypertrophiques ont également été mises en évidence chez deux lynx. Face à cette suspicion de pathologie, un examen plus détaillé du cœur a été réalisé pour un des lynx atteints. Cet examen a mis en évidence un rapport ventricule gauche/ventricule droit de six (cf **Annexe 26**),

alors qu'il est égal à quatre physiologiquement chez les félinidés (Kareinen et al., 2020). Cette hypertrophie marquée réduisait de façon considérable le volume du ventricule droit. Enfin, cette hypertrophie était associée à un épaississement du myocarde au niveau du ventricule droit. Quelle que soit l'espèce considérée, tous les individus pour lesquels des cardiomyopathies ont été identifiées sont des mâles d'âge adulte.

Enfin, pour un loup abattu dans le cadre d'un tir de régulation, une cardiomyopathie dilatée a été suspectée. L'autopsie a révélé une dilatation modérée du ventricule droit, sans conséquence clinique sur l'animal *a priori* (cf **Annexe 27**).

Plusieurs cas de mortalité causée par des cardiomyopathies ont déjà été démontrés chez des lynx boréaux en Suisse et au Royaume-Uni (Heaver et al., 2019; Ryser-Degiorgis et al., 2006).

L'étude des cardiomyopathies chez la faune sauvage représente un intérêt pour les populations françaises de grands carnivores. En effet, il a été démontré qu'une prédisposition génétique aux cardiomyopathies dilatées existait chez les chats domestiques (Lawler et al., 1993). Ce caractère héréditaire n'a pas encore été étudié chez les félins et canidés sauvages mais, par analogie avec les carnivores domestiques, il est supposé que la génétique intervient dans les pathologies cardiaques détectées. Or, la diversité génétique est faible dans les populations de faible effectif comme celle du lynx boréal français. L'étude de Ryser-Degiorgis *et al* de 2006 a permis de poser l'hypothèse que la prévalence élevée des cardiomyopathies dans la population de lynx suisse pourrait être secondaire à de la consanguinité, phénomène qui est aussi observée en France. L'existence de cardiomyopathies dans la population peut donc représenter un risque à long terme pour l'espèce sur le territoire français. Par conséquent, bien que le nombre de cas identifiés soit relativement faible, et qu'il soit difficile de poser un diagnostic de certitude, la recherche de cardiomyopathies chez les loups et les lynx doit continuer à être systématisée lors des autopsies afin d'évaluer les risques encourus par ces espèces.

c. Un cas de cœnurose cérébrale chez un lynx ?

En 2019, un kyste intra-cérébral a été découvert à l'autopsie d'un lynx mâle adulte décédé de complications d'une cardiomyopathie. Le kyste observé présentait un contenu liquidien, était de taille importante (trois centimètres de diamètre) et localisé dans l'hémisphère gauche du cerveau de l'animal. Bien qu'aucun examen complémentaire de parasitologie n'ait été mené sur ce cas, la lésion observée a été jugée compatible avec une cœnurose.

La cœnurose est une cestodose larvaire due à la migration et au développement dans le système nerveux central de larves du genre *Cœnurus*. La plus répandue en

France est due à *Cœnurus cerebralis*, larve vésiculaire de *Taenia multiceps*, parasite de l'intestin grêle des carnivores. Elle touche principalement les ovins, mais elle peut affecter des spectres d'espèces très différents.

En effet, plusieurs cas de mortalité de chats domestiques ont été associés à des cœnuroses cérébro-spinales. *Cœnurus serialis*, qui est la larve du cestode *Taenia serialis*, a été identifié comme la cause de la mort de sept chats domestiques adultes entre 1984 et 2014 en Amérique du Nord (Huss et al., 1994; Jull et al., 2012; Kingston et al., 1984; Orioles et al., 2014; Smith et al., 1988). Les individus concernés présentaient tous des signes neurologiques marqués.

Les canidés sont généralement les hôtes intermédiaires privilégiés des parasites *Cœnurus*. Il est possible que le lynx pour lequel une cœnurose a été suspecté ait été contaminé par l'intermédiaire d'un chien domestique porteur, par ingestion de selles contaminées, ou par ingestion directe de viscères d'ovins contaminés. Cette dernière hypothèse semble la moins probable car les lynx ne sont habituellement pas des charognards et leurs proies sont généralement des petits ongulés.

D) Indicateurs de fonctionnement : des pratiques différentes selon les laboratoires d'analyse

a. Le mode de conservation des dépouilles comme paramètre d'intérêt

Il existe quatre modes de conservation des dépouilles entre le moment de leur collecte et leur acheminement dans un laboratoire départemental d'analyses, ou dans le laboratoire même (cf **Tableau 18**).

Conservation	Congélation	Réfrigération	Température ambiante	Indéterminé
Loup gris	96	40	121	237
Lynx boréal	44	3	16	112

Tableau 18 : Mode de conservation des cadavres

Les modalités de conservation des dépouilles diffèrent en fonction des départements. Par exemple, dans certains départements d'Auvergne-Rhône-Alpes, l'intégralité des dépouilles de lynx est congelée. La réfrigération est peu employée car nécessite une prise en charge rapide de la dépouille pour autopsie. Ces modes de conservation peuvent avoir un impact sur l'état de la dépouille au moment de l'autopsie, et donc sur la qualité de l'examen lésionnel. La détection de lésions est par exemple plus difficile sur un cadavre en état de décomposition avancé, alors qu'elle est facilitée sur un cadavre frais. De plus, la méthode de conservation influe aussi sur les prélèvements possibles et la qualité des analyses réalisées. Par exemple, des examens histologiques ne pourront pas être réalisés sur des tissus préalablement congelés, car la congélation est à l'origine d'une dégradation de certains tissus.

b. Des délais de transfert des dépouilles aux laboratoires variés

Il existe différents modes de conservation des dépouilles avant autopsie. La durée qui sépare la collecte et l'autopsie est primordiale, puisque celle-ci va avoir un effet sur l'état du cadavre. Les médianes de délais sont ici utilisées car plus représentatives (présence de valeurs extrêmes faussant les moyennes) (cf **Figures 18a et 18b**).

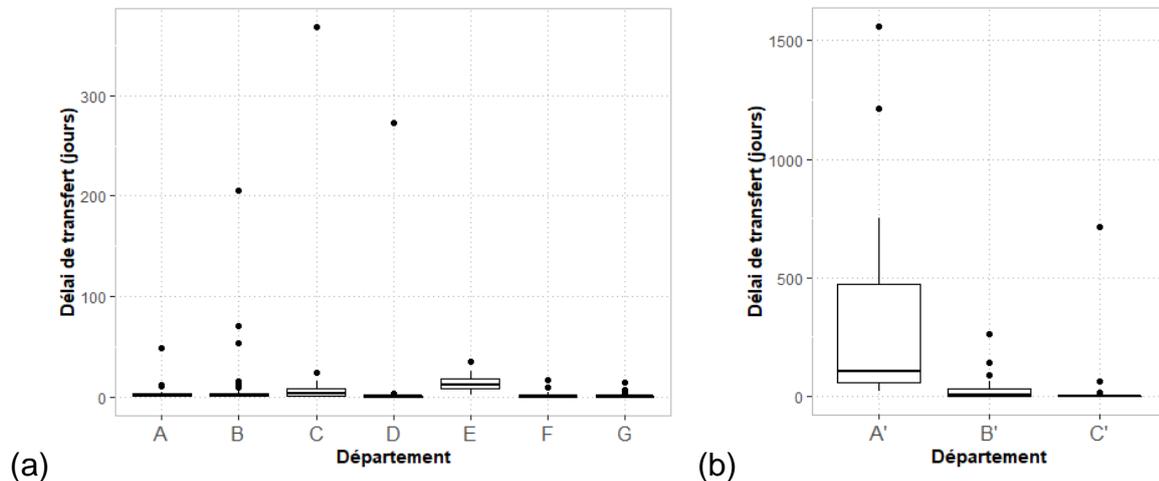


Figure 18 : Boîtes à moustaches des délais de transfert (en jours) des cadavres de loups gris (a) et des lynx boréaux (b) en fonction des départements

Entre la collecte d'une dépouille et son transport jusqu'au laboratoire d'analyses, les délais sont très variables entre départements. Les transferts demeurent relativement rapides et sont globalement de l'ordre de 2 à 3 jours pour tous les départements à l'exception de certains de la région Auvergne-Rhône-Alpes, où les médianes sont plus élevées. Afin d'améliorer la qualité des examens nécropsiques, il serait intéressant d'homogénéiser et de limiter au maximum les délais de conservation des cadavres avant autopsie.

c. Des probabilités de détection variables selon les observateurs et milieux de découverte

Lorsqu'un cadavre est découvert, les services départementaux sont contactés et procèdent à la collecte de l'échantillon et à son transfert dans un laboratoire départemental. Différents types d'observateurs peuvent découvrir les cadavres : des agents travaillant au service de l'OFB, des membres de Fédérations de chasse, des agriculteurs ou éleveurs, des citoyens travaillant dans l'environnement ou tout autre public (promeneur, automobiliste, etc).

Il ressort que, lors de collisions avec des véhicules, les cadavres sont découverts en majorité par des agents de l'OFB (33% pour les loups, 31% pour les lynx) et des agents de la voirie (33% pour les loups, 17% pour les lynx). Lors des tirs de loups, ce sont des agents de l'OFB (38%), des lieutenants de louveterie (30%), des chasseurs

(22%) ou des éleveurs (9%) qui détectent ces individus, car les tirs font l'objet de procédures réglementées. Le public joue un rôle non négligeable dans la détection de la mortalité des grands carnivores, car il est à l'origine de la découverte d'au moins 21 dépouilles de loups et de lynx, hors tirs de régulation. On remarque donc que les catégories d'observateurs diffèrent selon les processus pathologiques mis en cause.

Les dépouilles sont découvertes principalement en bords de routes et de chemins (38% pour les loups, 75% pour les lynx), par des agents de l'OFB ou de la voirie, et dans des prairies et landes (43% pour les loups) par des lieutenants de louveterie, des agents de l'OFB, des chasseurs ou encore des éleveurs. En effet, on rappelle que la majorité des processus mortels chez les loups correspondent aux tirs dérogatoires, qui sont facilités dans les milieux où la visibilité est satisfaisante, et à proximité des troupeaux à défendre comme les prairies et landes. De plus, les lynx sont victimes à grande échelle de collisions avec des véhicules. Ces événements sont souvent fatals dans l'immédiat pour les animaux, ce qui explique que les dépouilles soient principalement retrouvées en bords de routes. Les découvertes sont concentrées dans les milieux où la présence humaine est plus marquée.

IV. Discussion et pistes d'améliorations pour la surveillance

A) Impact de la mortalité observée sur la dynamique des populations

D'après les résultats de cette étude, il semblerait que l'enregistrement d'évènements mortels tende à augmenter d'année en année dans les populations de loups, en parallèle de l'évolution démographique de l'espèce. En ce qui concerne les lynx, les effectifs d'animaux trouvés morts annuellement sont faibles, les différences de mortalité entre années semblent donc plus correspondre à une fluctuation d'échantillon.

Les derniers bulletins d'informations du Réseau Loup-Lynx montrent que les aires de présence régulières et occasionnelles des loups augmentent sur le territoire français (Réseau Loup-Lynx et al., 2016). Bien que les évènements traumatiques, qui représentent la plus grande cause de mortalité pour les loups, aient une tendance à la hausse depuis la réapparition de l'espèce dans les années 1990, cette augmentation doit être analysée en parallèle de l'augmentation des effectifs de population. L'évolution démographique des loups est favorable, ainsi leur survie en France n'est pas mise en danger.

On remarque que la mortalité semble moins élevée chez les lynx d'âge adulte (65/175) que chez les lynx immatures (86/175), bien que cette observation ne puisse être démontrée significativement par des tests statistiques (test khi-deux, $p\text{-value}=0,08$). Cette observation est favorable pour l'évolution du lynx, car dans une population d'individus solitaires, avec une espérance de vie élevée comme le lynx, le taux de mortalité chez les adultes doit rester bas pour que la population soit stable sur le long terme (Schmidt-Posthaus et al., 2002b).

B) Rappel des objectifs de surveillance

Le loup gris et le lynx boréal sont deux espèces menacées en France. Le suivi de leurs populations se révèle essentiel pour optimiser la conservation de ces grands carnivores, et garantir leur pérennité sur le territoire français. La surveillance épidémiologique présente un intérêt majeur à l'échelle de la population principalement, et non individuellement.

Le but de la surveillance, orchestrée par la collaboration des réseaux SAGIR et Loup-Lynx, est de décrire l'état sanitaire des populations. Cela passe par une détection précoce de tout signal de morbidité ou de mortalité anormal. Les actions conjointes des deux réseaux sont en faveur de la détection d'agents causaux ayant un effet sur l'évolution démographique des populations en temps proche du réel. Ceci permet d'agir rapidement si un agent étiologique représentant un danger pour l'espèce venait à être découvert. Pour les maladies associées à un risque élevé de contagiosité et de transmissibilité, il est primordial de pouvoir détecter rapidement l'apparition d'un premier cas ou d'un premier foyer. De plus, la surveillance continue

ainsi réalisée permet un suivi dans le temps et dans l'espace des maladies à enjeu pour la santé des populations.

Par exemple, actuellement, le réseau SAGIR surveille étroitement l'état sanitaire des sangliers en France, pour être capable de détecter toute introduction de la peste porcine africaine sur le territoire français. Une surveillance événementielle associée à une surveillance renforcée par recherche active de cadavres de suidés sauvages a pour objectif d'être en mesure de détecter tout cas de peste porcine africaine en France, alors que la maladie virale circule déjà dans des pays frontaliers. La surveillance en cours permet de repérer précocément les dangers auxquels sont confrontés les loups et les lynx, et ainsi de limiter le risque d'épidémie.

C) Optimisation des stratégies de surveillance

a. Modalités de surveillance en fonction des objectifs

Pour le loup gris et le lynx boréal, seules les collisions avec des véhicules ont pu être associées à un niveau de risque élevé pour les populations. L'analyse bibliographique réalisée dans la première partie de l'étude a permis de mettre en exergue plusieurs agents infectieux représentant un risque modéré pour les grands carnivores. En ce qui concerne le loup, deux agents étiologiques sont associés à un niveau de risque global modéré : ce sont le virus de la maladie de Carré et les ectoparasites, plus particulièrement les acariens tels que *Sarcoptes scabiei* à l'origine de la gale sarcoptique. Pour le lynx, ces agents causaux caractérisés par un risque modéré sont le virus de la leucémie féline, les endoparasites, digestifs ou respiratoires, et les ectoparasites en partie similaires à ceux décrits chez le loup. On rappelle que, dans cette étude, des parasites internes ont été observés chez 39% (67/170) des lynx et 22% (80/367) des loups étudiés, et des parasites externes chez respectivement 32% (54/170) et 10% (37/367) d'entre eux (cf **Tableau 17**). Les parasitoses sont ainsi très représentées chez les populations de loups et de lynx en France. Or celles-ci peuvent représenter des risques non négligeables pour les populations. Leur contagiosité et le risque de mortalité qu'elles engendrent en font des enjeux majeurs de la surveillance. La maladie de Carré, en revanche, n'a été identifiée comme cause de mortalité que chez un seul canidé sauvage en 2006. Le virus a été mis en évidence chez quatre autres loups, sans conséquence clinique *a priori*. A ce jour, le paramyxovirus, responsable de cette maladie, ne semble donc pas représenter un danger infectieux majeur pour les populations de loups gris françaises. Enfin, aucune infection au virus leucémogène félin FeLV n'a été identifiée chez un lynx en France. Les informations obtenues au fil des recherches bibliographiques (cf **Tableaux 3 et 5**) sont cohérentes avec les résultats de l'étude épidémiologique réalisée. A l'exception des parasitoses, qui se révèlent enzootiques sur le territoire pour les deux espèces de carnivores, les autres maladies infectieuses représentant des risques modérés pour ces espèces apparaissent sporadiques.

Le choix des méthodes de surveillance dépend de plusieurs critères. Ces critères sont l'expression clinique et lésionnelle, qui se traduit à l'échelle individuelle, la situation épidémiologique, et la disponibilité d'outils analytiques validés pour détecter l'agent pathogène ou la réponse sérologique (Decors et al., 2014a). Ce choix de la méthode de surveillance la plus adaptée est résumé dans les **Tableaux 19** suivants :

Maladie infectieuse (<i>Canis lupus</i>)	Expression clinique		Expression lésionnelle macroscopique	Réponse sérologique	Détection de l'agent pathogène	Forme épidémiologique	Mode de vigilance recommandé
	Aigüe	Asymptomatique					
Maladie de Carré	x	x	0	x	x	Sporadique	SE basé sur le diagnostic sur loups et espèces sentinelles
Ectoparasitose	x	x	x	Pas en France	x	Enzootie	SE basé sur le diagnostic sur loups et espèces sentinelles
Parvovirose	x	0	x	x	x	Sporadique	SE
Hépatite de Rubarth	x	x	0	x	x	Sporadique	SE
Rage	x	0	x	x	x	Sporadique	SE
Leptospirose	0	x	0	x	x	Sporadique	SE
Endoparasitose	0	x	x	Pas en France	x	Enzootie	SE
Pasteurellose	0	x	x	x	x	Sporadique	SE
Maladie d'Aujeszky	x	x	0	x	x	Sporadique	SE
Ehrlichiose	0	0	0	x	x	Sporadique	SE

Maladie infectieuse (<i>Lynx lynx</i>)	Expression clinique		Expression lésionnelle macroscopique	Réponse sérologique	Détection de l'agent pathogène	Forme épidémiologique	Mode de vigilance recommandé
	Aigüe	Subaigüe					
Leucose féline	0	x	x	x	x	Sporadique	SER
Endoparasitose	0	x	x	x	x	Enzootie	SER
Ectoparasitose	0	x	x	x	x	Enzootie	SER
Parvovirose	x	0	x	x	x	Sporadique	SE
Immunodéficience virale féline	0	x	x	x	x	Enzootie	SE
Maladie de Carré	x	0	0	x	x	Sporadique	SE
Coronavirose	0	x	x	Non exploitable	0	Sporadique	SE
Adénovirose	0	0	0	x	x	Sporadique	SE
Néosporose	0	0	0	x	x	Sporadique	SE
Leptospirose	0	x	0	x	x	Sporadique	SE
Calicivirose	0	x	x	x	x	Sporadique	SE

Tableau 19 : Proposition de clé de décision pour le choix de la méthode de surveillance épidémiologique optimale pour les différents agents infectieux représentant des risques modérés à faibles chez les loups gris et les lynx boréaux

(SE : surveillance événementielle, SER : surveillance événementielle renforcée)

La recherche systématique du virus de la maladie de Carré chez les loups gris et du virus de la leucémie féline chez les lynx boréaux pourrait être entreprise. En ce qui concerne la maladie de Carré, l'objectif est la détection précoce d'un changement de virulence ou d'expression clinique dans la population. Un portage asymptomatique a été mis en évidence chez quatre individus. La haute contagiosité du paramyxovirus rend le risque d'épidémie existant, de ce fait il est essentiel de contrôler que l'agent ne devienne pas plus virulent et plus sévère à l'échelle individuelle. Pour la détection du virus, le diagnostic privilégié est la RT-PCR, qui peut être faite à partir de divers prélèvements (cerveau, rate, poumon foie, rein, vessie, colon). Si des enquêtes épidémiologiques étaient réalisées dans le but de déterminer une séroprévalence de l'agent viral, des techniques sérologiques telles que l'immunofluorescence indirecte pourraient aussi être utilisées.

Pour le virus de la leucémie féline, dont la prévalence s'est révélée nulle sur l'échantillon d'individus étudié, l'objectif est la détection précoce d'une circulation de l'agent infectieux au sein de la population. Le diagnostic de certitude le plus rapide est pour la leucose aussi la RT-PCR, sur échantillon de sang périphérique ou de tissu tumoral, bien que l'identification sérologique soit aussi rendue possible par détection immuno-enzymatique (ELISA).

Enfin, pour les parasites internes et externes, déjà mis en évidence chez une proportion importante de la population française, l'objectif de la surveillance événementielle généraliste déjà en cours est de détecter une augmentation anormale des cas ou de leur sévérité. La méthode diagnostique la plus fréquente est l'observation directe macroscopique des formes larvaires ou adultes des parasites à l'autopsie. Des coprologies qualitatives, par la méthode de Baermann notamment, peuvent aussi être employées.

Certaines espèces, domestiques ou sauvages peuvent être utilisées comme sentinelles pour détecter précocement l'émergence d'une maladie. Par exemple, le renard roux *Vulpes vulpes* peut être un bon indicateur de la circulation et de la sévérité clinique du virus de la maladie de Carré. En effet, cette espèce de carnivore, très répandue sur le territoire, peut être infectée par le paramyxovirus et développer une réponse immunitaire contre cet agent pathogène (Sobrinho et al., 2008b). Certaines espèces jouent même le rôle de réservoir pour certains agents infectieux. Des enquêtes épidémiologiques chez les renards peuvent renseigner sur la circulation du paramyxovirus à l'échelle nationale. De plus, les chiens domestiques peuvent être atteints par la maladie, et présentent souvent des infections aiguës associées à de la mortalité. La mise en évidence d'un foyer de maladie de Carré au sein d'une population de chiens domestiques peut être révélatrice d'un risque plus fort d'infection chez les loups, qui peuvent interagir avec les canidés domestiques. En raison de l'existence d'interactions inter-spécifiques, la surveillance épidémiologique d'une population doit être en permanence croisée avec la

surveillance des autres espèces avec lesquelles elle partage son territoire. Dans le cas des loups gris et des lynx boréaux, la surveillance des carnivores domestiques, dont les effectifs sont bien plus importants, doit être réalisée en parallèle afin d'évaluer les risques encourus.

Lorsque la surveillance épidémiologique amène à détecter un signal de mortalité anormal, des investigations ciblées peuvent être opérées pour rechercher une éventuelle maladie émergente ou déjà présente sur le territoire. C'est dans ce contexte que la complétude des sérothèques et organothèques par les laboratoires d'analyse prend tout son sens. Les échantillons sériques et organiques permettent de réaliser des études rétrospectives, et d'identifier l'agent causal à l'origine d'un tel accident démographique. Certains agents viraux ou bactériens peuvent par exemple être identifiés à partir d'enquêtes rétrospectives. Les banques d'échantillons sériques et organiques sont aussi utiles pour pouvoir faire de l'épidémiologie moléculaire, et identifier les souches pathogènes de certains agents infectieux. Ces signaux démographiques de mortalité sont aussi de bons indicateurs des pathologies dont les loups et lynx sont victimes.

Des analyses toxicologiques peuvent également être entreprises lors de mortalités anormales et inexplicables. Le risque toxique est certes individuel, mais ce dernier ne doit pas être négligé car représente un enjeu judiciaire. Lorsqu'une intoxication est mise en évidence chez un loup ou un lynx, une enquête judiciaire est lancée, c'est pourquoi il serait intéressant de systématiser les recherches toxicologiques chez les individus trouvés morts. Depuis 2014, les analyses toxicologiques sont de plus en plus répandues, plus particulièrement chez les lynx. En revanche, ces examens ne sont pas toujours réalisés lors des autopsies de loups. Une homogénéisation du protocole de prélèvement pour analyse toxicologique pourrait être instaurée à l'échelle nationale, afin que tous les laboratoires départementaux réalisent ces analyses systématiquement dans leur protocole d'examen nécropsique.

On a démontré que les processus traumatiques représentaient la principale cause de mortalité chez les loups et lynx en France, entre 1990 et 2019. Bien que les événements mortels d'origine traumatique soient sur-représentés, il reste indispensable de détecter des signaux anormaux concernant ce type de mortalité. Si les traumatismes devenaient plus fréquents dans une zone spécifique, une surveillance renforcée pourrait s'appliquer sur cette zone pour rechercher les causes de tels événements et les comorbidités qui sont associées. Le programme « ERC-Lynx », qui a débuté en 2017, a pour but de limiter le risque de mortalité du lynx par collision avec les véhicules de transport. L'innovation de notre étude a été l'analyse des co-morbidités mises en évidence chez les individus victimes de collisions. Les comorbidités mises en exergue chez les individus accidentés sont essentiellement le parasitisme (externe et interne), des expositions à des résidus toxiques ou encore

des portages d'agents infectieux asymptomatiques. Ces processus pathologiques peuvent être à l'origine d'un affaiblissement des individus atteints, et donc d'une baisse de vigilance. C'est pourquoi leur étude conjointe avec l' « ERC-Lynx » est un axe majeur de la surveillance et de la protection du lynx boréal en France.

Une étude est actuellement en cours sur l'impact des imprégnations par des résidus toxiques sur l'état général des individus, et le rôle que l'ingestion de ces molécules peut avoir dans les traumatismes routiers.

Pour les maladies pour lesquelles l'expression clinique et lésionnelle est visible à distance, comme la gale sarcoptique par exemple, des méthodes de surveillance par pièges photos ont déjà été développées. Ces méthodes de surveillance ont l'avantage de pouvoir être réalisées sur des animaux vivants, sans nécessité de réaliser une sédation des individus. Des enquêtes épidémiologiques de prévalence peuvent également être effectuées à partir de prélèvements sur animaux vivants, comme cela a déjà été fait en Espagne ou en Italie par exemple (Ambrogi et al., 2019b; Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009b). Les échantillons obtenus sur animaux vivants sont principalement sanguins et fécaux.

b. Déteçtabilité et efficacité de surveillance

Les processus d'observation des cadavres sont mal connus à ce jour pour les espèces loup et lynx. Les effectifs importants de dépouilles de loups gris et de lynx déteçtées en France permettent de déterminer avec un bon niveau de précision les processus pathologiques dont ces espèces sont victimes sur le territoire français. Cependant, la méthode de recensement des cadavres en elle-même représente un biais dans l'analyse des causes de mortalité. Les découvertes de dépouilles sont concentrées dans les milieux où la présence humaine est plus marquée, à proximité des infrastructures notamment (routes, villes...). En revanche, l'observation est plus difficile dans les zones forestières et montagneuses. Par exemple, la dépouille d'un animal décédé à la suite d'un processus pathologique infectieux ou par épuisement physiologique peut ne pas être découverte si elle se situe dans un espace reculé ou à fort dénivé.é.

La mortalité liée aux collisions avec des véhicules est donc probablement surestimée. Les animaux accidentés sont aisément découverts car situés en bords de routes et de chemins. On a pu démontrer auparavant que les individus accidentés sont découverts en majorité par des agents de l'Office Français de la Biodiversité, des agents de la voirie ainsi que des automobilistes. En revanche, les animaux morts de cause naturelle, d'épuisement physiologique ou ceux abattus volontairement dans le cadre de braconnage sont plus difficilement déteçtables et probablement sous-estimés (Stahl et Vandel, 1999).

Les modalités d'échantillonnage des cadavres de loups gris et de lynx boréaux sont donc biaisées. La probabilité de découverte d'un cadavre est variable selon la période, la méthode de recherche et le milieu du décès. Cette inégalité dans l'observation des événements mortels représente une incertitude difficilement évaluable.

Il serait intéressant de travailler sur une meilleure compréhension de ces processus d'observation, et par conséquent sur une meilleure détectabilité des cadavres. Des expérimentations pourraient être lancées pour comparer l'efficacité de différentes méthodes de surveillance, et leurs impacts sur la détectabilité des dépouilles. Pour les lynx boréaux, qui vivent solitairement, des suivis individuels sont possibles. Ces suivis des individus peuvent se faire par photo-identification, pour l'observation des interactions de l'espèce avec les activités humaines et pour réaliser un suivi sanitaire (détection de blessures ou de signes pathologiques externes), ou par capture-marquage-recapture. Les individus vivants peuvent être capturés, marqués par un transpondeur voire dotés d'un système GPS, puis relâchés dans leur habitat naturel. La capture de ces mêmes individus permet d'estimer la taille de la population par exemple.

Pour revenir sur l'exemple de la recherche de la peste porcine africaine chez les sangliers sauvages, suite à la découverte de deux cas de la maladie en Belgique, la volonté de détection précoce d'un cas en France a motivé la mise en place d'une recherche active des cadavres de sangliers. Différentes techniques de recherche de cadavres sont réalisées, telles que des patrouilles hebdomadaires de chasseurs volontaires, un ratissage ponctuel dans les milieux forestiers, ou encore un renfort par détection canine.

c. Indicateurs de fonctionnement

Il a été démontré précédemment que les pratiques d'analyses diffèrent entre les laboratoires départementaux. La création de la nouvelle base de données *Epifaune*, mise en application en 2013, a permis d'harmoniser en grande partie les données sanitaires obtenues à partir des autopsies de loups et de lynx. La ré-évaluation régulière de l'homogénéité de ces indicateurs de fonctionnement permettrait de maximiser les chances d'arriver à un diagnostic.

i. Mode de conservation des cadavres après collecte

C'est le cas par exemple de la méthode de conservation des cadavres après découverte. On a remarqué que le mode de conservation était différent en fonction des laboratoires, et oscillait entre congélation, réfrigération et conservation à température ambiante. La méthode de conservation des cadavres va influencer la qualité de l'examen nécropsique réalisé par le pathologiste par la suite. En effet, la réfrigération et la congélation permettent de retarder l'altération du cadavre, et donc d'allonger l'intervalle de temps possible avant l'autopsie. Cependant, ces deux

méthodes de conservation par le froid vont aussi entraîner la dégradation de certains organes et provoquer une perte éventuelle d'informations sur le tableau lésionnel. La congélation exclut également la possibilité de réaliser des examens histologiques sur les tissus alors que la conservation à température ambiante présente l'avantage de ne pas dégrader les tissus. La congélation a l'avantage de limiter la prolifération bactérienne et est un bon mode de conservation pour tout examen microbiologique. La réfrigération retarde l'altération du cadavre tout en limitant la dégradation des éventuels échantillons qui pourraient être prélevés. Les deux méthodes présentent ainsi des avantages et inconvénients.

Cependant, l'harmonisation des modes de conservation est parfois difficile à mettre en place. Certains départements, comme dans la région Provence-Alpes-Côte-D'azur, reçoivent de nombreuses dépouilles de loups annuellement, et il n'est pas toujours facile de les conserver au froid.

ii. Délai de transfert des cadavres aux laboratoires d'analyses

Le délai écoulé entre la découverte d'une dépouille et sa réception par le laboratoire qui va prendre en charge l'analyse a un impact sur la réactivité face aux enjeux détectés. Ces délais de transfert sont souvent inférieurs à 3 jours (cf **Figure 18**), mais ils sont très variables en fonction des départements. La date de transfert de la dépouille au laboratoire permet notamment d'estimer le niveau de confiance associé au diagnostic. Chez les loups gris, ces délais se révèlent très satisfaisants.

Plus l'autopsie sera réalisée rapidement après la mort ou la découverte d'un animal, plus la qualité de l'examen nécropsique effectué sera élevée. Sur une dépouille fraîche, les lésions sont plus aisément observables et les prélèvements sont facilités pour réaliser d'éventuels examens complémentaires. Par exemple, le prélèvement de sérum (ou de jus pulmonaire) et de tissus organiques peut être effectué avec de meilleurs résultats, ce qui facilite également la complétude des sérothèques et organothèques dans les différents laboratoires.

Jusqu'à présent, des analyses histologiques étaient réalisées seulement dans les cas où des lésions organiques douteuses étaient observées et que la conclusion diagnostique n'était pas possible. Les prélèvements les plus analysés sont des échantillons de poumons et de foie. Des analyses histologiques pourraient être réalisées de façon plus rigoureuse à chaque fois d'une lésion organique est observée par le pathologiste. Cela pourrait permettre d'identifier des pathologies peu décrites chez les carnivores sauvages, même si cette pathologie n'est pas la cause de la mort.

D) Prévoir un dispositif de suivi des maladies en cas d'éclosion de maladie

Lors d'émergence d'une maladie, la première étape après l'identification de l'agent causal est de quantifier la présence de cet agent étiologique. La

connaissance des mouvements des agents infectieux et des vecteurs est primordiale pour comprendre les modalités d'expansion de la maladie sur le territoire (E.S. Williams et al., 2002). La quantification de l'agent infectieux consiste à déterminer la part de la population qui est atteinte, et ainsi déterminer s'il y a un risque d'épizootie.

Des épizooties entraînant une mortalité importante ou déjà été mises en évidence à plusieurs reprises dans des populations de canidés ou de félins sauvages. Des épizooties de maladie de Carré ont déjà été mises en évidence dans une population de renards roux *Vulpes vulpes* dans le Parc National Stelvio en Italie en 2009 (Martella et al., 2010), ou dans une population de lions *Panthera leo* dans le Parc National Serengeti en Tanzanie en 1994 (Roelke-Parker et al., 1996). Une épizootie de rage a eu lieu dans une population de lycaons *Lycaon pictus* dans le Parc National de Masai Mara au Kenya entre 1988 et 1989 (Kat et al., 1996).

Lors d'émergence d'une maladie, il est donc primordial de suivre cette maladie pour limiter sa morbidité et sa mortalité, et ainsi limiter l'apparition ou les conséquences d'une telle épizootie.

En cas d'éclosion d'un processus pathologique, il est important de pouvoir localiser les aires géographiques où les populations sont atteintes, mais aussi de suivre l'évolution temporelle de la maladie. Ce suivi spatio-temporel des maladies peut s'organiser via une surveillance épidémiologique renforcée. Celle-ci peut s'orchestrer autour de la recherche active de cadavres dans une zone restreinte pour détecter tout cas de la maladie. Ce type de surveillance active a prouvé son efficacité pour la recherche de peste porcine africaine, avec la recherche active de cadavres de sangliers suite à l'apparition de cas à proximité immédiate du territoire français, en Belgique. Le suivi spatio-temporel peut aussi s'effectuer via un suivi audiovisuel, comme c'est le cas avec les pièges photos utilisés pour la détection de la gale sarcoptique chez les loups de la péninsule ibérique (Oleaga et al., 2011b).

Néanmoins, lorsqu'on réalise un suivi spatial et temporel d'une maladie de ce type, ce sont les conséquences de la maladie, c'est-à-dire les cas de mortalité, qui sont détectés. La circulation de l'agent pathogène, qui peut se manifester par des signes cliniques frustrés non létaux voire être asymptomatique, reste en revanche méconnue.

E) Prévalence des étiologies et suivi spatio-temporel de l'exposition

Pour pouvoir étudier l'évolution de la prévalence d'agents étiologiques, il est essentiel de connaître la prévalence initiale. Les agents étiologiques en question peuvent être des résidus toxiques tels que des raticides anti-vitamine K, ou des agents infectieux à risque modéré comme le virus de la maladie de Carré chez le loup ou le virus leucémogène félin chez le lynx boréal.

En ce qui concerne les agents infectieux, il faut ensuite réaliser des enquêtes régulières au sein de la population pour sonder la proportion d'individus atteints. Chez les populations naïves, c'est-à-dire qui n'ont jamais été en contact avec l'agent infectieux considéré, le risque est plus important car le système immunitaire de ces individus ne présente pas de protection spécifique contre le germe. Ces sondages réguliers des populations dans un but de suivi de l'exposition à un agent infectieux peuvent être faits à partir de prélèvements sur des animaux vivants, mais cela demande un personnel qualifié et est très chronophage. Les prélèvements à partir de cadavres sont aussi possibles, mais pas toujours réalisables en fonction de leur état de conservation. Les échantillons constituant la banque de sérum nationale sont précisés dans le **Tableau 20**.

Espèce	Nombre échantillons	Classe d'âge			Sexe		
		Jeune	Adulte	Inconnu	Mâle	Femelle	Inconnu
Loup gris	108	31	66	11	59	45	4
Lynx boréal	11	4	6	1	8	3	0

Tableau 20 : Caractéristiques de la banque d'échantillons de sérum ou de jus pulmonaire disponibles à l'échelle nationale

Ces prélèvements pourraient se révéler capitaux pour la réalisation d'enquêtes sérologiques, dans le cadre d'une surveillance événementielle renforcée. Cependant, ces échantillons ne sont pas représentatifs de l'ensemble de la population car répartis de façon hétérogène selon les départements notamment. Le prélèvement et le stockage de sérum pourrait être ajouté aux protocoles d'échantillonnage suivis lors des examens nécropsiques par les laboratoires. Ces protocoles harmonisés conduiraient à la réalisation de façon systématique de prélèvements sur les dépouilles dont l'état de conservation le permet. L'agrandissement de cette sérothèque et de cette organothèque à l'échelle nationale rendrait possible la réalisation d'études sérologiques. Cette stratégie permettrait, si une maladie infectieuse venait à émerger sur le territoire, la réalisation d'études rétrospectives et de connaître la séroprévalence de certains agents infectieux mis en cause. Des études épidémiologiques de cette ampleur permettraient aussi d'apporter au fil des années des connaissances sur les types de maladies présentes sur le territoire, dans quelles zones géographiques elles se situent, et sur quelles populations (Morner et al., 2002). En ce qui concerne l'espèce loup, les animaux abattus lors de tirs de régulation représentent un *pool* d'échantillons exploitable. Un prélèvement systématique, lorsqu'il est possible, de sérum ou de jus pulmonaire sur ces individus permettrait de constituer une banque d'échantillons pérenne mobilisable en cas d'émergence d'une problématique infectieuse ou toxique. En effet, les loups abattus sont souvent des loups en bon état général, dont la dépouille peut être récupérée rapidement et transportée au laboratoire le plus proche dans les plus brefs délais. L'extraction de sérum est facilitée sur de telles dépouilles fraîches. Ces différentes

ressources permettraient de réaliser des enquêtes sérologiques renforcées, pour déterminer la circulation de certains agents pathogènes sur le territoire. A moyen terme, ceci permet d'améliorer les connaissances sur les menaces auxquelles les grands carnivores sont confrontés. De telles études sérologiques sont déjà réalisées dans d'autres pays européens comme en Espagne (Javier Millán, Candela, Palomares, et al., 2009b), au Portugal (Santos et al., 2009b) ou encore en Italie (Ambrogi et al., 2019b). Une limite s'oppose néanmoins à la réalisation de ces enquêtes. Il s'agit des problèmes de stockage des prélèvements, qui peut poser problème dans certains laboratoires.

Le prélèvement de sérum ou de jus pulmonaire n'est pas toujours aisé chez la faune sauvage. Pour les autopsies des loups gris et des lynx boréaux, les échantillons sont prélevés soit dans le sinus cérébelleux, soit dans la cavité thoracique. Cependant, lorsque les dépouilles sont en état de décomposition, ces prélèvements sont parfois altérés, et se révèlent souvent hémolytiques. Or, il semblerait que l'hémolyse des échantillons conduise à une perte de sensibilité de l'analyse de 7 à 10% (Leutenegger et al., 1999). La congélation des dépouilles préalablement aux autopsies, souvent réalisée en France, peut aussi dégrader la qualité des échantillons (Ryser-Degiorgis et al., 2005b), mais il est souvent difficile en pratique de réaliser des prélèvements avant de congeler le cadavre. Enfin, Ryser-Degiorgis *et al* ont émis l'hypothèse que les titres en anticorps pourraient chuter plus rapidement chez les lynx, pour lesquels l'immunité n'est pas réactivée car les contacts entre individus sont rares, que chez les chats domestiques. Tous ces éléments amènent à penser que l'importance des contacts avec certains agents infectieux est peut-être sous-estimée.

Les maladies représentant un niveau de risque modéré chez les grands carnivores ont été rarement identifiées chez les espèces considérées (cf **Tableaux 3 et 5**). Un cas de maladie de Carré a été détecté chez un loup en 2006, seule maladie infectieuse à risque modéré identifiée pour la population de loups gris français. Les ectoparasitoses et endoparasitoses constituent un risque modéré pour la population de lynx, et ont été identifiées chez de nombreux individus. Deux individus sont notamment décédés à la suite de parasitoses externes sévères surinfectées. En revanche, les infections virales et bactériennes identifiées dans l'échantillon de lynx français constituent des risques faibles à négligeables. Des contacts avec plusieurs agents viraux et bactériens représentant un risque faible à négligeable ont été mis en évidence chez nos deux espèces d'intérêt. Par exemple, deux cas de parvovirose mortelle ont été diagnostiqués chez des lynx en 2018 et 2019, ainsi qu'un cas chez un loup en 2013. Ainsi, des analyses sérologiques occasionnelles, lors d'examen nécropsiques de certains animaux, ont montré une circulation faible mais existante de plusieurs germes d'intérêt. Il pourrait être intéressant de suivre l'évolution des prévalences de ces agents infectieux car leur circulation sur le territoire français est mal connue à ce jour. La parvovirose, bien que représentant un niveau de risque

faible pour les loups et les lynx, est une maladie qui peut être transmise aux carnivores domestiques. Chez ces espèces domestiquées, l'infection au parvovirus peut se révéler mortelle et présenter un risque pour la population, c'est pourquoi la circulation du virus doit être limitée au maximum sur le territoire.

Le caractère solitaire des lynx limite le risque d'épidémie. Cependant, dans une population de petite taille comme le lynx, menacée par les événements traumatiques et l'impact des activités humaines, toute pathologie infectieuse fatale peut affecter le devenir de l'espèce (Schmidt-Posthaus et al., 2002a). De plus, le faible effectif de population entraîne une faible diversité génétique. Cette perte de diversité génétique et l'augmentation de la consanguinité peuvent compromettre la viabilité des populations (Casas-Marce et al., 2013). Les loups gris, en revanche, vivent en petites communautés, et présentent donc des contacts intra-spécifiques réguliers qui rendent possibles d'éventuelles épidémies. Ces deux espèces entretiennent des interactions inter-spécifiques, qui favorisent la transmission directe d'agents infectieux et donc la dissémination des maladies. Un maintien de la surveillance épidémiologique des maladies infectieuses s'avère donc indispensable pour les grands carnivores en France.

Les analyses effectuées ont permis de montrer la prévalence élevée du parasitisme dans la population de lynx française. Cependant, seuls deux cas de gale sarcoptique ont été mis en évidence chez des lynx. Or, comme cela a été indiqué dans la description des ectoparasites du lynx boréal, la gale sarcoptique peut être à l'origine d'un déclin des populations d'espèces menacées ou en danger, de faible effectif ou fragmentées, pour lesquels la diversité génétique est faible (Pence et al., 2002), comme c'est le cas du lynx. Il semblerait que sur le territoire français, la gale sarcoptique ne représente pas un obstacle à la conservation de l'espèce. Si la prévalence de la gale du corps venait à augmenter, la capture et le traitement spécifique à base d'ivermectine des animaux atteints pourraient être recommandés.

F) Intégrer les grands carnivores dans l'aménagement du territoire

Il serait bénéfique pour les populations de loups et de lynx françaises que ces espèces soient plus prises en compte dans l'aménagement du territoire. La densification des infrastructures humaines, comme les routes ou l'extension des habitations dans le milieu rural, vont entraîner des modifications dans l'environnement et donc les habitudes de ces animaux. Les aires de présence des espèces sont fragmentées, ce qui peut avoir un impact sur le cycle de vie des individus et leurs facultés de dispersion. Cela peut compromettre la viabilité des populations. De plus, la fragmentation des habitats peut être à l'origine d'une baisse des interactions entre populations et entre individus, notamment lors de la reproduction. Un affaiblissement de la diversité génétique peut en découler, et être délétaire pour les populations, allant jusqu'à l'extinction locale (Clergeau, 1993).

L'objectif à long terme est de maintenir une connectivité des habitats et aires de présence des espèces.

De plus, la densification des réseaux routiers et ferroviaires va augmenter la probabilité de survenue d'un évènement traumatique. L'enjeu est de diminuer la mortalité des individus par collision routière. Cela est déjà mis en place grâce aux écoducs, ou passages à faune, qui correspondent à des aménagements permettant le passage des animaux à travers des obstacles tels que les routes. Pour les grands mammifères, ce sont principalement des pacerelles végétalisées. Celles-ci se sont déjà révélées utiles pour la faune sauvage en Pologne, où des loups ont été plusieurs fois démontrés comme utilisateurs des passages à faune mis en place (Brodziewska, 2005).

Conclusion

Il est parfois complexe de déterminer les causes de mortalité chez la faune sauvage, et les espèces *Canis lupus* et *Lynx lynx* en sont des exemples représentatifs. Bien que certaines causes de mortalité soient mises en lumière avec certitude, comme c'est le cas pour les traumatismes, des pathologies secondaires d'origine infectieuse ou anthropique viennent souvent complexifier le diagnostic. Grâce au monitoring efficace mené par les réseaux SAGIR et Loup-Lynx, plusieurs processus mortels majeurs ont pu être identifiés : ce sont les collisions avec des véhicules et l'exposition à des résidus toxiques et à des agents infectieux. Ces résultats montrent l'intérêt des examens nécropsiques, systématiques lors de toute découverte de cadavre de loup ou lynx, même lorsqu'il s'agit de tirs de régulations.

Actuellement, les processus morbides mis en jeu dans la mortalité des grands carnivores font l'objet de plus en plus d'études sur le territoire européen, comme en Suisse (Schimdt-Posthaus *et al*, 2002), en Espagne (Millan *et al*, 2009 ; Millan *et al*, 2016) ou encore en Italie (Ambrogi *et al*, 2019).

Les stratégies de surveillance et de conservation des grands carnivores en France sont amenées à être adaptées dans le futur. La détection de la mortalité présente plusieurs biais, et les méthodes de recherche des dépouilles pourront être repensées, afin d'obtenir des échantillons d'animaux plus représentatifs de l'ensemble de la population. Les connaissances des maladies présentes chez la faune sauvage nécessitent d'être actualisées en continu, car les processus pathologiques sont dynamiques. Avec le changement climatique, la diversification des utilisations du territoire et les modifications des paysages, les populations doivent maintenant faire face à de nouveaux enjeux qui peuvent modifier l'équilibre actuel des populations (Patz *et al*, 2004 ; Hoberg *et al*, 2015).

Bibliographie

1. Akerstedt, J., Lillehaug, A., Larsen, I.-L., Eide, N. E., Arnemo, J. M. et Handeland, K. (2010). Serosurvey for canine distemper virus, canine adenovirus, *Leptospira interrogans*, and *Toxoplasma gondii* in free-ranging canids in Scandinavia and Svalbard. *Journal of wildlife diseases*, 46(2), 474–480.
2. Ambrogi, C., Ragagli, C., Decaro, N., Ferroglio, E., Mencucci, M., Apollonio, M. et Mannelli, A. (2019a). Health survey on the wolf population in Tuscany, Italy. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 30(1), 19–23.
3. Ambrogi, C., Ragagli, C., Decaro, N., Ferroglio, E., Mencucci, M., Apollonio, M. et Mannelli, A. (2019b). Health survey on the wolf population in Tuscany, Italy. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 30(1), 19–23.
4. Andrén, H., Linnell, J. D. C., Liberg, O., Andersen, R., Danell, A., Karlsson, J., Odden, J., Moa, P. F., Ahlqvist, P., Kvam, T., Franzén, R. et Segerström, P. (2006). Survival rates and causes of mortality in Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in multi-use landscapes. *Biological Conservation*, 131(1), 23-32.
10.1016/j.biocon.2006.01.025
5. Arzalier-Daret, S. et du Cheyron, D. (2011). Intoxication par la strychnine en 2011 : une menace toujours présente ! *Réanimation*, 20(5), 446-451.
10.1007/s13546-011-0293-4
6. Balis, G. U. et Monroe, R. R. (1964). The pharmacology of chloralose. *Psychopharmacologia*, 6(1), 1-30. 10.1007/BF00710911
7. Bandecchi, P., Dell’Omodarme, M., Magi, M., Palamidessi, A. et Prati, M. C. (2006). Feline leukaemia virus (FeLV) and feline immunodeficiency virus infections in cats in the Pisa district of Tuscany, and attempts to control FeLV infection in a colony of domestic cats by vaccination. *Veterinary Record*, 158(16), 555–557.
8. Beudels-Jamar, R., Chapron, G., Duchamp, C., Gimenez, O., Marboutin, E., Robert, A. et Sarrazin, F. (2017). *Expertise scientifique collective sur le devenir de la population de loups en France - Démarche d’évaluation prospective à l’horizon 2026/2030 et viabilité à long terme*. Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage.
http://www.oncfs.gouv.fr/IMG/file/mammiferes/carnivores/grands/Expertise_Collective_Loup_07_03_2017.pdf
9. Biek, R., Zarnke, R. L., Gillin, C., Wild, M., Squires, J. R. et Poss, M. (2002). Serologic survey for viral and bacterial infections in western populations of Canada lynx (*Lynx canadensis*). *Journal of wildlife Diseases*, 38(4), 840–845.

10. Bindke, J. D., Springer, A., Böer, M. et Strube, C. (2017). Helminth fauna in captive European gray wolves (*Canis lupus lupus*) in Germany. *Frontiers in veterinary science*, 4, 228.
11. Breitenmoser, U. (2000). *Action plan for the conservation of the Eurasian lynx in Europe (Lynx lynx)*. Council of Europe.
12. Briones, V., de Juan, L., Sánchez, C., Vela, A. I., Galka, M., Montero, Goyache, J., Aranaz, A. et Domínguez, L. (2000). Bovine tuberculosis and the endangered Iberian lynx. *Emerging Infectious Diseases*, 6(2), 189-191.
13. Brodziewska, J. (2005). Wildlife tunnels and fauna bridges in Poland: past, present and future, 1997-2013. *UC Davis*.
14. Carli, E., Trotta, M., Chinelli, R., Drigo, M., Sinigoi, L., Tosolini, P., Furlanello, T., Millotti, A., Caldin, M. et Solano-Gallego, L. (2012). Cytauxzoon sp. infection in the first endemic focus described in domestic cats in Europe. *Veterinary parasitology*, 183(3-4), 343–352.
15. Casas-Marce, M., Soriano, L., López-Bao, J. V. et Godoy, J. A. (2013). Genetics at the verge of extinction: insights from the Iberian lynx. *Molecular ecology*, 22(22), 5503–5515.
16. Červený, J., Koubek, P. et Bufka, L. (2002). Eurasian Lynx (*Lynx Lynx*) and its Chance for Survival in Central Europe: The Case of the Czech Republic. *Acta Zoologica Lituanica*, 12(4), 428-432. 10.1080/13921657.2002.10512534
17. Clergeau, P. (1993). Utilisation des concepts de l'écologie du paysage pour l'élaboration d'un nouveau type de passage à faune.
18. Conseil des communautés européennes. (1992). *Directive 92/43/CEE du Conseil concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la flore et de la faune sauvages* (n° 1992L0043—FR—01.01.2007—005.001—3). Conseil des communautés européennes.
19. Daoust, P.-Y., McBurney, S. R., Godson, D. L., Van De Bildt, M. W. et Osterhaus, A. D. (2009). CANINE DISTEMPER VIRUS—ASSOCIATED ENCEPHALITIS IN FREE-LIVING LYNX (*LYNX CANADENSIS*) AND BOBCATS (*LYNX RUFUS*) OF EASTERN CANADA. *Journal of wildlife diseases*, 45(3), 611–624.
20. Davoust, B., Boni, M. et Parzy, D. (1998). Evaluation de la lutte contre l'éhrlichiose canine en zone d'endémie. *Médecine et maladies infectieuses*, 28(MAI), 402–403.
21. De Castro, F. et Bolker, B. (2005). Mechanisms of disease-induced extinction. *Ecology Letters*, 8(1), 117–126.

22. Decaro, N., Martella, V., Desario, C., Lanave, G., Circella, E., Cavalli, A., Elia, G., Camero, M. et Buonavoglia, C. (2014). Genomic characterization of a circovirus associated with fatal hemorrhagic enteritis in dog, Italy. *PloS one*, 9(8).
23. Decors, A., Baurier, F., Dej, F., Lemberger, K., Chollet, J.-Y. et Gauthier, D. (2016). *Apport des outils informatiques pour la vigilance vis-à-vis des maladies se développant dans la faune sauvage*.
24. Decors, A., Hars, J., Faure, E., Quintaine, T., Chollet, J.-Y. et Rossi, S. (2014a). Le réseau Sagir: un outil de vigilance vis-à-vis des agents pathogènes exotiques. *Bull Épidémiologique Santé Anim Aliment*, 66, 35–39.
25. Decors, A., Hars, J., Faure, E., Quintaine, T., Chollet, J.-Y. et Rossi, S. (2014b). Le réseau Sagir: un outil de vigilance vis-à-vis des agents pathogènes exotiques. *Bull Épidémiologique Santé Anim Aliment*, 66, 35–39.
26. Decors, A., Richomme, C., Morvan, H., Botteron, C., Nicolier, A., Rambaud, F., Berny, P., Gault, G., Belli, P. et Le Potier, M.-F. (2015). Diagnostiquer un problème de santé dans la faune sauvage: exemple de la maladie de l'œdème chez le sanglier sauvage (*Sus scrofa*) en Ardèche. *Bull Épidémiologique Santé Anim*, 69, 2–7.
27. Domínguez-Peñafiel, G., Giménez-Pardo, C., Gegúndez, M. I. et Lledó, L. (2011). Prevalence of ectoparasitic arthropods on wild animals and cattle in the Las Merindades area (Burgos, Spain). *Parasite: journal de la Société Française de Parasitologie*, 18(3), 251.
28. Drouilly, M. (2019). *Plan d'Actions pour la Conservation du Lynx boréal (Lynx lynx) en France - Propositions à mettre en œuvre par l'État dans le cadre d'un PNA* (p. 177). Société française pour l'étude et la protection des mammifères. https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2019-11/20191007_Rapport_Plan-actions-pour-la-conservation-lynx-boreal-France_SFEPM_WWF-France-min.pdf
29. Dubey, J. P., Jenkins, M. C., Rajendran, C., Miska, K., Ferreira, L. R., Martins, J., Kwok, O. C. H. et Choudhary, S. (2011). Gray wolf (*Canis lupus*) is a natural definitive host for *Neospora caninum*. *Veterinary parasitology*, 181(2-4), 382–387.
30. Dziva, F., Muhairwa, A. P., Bisgaard, M. et Christensen, H. (2008). Diagnostic and typing options for investigating diseases associated with *Pasteurella multocida*. *Veterinary microbiology*, 128(1-2), 1–22.
31. Eberle, R., Baldwin, C. J., Black, D., Kocan, A. A. et Fulton, R. W. (1991). Feline herpesvirus infections in bobcats (*Lynx rufus*): disease in

- experimentally inoculated animals. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 175–183.
32. Fernex, M. (1977a). Le lynx et sa réintroduction en France. *Revue Forestière Française*, (5), 397. 10.4267/2042/21159
33. Fernex, M. (1977b). Le lynx et sa réintroduction en France. *Revue Forestière Française*, (5), 397. 10.4267/2042/21159
34. Ferus (Ours-Loup-Lynx conservation) et Andrieux-Rolland, S. (2019). Le loup en France. <https://www.ferus.fr/loup/le-loup-biologie-et-presence-en-france>
35. Figueiredo, A., Oliveira, L., de Carvalho, L. M., Fonseca, C. et Torres, R. T. (2016). Parasite species of the endangered Iberian wolf (*Canis lupus signatus*) and a sympatric widespread carnivore. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 5(2), 164–167.
36. Fritts, S. H. (2020). *Wolf*. Encyclopædia Britannica.
37. Fuchs, B., Zimmermann, B., Wabakken, P., Bornstein, S., Mlaansson, J., Evans, A. L., Liberg, O., Sand, H., Kindberg, J. et \AAgren, E. O. (2016). Sarcoptic mange in the Scandinavian wolf *Canis lupus* population. *BMC veterinary research*, 12(1), 156.
38. Gallusová, M., Jirsová, D., Mihalca, A. D., Gherman, C. M., D'Amico, G., Qablan, M. A. et Modrý, D. (2016). Cytauxzoon infections in wild felids from Carpathian-Danubian-Pontic space: further evidence for a different Cytauxzoon species in European felids. *The Journal of parasitology*, 102(3), 377–380.
39. Gavier-Widén, D., Duff, J. P. et Meredith, A. (2012). *Infectious diseases of Wild Mammals and Birds in Europe* (vol. 1-1, vol. 1). Wiley-Blackwell.
40. Geret, C. P., Cattori, V., Meli, M. L., Riond, B., Martínez, F., López, G., Vargas, A., Simón, M. A., López-Bao, J. V., Hofmann-Lehmann, R. et Lutz, H. (2011a). Feline leukemia virus outbreak in the critically endangered Iberian lynx (*Lynx pardinus*): high-throughput sequencing of envelope variable region A and experimental transmission. *Archives of Virology*, 156(5), 839-854. 10.1007/s00705-011-0925-z
41. Geret, C. P., Cattori, V., Meli, M. L., Riond, B., Martínez, F., López, G., Vargas, A., Simón, M. A., López-Bao, J. V., Hofmann-Lehmann, R. et Lutz, H. (2011b). Feline leukemia virus outbreak in the critically endangered Iberian lynx (*Lynx pardinus*): high-throughput sequencing of envelope variable region A and experimental transmission. *Archives of Virology*, 156(5), 839-854. 10.1007/s00705-011-0925-z
42. Gordon, C. H., Banyard, A. C., Hussein, A., Laurenson, M. K., Malcolm, J. R., Marino, J., Regassa, F., Stewart, A.-M. E., Fooks, A. R. et Sillero-Zubiri, C.

- (2015). Canine Distemper in Endangered Ethiopian Wolves. *Emerging Infectious Diseases*, 21(5), 824-832. 10.3201/eid2105.141920
43. Greene, C. E. (2012). Infectious canine hepatitis and canine acidophil cell hepatitis. _____. *Infectious diseases of the dog and cat*, 42–48.
44. Harper, M., Boyce, J. D. et Adler, B. (2006). Pasteurella multocida pathogenesis: 125 years after Pasteur. *FEMS microbiology letters*, 265(1), 1–10.
45. Heaver, J. et Waters, M. (2019). A retrospective study of mortality in Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in UK zoos. *Zoo biology*, 38(2), 200–208.
46. Herzog, S. (2018). Return of grey wolf (*Canis lupus*) to Central Europe: challenges and recommendations for future management in cultural landscapes. *Annals of Forest Research*, 61(2), 203-209. 10.15287/afr.2018.1190
47. Hill, A. (1975). Comparison of mycoplasmas isolated from captive wild felines. *Research in Veterinary Science*, 18(2), 139-143. 10.1016/S0034-5288(18)33600-2
48. Hoberg, E., Brooks, D. (2015). Evolution in action : climate change, biodiversity dynamics and emerging infectious disease. *Philosophical transactions of the Royal Society B : Biological Sciences*. 5 avril 2015. Vol. 370, No. 1665. DOI 10.1098/rstb.2013.0553
49. Hsu, H.-S., Lin, T.-H., Wu, H.-Y., Lin, L.-S., Chung, C.-S., Chiou, M.-T. et Lin, C.-N. (2016). High detection rate of dog circovirus in diarrheal dogs. *BMC veterinary research*, 12(1), 116.
50. Huss, B. T., Miller, M. A., Corwin, R. M., Hoberg, E. P. et O'Brien, D. P. (1994). Fatal cerebral coenurosis in a cat. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 205(1), 69-71.
51. Jiménez, M. Á., Sánchez, B., Pérez Alenza, M. D., García, P., López, J. V., Rodríguez, A., Muñoz, Á., Martínez, F., Vargas, A. et Peña, L. (2008). Membranous glomerulonephritis in the Iberian lynx (*Lynx pardinus*). *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 121(1), 34-43. 10.1016/j.vetimm.2007.07.018
52. Johnson, W. E., Godoy, J. A., Palomares, F., Delibes, M., Fernandes, M., Revilla, E. et O'Brien, S. J. (2004). Phylogenetic and phylogeographic analysis of Iberian lynx populations. *Journal of Heredity*, 95(1), 19–28.
53. Jokelainen, P., Deksne, G., Holmala, K., Naäreaho, A., Laakkonen, J., Kojola, I. et Sukura, A. (2013). Free-ranging Eurasian lynx (*Lynx lynx*) as host of *Toxoplasma gondii* in Finland. *Journal of Wildlife Diseases*, 49(3), 527–534.

54. Jones, K. E., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J. L. et Daszak, P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451(7181), 990–993.
55. Jull, P., Browne, E., Boufana, B. S., Schöniger, S. et Davies, E. (2012). Cerebral coenurosis in a cat caused by *Taenia serialis*: neurological, magnetic resonance imaging and pathological features. *Journal of feline medicine and surgery*, 14(9), 646–649.
56. Kaplan, A. (1973). *The herpesviruses* (vol. 1). Academic Press.
57. Karbowski, G., Vichová, B., Majláthová, V., Hapunik, J. et Pet'ko, B. (2009). *Anaplasma phagocytophilum* infection of red foxes [*Vulpes vulpes*]. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 16(2), 299–300.
58. Kareinen, I., Lavonen, E., Viranta-Kovanen, S., Holmala, K. et Laakkonen, J. (2020). Anatomical variations and pathological changes in the hearts of free-ranging Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in Finland. *European Journal of Wildlife Research*, 66(1), 21. 10.1007/s10344-019-1350-y
59. Kat, P. W., Alexander, K. A., Smith, J. S., Richardson, J. D. et Munson, L. (1996). Rabies among African Wild Dogs (*Lycaon pictus*) in the Masai Mara, Kenya. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 8(4), 420-426. 10.1177/104063879600800403
60. Khan, M. A., Goyal, S. M., Diesch, S. L., Mech, L. D. et Fritts, S. H. (1991). Seroepidemiology of leptospirosis in Minnesota wolves. *Journal of Wildlife Diseases*, 27(2), 248–253.
61. Kingston, N., Williams, E. S., Bergstrom, R. C., Wilson, W. C. et Miller, R. (1984). Cerebral coenurosis in domestic cats in Wyoming and Alaska. *Proc Helm Soc Wash*, 51(2), 309–314.
62. Labelle, P., Mikaelian, I., Martineau, D., Beaudin, S., Blanchette, N., Lafond, R. et St-Onge, S. (2000). Seroprevalence of leptospirosis in lynx and bobcats from Quebec. *The Canadian Veterinary Journal*, 41(4), 319.
63. Lagana, D. M., Lee, J. S., Lewis, J. S., Bevins, S. N., Carver, S., Swenor, L. L., McBride, R., McBride, C., Crooks, K. R. et VandeWoude, S. (2013). Characterization of regionally associated Feline Immunodeficiency Virus (FIV) in bobcats (*Lynx rufus*). *Journal of wildlife diseases*, 49(3), 718–722.
64. Lawler, D. F., Templeton, A. J. et Monti, K. L. (1993). Evidence for Genetic Involvement in Feline Dilated Cardiomyopathy. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 7(6), 383-387. 10.1111/j.1939-1676.1993.tb01035.x
65. Legroux, J.-P., Halos, L., René-Martellet, M., Servonnet, M., Pingret, J.-L., Bourdoiseau, G., Baneth, G. et Chabanne, L. (2017). First clinical case report

- of *Cytauxzoon* sp. infection in a domestic cat in France. *BMC veterinary research*, 13(1), 81.
66. Leutenegger, C. M., Hofmann-Lehmann, R., Riols, C., Liberek, M., Worel, G., Lups, P., Fehr, D., Hartmann, M., Weilenmann, P. et Lutz, H. (1999). Viral infections in free-living populations of the european wildcat. *Journal of Wildlife Diseases*, 35(4), 678-686. 10.7589/0090-3558-35.4.678
67. Lian, K., Zhang, M., Zhou, L., Song, Y., Wang, G. et Wang, S. (2020). First report of a pseudorabies-virus-infected wolf (*Canis lupus*) in China. *Archives of Virology*, 165(2), 459–462.
68. Liz, J. S., Sumner, J. W., Pfister, K. et Brossard, M. (2002). PCR detection and serological evidence of granulocytic ehrlichial infection in roe deer (*Capreolus capreolus*) and chamois (*Rupicapra rupicapra*). *Journal of Clinical Microbiology*, 40(3), 892–897.
69. López, G., López-Parra, M., Fernández, L., Martínez-Granados, C., Martínez, F., Meli, M. L., Gil-Sánchez, J. M., Viqueira, N., Díaz-Portero, M. A. et Cadenas, R. (2009). Management measures to control a feline leukemia virus outbreak in the endangered Iberian lynx. *Animal Conservation*, 12(3), 173–182.
70. López, Guillermo, López-Parra, M., Fernández, L., Ruiz, G., Gil-Sánchez, J. M. et Simón, M. A. (2010). First evidence of non-parental male infanticide in the endangered Iberian Lynx (*Lynx pardinus*). *Wildlife Biology in Practice*, 6(3), 67–74.
71. Louvrier, J., Duchamp, C., Lauret, V., Marboutin, E., Cubaynes, S., Choquet, R., Miquel, C. et Gimenez, O. (2018). Mapping and explaining wolf recolonization in France using dynamic occupancy models and opportunistic data. *Ecography*, 41(4), 647–660.
72. Luaces, I., Doménech, A., Garcia-Montijano, M., Collado, V. M., Sónchez, C., Tejerizo, J. G., Galka, M., Fernández, P. et Gomez-Lucia, E. (2008). Detection of Feline leukemia virus in the endangered Iberian lynx (*Lynx pardinus*). *Journal of veterinary diagnostic investigation*, 20(3), 381–385.
73. Mainil, J. (2002a). *Les souches pathogènes d'Escherichia coli chez les chiens et les chats* (vol. 146, p. 219-224).
74. Mainil, J. (2002b). *Les souches pathogènes d'Escherichia coli chez les chiens et les chats: IV) Discussion générale* (vol. 146, p. 219).
75. Martella, V., Bianchi, A., Bertoletti, I., Pedrotti, L., Gugiatti, A., Catella, A., Cordioli, P., Lucente, M. S., Elia, G. et Buonavoglia, C. (2010). Canine Distemper Epizootic among Red Foxes, Italy, 2009. *Emerging Infectious Diseases*, 16(12), 2007-2009. 10.3201/eid1612.100579

76. Masot, A. J., Gil, M., Risco, D., Jiménez, O. M., Núñez, J. I. et Redondo, E. (2016). Pseudorabies virus infection (Aujeszky's disease) in an Iberian lynx (*Lynx pardinus*) in Spain: a case report. *BMC veterinary research*, 13(1), 1–8.
77. Mech, L. D., Fritts, S. H. et Wagner, D. (1995). Minnesota Wolf Dispersal to Wisconsin and Michigan. *The American Midland Naturalist*, 133(2), 368-370. 10.2307/2426402
78. Mech, L. D., Kurtz, H. J. et Goyal, S. (1997). Death of a Wild Wolf from Canine Parvoviral Enteritis. *Journal of Wildlife Diseases*, 33(2), 321-322. 10.7589/0090-3558-33.2.321
79. Meli, M. L., Cattori, V., Martínez, F., López, G., Vargas, A., Simón, M. A., Zorrilla, I., Muñoz, A., Palomares, F. et López-Bao, J. V. (2009). Feline leukemia virus and other pathogens as important threats to the survival of the critically endangered Iberian lynx (*Lynx pardinus*). *PLoS One*, 4(3), e4744.
80. Meli, M. L., Simmler, P., Cattori, V., Martínez, F., Vargas, A., Palomares, F., López-Bao, J. V., Simón, M. A., López, G. et León-Vizcaino, L. (2010). Importance of canine distemper virus (CDV) infection in free-ranging Iberian lynxes (*Lynx pardinus*). *Veterinary microbiology*, 146(1-2), 132–137.
81. Meli, M., Willi, B., Ryser-Degiorgis, M. P., Vargas, A., Martínez, F., Bolelr, C., Bay, G., Cattorri, V., Hofmann-Lehmann, R. et Lutz, H. (2006). *Prevalence of selected feline pathogens in the Eurasian and Iberian lynx.*
82. Millán, J., Mateo, R., Taggart, M. A., López-Bao, J. V., Viota, M., Monsalve, L., Camarero, P. R., Blázquez, E. et Jiménez, B. (2008). Levels of heavy metals and metalloids in critically endangered Iberian lynx and other wild carnivores from Southern Spain. *Science of the Total Environment*, 399(1-3), 193–201.
83. Millán, J., Ruiz-Fons, F., Márquez, F. J., Viota, M., López-Bao, J. V. et MARTÍN-MATEO, M. P. (2007). Ectoparasites of the endangered Iberian lynx *Lynx pardinus* and sympatric wild and domestic carnivores in Spain. *Medical and Veterinary Entomology*, 21(3), 248-254. 10.1111/j.1365-2915.2007.00696.x
84. Millán, Javier, Candela, M. G., López-Bao, J. V., Pereira, M., Jiménez, M. Á. et León-Vizcaíno, L. (2009). Leptospirosis in wild and domestic carnivores in natural areas in Andalusia, Spain. *Vector-borne and zoonotic diseases*, 9(5), 549–554.
85. Millán, Javier, Candela, M. G., Palomares, F., Cubero, M. J., Rodríguez, A., Barral, M., de la Fuente, J., Almería, S. et León-Vizcaíno, L. (2009a). Disease threats to the endangered Iberian lynx (*Lynx pardinus*). *The Veterinary Journal*, 182(1), 114–124.

86. Millán, Javier, Candela, M. G., Palomares, F., Cubero, M. J., Rodríguez, A., Barral, M., de la Fuente, J., Almería, S. et León-Vizcaíno, L. (2009b). Disease threats to the endangered Iberian lynx (*Lynx pardinus*). *The Veterinary Journal*, 182(1), 114–124.
87. Millán, Javier, López-Bao, J. V., García, E. J., Oleaga, Á., Llaneza, L., Palacios, V., De La Torre, A., Rodríguez, A., Dubovi, E. J. et Esperón, F. (2016). Patterns of exposure of Iberian wolves (*Canis lupus*) to canine viruses in human-dominated landscapes. *Ecohealth*, 13(1), 123–134.
88. Molnar, B., Ciucci, P., Mastrantonio, G. et Betschart, B. (2019). Correlates of parasites and pseudoparasites in wolves (*Canis lupus*) across continents: A comparison among Yellowstone (USA), Abruzzo (IT) and Mercantour (FR) national parks. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 10, 196-206. 10.1016/j.ijppaw.2019.09.002
89. Morales-Soto, F., García-De la Peña, C., Rodríguez-Vivas, R. I. et Rodríguez-Martínez, R. (2016). Serosurvey of vector-borne diseases in the Mexican wolf (*Canis lupus baileyi*) in captivity. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 48(1), 129–131.
90. Mörner, T., Eriksson, H., Bröjer, C., Nilsson, K., Uhlhorn, H., Ågren, E., Segerstad, C. H. af, Jansson, D. S. et Gavier-Widén, D. (2005a). Diseases and mortality in free-ranging brown bear (*Ursus arctos*), gray wolf (*Canis lupus*) and wolverine (*Gulo gulo*) in Sweden. *Journal of Wildlife Diseases*, 41(2), 298-303. 10.7589/0090-3558-41.2.298
91. Mörner, T., Eriksson, H., Bröjer, C., Nilsson, K., Uhlhorn, H., Ågren, E., Segerstad, C. H. af, Jansson, D. S. et Gavier-Widén, D. (2005b). DISEASES AND MORTALITY IN FREE-RANGING BROWN BEAR (*URSUS ARCTOS*), GRAY WOLF (*CANIS LUPUS*), AND WOLVERINE (*GULO GULO*) IN SWEDEN. *Journal of Wildlife Diseases*, 41(2), 298-303. 10.7589/0090-3558-41.2.298
92. Morner, T., Obendorf, D. L., Artois, M. et Woodford, M. H. (2002). Surveillance and monitoring of wildlife diseases. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties*, 21(1), 67–76.
93. Moutou, F. (2015). Espèces envahissantes et risques d'introduction de maladies exotiques. *Bulletin épidémiologique, santé animale-alimentation et*, (66), 7.
94. Office Français de la Biodiversité. (2020, 19 mai). *Le loup*. Le Loup en France. <https://www.loupfrance.fr/le-loup/>
95. Office Français de la Biodiversité. (s. d.-a). *Le loup*. LoupFrance. <https://www.loupfrance.fr/le-loup/>

96. Office Français de la Biodiversité. (s. d.-b). *Le loup*. Le Loup en France.
<https://www.loupfrance.fr/le-loup/>
97. Office Français de la Chasse et de la Faune Sauvage et Réseau Loup-Lynx. (2010). Analyse descriptive des causes de mortalité du loup sur le massif Alpin. *Bulletin d'information du réseau loup*, (23), 20-23.
98. Oleaga, Á., Casais, R., Balseiro, A., Espí, A., Llaneza, L., Hartasánchez, A. et Gortázar, C. (2011a). New techniques for an old disease: sarcoptic mange in the Iberian wolf. *Veterinary parasitology*, 181(2-4), 255–266.
99. Oleaga, Á., Casais, R., Balseiro, A., Espí, A., Llaneza, L., Hartasánchez, A. et Gortázar, C. (2011b). New techniques for an old disease: sarcoptic mange in the Iberian wolf. *Veterinary parasitology*, 181(2-4), 255–266.
100. Origi, F. C., Plattet, P., Sattler, U., Robert, N., Casaubon, J., Mavrot, F., Pewsner, M., Wu, N., Giovannini, S. et Oevermann, A. (2012). Emergence of canine distemper virus strains with modified molecular signature and enhanced neuronal tropism leading to high mortality in wild carnivores. *Veterinary pathology*, 49(6), 913–929.
101. Orioles, M., Beltran, E., Stewart, J., Boufana, B. et Holloway, A. (2014). Cerebral coenurosis in a cat. *Veterinary Record Case Reports*, 2(1).
102. Orłowska, B., Augustynowicz-Kopeć, E., Krajewska, M., Zabost, A., Welz, M., Kaczor, S. et Anusz, K. (2017). Mycobacterium caprae transmission to free-living grey wolves (Canis lupus) in the Bieszczady Mountains in Southern Poland. *European Journal of Wildlife Research*, 63(1), 21.
103. Ozoliņa, Z., Bagrade, G. et Dekšne, G. (2020). First confirmed case of Alaria alata mesocercaria in Eurasian lynx (Lynx lynx) hunted in Latvia. *Parasitology Research*, 119(2), 759–762.
104. Patz, J. A., Daszak, P., Tabor, G. M., Aguirre, A. A., Pearl, M., Epstein, J., Wolfe, N. D., Kilpatrick, A. M., Foufopoulos, J. et Molyneux, D. (2004). Unhealthy landscapes: policy recommendations on land use change and infectious disease emergence. *Environmental health perspectives*, 112(10), 1092–1098.
105. Peña, L., Garcia, P., Jiménez, M. Á., Benito, A., Alenza, M. D. P. et Sánchez, B. (2006). Histopathological and immunohistochemical findings in lymphoid tissues of the endangered Iberian lynx (Lynx pardinus). *Comparative immunology, microbiology and infectious diseases*, 29(2-3), 114–126.
106. Pence, D. B. et Ueckermann, E. (2002). Sarcoptic mange in wildlife. *Revue Scientifique et technique-Office international des Epizooties*, 21(1), 385–398.

107. Popelin, F. (2010). *Vaccination des Canidés Sauvages en parc zoologique - Enquête dans les parcs zoologiques européens* [thèse méd. vét.]. Faculté de Médecine de Créteil.
108. Poulle, M.-L., Carles, L. et Lequette, B. (1997). Significance of ungulates in the diet of recently settled wolves in the Mercantour mountains (southeastern France). *Revue d'écologie*.
109. Proulx, G., Brook, R. K., Cattet, M., Darimont, C. et Paquet, P. C. (2016). Poisoning wolves with strychnine is unacceptable in experimental studies and conservation programmes. *Environmental Conservation*, 43(1), 1.
110. Réseau Loup-Lynx. (2019, 10 novembre). *Lynx Flash info - Lettre d'information du réseau Loup-Lynx*. Office Français de la Biodiversité. http://www.oncfs.gouv.fr/IMG/pdf/BILAN_DISTRIBUTION_LYNX_2018_2.pdf
111. Réseau Loup-Lynx. (2020). *Réseau Loup-Lynx*. Le loup en France. <https://www.loupfrance.fr/suivi-du-loup/reseau-loup-lynx/>
112. Réseau Loup-Lynx et Office Français de la Biodiversité. (2020, juin). *Lynx boréal (Lynx lynx)*. Portail Technique Office Français de la Biodiversité. <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc/lynx-boreal-lynx-lynx>
113. Réseau Loup-Lynx et Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage. (2016). Bulletin d'information du réseau Lynx. *Bulletin Lynx du Réseau*, (20). <http://www.oncfs.gouv.fr/Bulletin-d-information-du-reseau-Lynx-download131>
114. Riley, S. P. D., Foley, J. et Chomel, B. (2004). Exposure to feline and canine pathogens in bobcats and gray foxes in urban and rural zones of a national park in California. *Journal of Wildlife Diseases*, 40(1), 11-22. 10.7589/0090-3558-40.1.11
115. Roelke, M. E., Johnson, W. E., Millán, J., Palomares, F., Revilla, E., Rodríguez, A., Calzada, J., Ferreras, P., León-Vizcaíno, L. et Delibes, M. (2008). Exposure to disease agents in the endangered Iberian lynx (*Lynx pardinus*). *European Journal of Wildlife Research*, 54(2), 171–178.
116. Roelke-Parker, M. E., Munson, L., Packer, C., Kock, R., Cleaveland, S., Carpenter, M., O'Brien, S. J., Pospischil, A., Hofmann-Lehmann, R., Lutz, H., Mwamengele, G. L. M., Mgasia, M. N., Machange, G. A., Summers, B. A. et Appel, M. J. G. (1996). A canine distemper virus epidemic in Serengeti lions (*Panthera leo*). *Nature*, 379(6564), 441-445. 10.1038/379441a0
117. Ryser-Degiorgis, M.-P., Hofmann-Lehmann, R., Leutenegger, C. M., Segerstad, C. H. af, Mörner, T., Mattsson, R. et Lutz, H. (2005a). Epizootiologic investigations of selected infectious disease agents in free-

- ranging Eurasian lynx from Sweden. *Journal of wildlife Diseases*, 41(1), 58–66.
118. Ryser-Degiorgis, M.-P., Hofmann-Lehmann, R., Leutenegger, C. M., Segerstad, C. H. af, Mörner, T., Mattsson, R. et Lutz, H. (2005b). Epizootiologic investigations of selected infectious disease agents in free-ranging Eurasian lynx from Sweden. *Journal of wildlife Diseases*, 41(1), 58–66.
119. Ryser-Degiorgis, M.-P. et Robert, N. (2006). Causes of mortality and diseases in free-ranging Eurasian Lynx from Switzerland - An update. *Iberian Lynx Ex-situ Conservation Seminar Series - Books of proceedings*, 1, 38-39.
120. Ryser-Degiorgis, M.-P., Ryser, A., Bacciarini, L. N., Angst, C., Gottstein, B., Janovsky, M. et Breitenmoser, U. (2002). Notoedric and sarcoptic mange in free-ranging lynx from Switzerland. *Journal of Wildlife Diseases*, 38(1), 228–232.
121. Sabatino, D. D., Lorusso, A., Francesco, C. E. D., Gentile, L., Pirro, V. D., Bellacicco, A. L., Giovannini, A., Francesco, G. D., Marruchella, G., Marsilio, F. et Savini, G. (2014). Arctic Lineage-Canine Distemper Virus as a Cause of Death in Apennine Wolves (*Canis lupus*) in Italy. *PLOS ONE*, 9(1), e82356. 10.1371/journal.pone.0082356
122. Santoro, M., Veneziano, V., D'Alessio, N., Di Prisco, F., Lucibelli, M. G., Borriello, G., Cerrone, A., Dantas-Torres, F., Latrofa, M. S. et Otranto, D. (2016). Molecular survey of Ehrlichia canis and Coxiella burnetii infections in wild mammals of southern Italy. *Parasitology research*, 115(11), 4427–4431.
123. Santos, N., Almendra, C. et Tavares, L. (2009a). Serologic survey for canine distemper virus and canine parvovirus in free-ranging wild carnivores from Portugal. *Journal of wildlife diseases*, 45(1), 221–226.
124. Santos, N., Almendra, C. et Tavares, L. (2009b). Serologic survey for canine distemper virus and canine parvovirus in free-ranging wild carnivores from Portugal. *Journal of wildlife diseases*, 45(1), 221–226.
125. Schmidt-Posthaus, H., Breitenmoser-Wörsten, C., Posthaus, H., Bacciarini, L. et Breitenmoser, U. (2002a). Causes of mortality in reintroduced Eurasian lynx in Switzerland. *Journal of Wildlife Diseases*, 38(1), 84–92.
126. Schmidt-Posthaus, H., Breitenmoser-Wörsten, C., Posthaus, H., Bacciarini, L. et Breitenmoser, U. (2002b). Causes of mortality in reintroduced Eurasian lynx in Switzerland. *Journal of Wildlife Diseases*, 38(1), 84–92.
127. Sedlák, K. et Bártoová, E. (2006). Seroprevalences of antibodies to Neospora caninum and Toxoplasma gondii in zoo animals. *Veterinary Parasitology*, 136(3-4), 223–231.

128. Smith, M. C., Bailey, C. S., Baker, N. et Kock, N. (1988). Cerebral coenurosis in a cat. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 192(1), 82.
129. Sobrino, R., Arnal, M. C., Luco, D. F. et Gortázar, C. (2008a). Prevalence of antibodies against canine distemper virus and canine parvovirus among foxes and wolves from Spain. *Veterinary microbiology*, 126(1-3), 251–256.
130. Sobrino, R., Arnal, M. C., Luco, D. F. et Gortázar, C. (2008b). Prevalence of antibodies against canine distemper virus and canine parvovirus among foxes and wolves from Spain. *Veterinary microbiology*, 126(1-3), 251–256.
131. Souillot, D. (2018). Réduire et éviter le risque de mortalité du Lynx boréal (*Lynx lynx*) par collision avec les véhicules de transports terrestres dans le Massif du Jura – Typologie des tronçons accidentogènes et profils biologiques des lynx morts. Université de Perpignan Via Domitia. 2018.
132. Stahl, P. et Vandell, J.-M. (1999). Mortalité et captures de lynx (*Lynx lynx*) en France (1974-1998). *Mammalia*, 63(1), 49–60.
133. Sumithra, T. G., Chaturvedi, V. K., Susan, C., Siju, S. J., Rai, A. K., Harish, C. et Sunita, S. C. (2013). Mycoplasmosis in wildlife: a review. *European Journal of Wildlife Research*, 59(6), 769-781. 10.1007/s10344-013-0769-9
134. Thali, M. J., Kneubuehl, B. P., Bolliger, S. A., Christe, A., Koenigsdorfer, U., Ozdoba, C., Spielvogel, E. et Dirrhofer, R. (2007). Forensic veterinary radiology: ballistic-radiological 3D computertomographic reconstruction of an illegal lynx shooting in Switzerland. *Forensic science international*, 171(1), 63–66.
135. Thioulouse, J., Dray, S., Dufour, A.-B., Siberchicot, A., Jombart, T. et Pavoine, S. (2018). *Multivariate analysis of ecological data with ade4*. Springer.
136. Thorne, E. T. et Williams, E. S. (1988). Disease and endangered species: the black-footed ferret as a recent example. *Conservation Biology*, 2(1), 66–74.
137. Tindall, J. P. et Harrison, C. M. (1972). *Pasteurella multocida* infections following animal injuries, especially cat bites. *Archives of dermatology*, 105(3), 412–416.
138. Torres, J., Garcia-Perea, R., Gisbert, J. et Feliu, C. (1998). Helminth fauna of the Iberian lynx, *Lynx pardinus*. *Journal of helminthology*, 72(3), 221–226.

139. Verin, R., Mazzei, M., Rocchigiani, G., Forzan, M., Balboni, A. et Poli, A. (2017). European red foxes (*Vulpes vulpes*) as a possible reservoir for canine adenovirus type 1. *Journal of Comparative Pathology*, 156, 57. 10.1016/j.jcpa.2016.11.018
140. Verpoest, S., Cay, A. B., Bertrand, O., Saulmont, M. et De Regge, N. (2014). Isolation and characterization of pseudorabies virus from a wolf (*Canis lupus*) from Belgium. *European journal of wildlife research*, 60(1), 149–153.
141. von Arx, M., Breitenmoser-Wuersten, C., Zimmermann, F. et Breitenmoser, U. (2004). conservation of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in Europe in 2001. 19, 1-330. 2004. Muri b. Bern, Switzerland, KORA. KORA.
142. Wasieri, J., Schmiedeknecht, G., Förster, C., König, M. et Reinacher, M. (2009). Parvovirus infection in a Eurasian lynx (*Lynx lynx*) and in a European wildcat (*Felis silvestris silvestris*). *Journal of comparative pathology*, 140(2-3), 203–207.
143. Watts, D. E. et Benson, A.-M. (2016). Prevalence of antibodies for selected canine pathogens among wolves (*Canis lupus*) from the Alaska Peninsula, USA. *Journal of wildlife diseases*, 52(3), 506–515.
144. Willi, B., Filoni, C., Catão-Dias, J. L., Cattori, V., Meli, M. L., Vargas, A., Martínez, F., Roelke, M. E., Ryser-Degiorgis, M.-P., Leutenegger, C. M., Lutz, H. et Hofmann-Lehmann, R. (2007a). Worldwide Occurrence of Feline Hemoplasma Infections in Wild Felid Species. *Journal of Clinical Microbiology*, 45(4), 1159-1166. 10.1128/JCM.02005-06
145. Willi, B., Filoni, C., Catão-Dias, J. L., Cattori, V., Meli, M. L., Vargas, A., Martínez, F., Roelke, M. E., Ryser-Degiorgis, M.-P., Leutenegger, C. M., Lutz, H. et Hofmann-Lehmann, R. (2007b). Worldwide Occurrence of Feline Hemoplasma Infections in Wild Felid Species. *Journal of Clinical Microbiology*, 45(4), 1159-1166. 10.1128/JCM.02005-06
146. Williams, Elizabeth S. et Barker, I. K. (2008). *Infectious diseases of wild mammals*. John Wiley & Sons.
147. Williams, E.S., Yuill, T., Artois, M., Fischer, J. et Haigh, S. A. (2002). Emerging infectious diseases in wildlife. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, 21(1), 139-157. 10.20506/rst.21.1.1327
148. Wolf-Jäckel, G. A., Jäckel, C., Museux, K., Hoelzle, K., Tasker, S., Lutz, H. et Hofmann-Lehmann, R. (2010). Identification, characterization, and application of a recombinant antigen for the serological investigation of feline hemotropic Mycoplasma infections. *Clinical and Vaccine Immunology: CVI*, 17(12), 1917-1925. 10.1128/CVI.00282-10

149. Zaccaria, G., Malatesta, D., Scipioni, G., Di Felice, E., Campolo, M., Casaccia, C., Savini, G., Di Sabatino, D. et Lorusso, A. (2016a). Circovirus in domestic and wild carnivores: an important opportunistic agent? *Virology*, 490, 69–74.
150. Zaccaria, G., Malatesta, D., Scipioni, G., Di Felice, E., Campolo, M., Casaccia, C., Savini, G., Di Sabatino, D. et Lorusso, A. (2016b). Circovirus in domestic and wild carnivores: an important opportunistic agent? *Virology*, 490, 69–74.

Annexes

LA MALADIE DE CARRE

Etiologie

Type	Ordre	Famille	Genre	Espèces
Virus	Mononegavirales	Paramyxoviridae	Morbillivirus	Canine Distemper Virus (CDV)

Virus à ARN simple brin négatif, de taille relativement petite (de 150 à 1000 nm de diamètre), enveloppé (donc fragile dans l'environnement), nucléocapside à symétrie hélicoïdale

Epidémiologie

Virus hautement contagieux, excrétion du virus longue (60 à 90 jours) (Martinez-Gutierrez et Ruiz-Saenz, 2016).

Loup : transmission par contact direct intra-spécifique ou par prédation sur les chiens domestiques, et transmission indirecte aérienne via les aérosols et autres sécrétions corporelles contaminées (urine, fluides oculaires...) et par ingestion d'une carcasse de carnivore domestique ; transmission horizontale par voie transplacentaire ou néonatale décrite chez le chien

Lynx : espèce solitaire donc transmission directe limitée, sauf lors des contacts par prédation sur d'autres espèces de carnivores et lors des périodes de reproduction. Transmission directe par les aérosols privilégiée.

Pathogénie

Réplication dans les tissus lymphoïdes du tractus respiratoire haut, puis multiplication dans les macrophages, les nœuds lymphatiques, la lamina propria du système digestif, et les cellules hépatiques de Kupffer ; tropisme pour les lymphocytes B et T, les cellules nerveuses et épithéliales. Cycle lytique à l'origine d'une immunosuppression et des infections secondaires pouvant être fatales.

Lynx lynx : devient pathogène par adaptation via des mutations génomiques (Origgi et al., 2012)

Tableau clinique

Loup : Infection subaigüe à aigüe. Signes d'infection systémique (hyperthermie, leucopénie pouvant résulter en une immunosuppression sévère, abattement), oculaires (chassie), digestifs (vomissements, diarrhée), symptômes respiratoires (jetage nasal muco-purulent...), cutanés (hyperkératose), éventuels signes d'atteinte nerveuse selon l'aire cérébrale affectée (changement de comportement, convulsions, signes d'atteinte cérébelleuse ou vestibulaire, incoordination, parésie voire paralysie) (Gavier-Widén et al., 2012a)

Lynx: encéphalites chez des lynx canadiens *Lynx canadensis* et des lynx roux *Lynx rufus* atteints (Daoust et al., 2009). Mortalité décrite chez d'autres espèces de félidés sauvages, comme les lions *Panthera leo* et d'autres félins dans le parc national Serengeti en Tanzanie, en 1994 (Daoust et al., 2009). Aucun cas de mortalité décrit chez le lynx.

Un lynx ibérique retrouvé mort dans le sud de l'Espagne présentait une charge virale en CDV élevée, suggérant que l'infection virale soit responsable de sa mort.(M. L. Meli et al., 2010) Cependant, il a été observé qu'une séropositivité peut ne pas être associée à des signes cliniques.(M. Meli et al., 2006)

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	RT-PCR	Cerveau, rate, poumon, foie, rein, vessie et colon	Diagnostic de certitude, facilité et rapidité	
	Observation microscopique électronique		Diagnostic de certitude	Méthode plus longue
Sérologie	Séroneutralisation par réduction des plages de lyse	Sérum	Détermination de la séroprévalence	Ne permet pas de discriminer une infection active
	Immunofluorescence indirecte			

Anatomopathologie et histopathologie

Lésions post mortem : signes de **pneumonie interstitielle ou bronchopneumonie** (augmentation de consistance du parenchyme pulmonaire, zones lobulaires foncées), signes d'**inflammation des sinus et de l'arbre trachéo-bronchique**, signes d'**entérite catarrhale à hémorragique** (muqueuse intestinale épaissie, rouge et œdématisée, sécrétion abondante de mucus, avec ou non présence de méléna, pétéchies ou suffusions, et infiltration hémorragique des nœuds lymphatiques drainants), **signes cutanés** (hyperkératose de la truffe, des babines, paupières, oreilles, anus et coussinets), congestion de l'endocarde

Analyse cytologique : corps d'inclusions éosinophiliques intra-cytoplasmiques à intra-nucléaires, majoritairement dans les tissus épithéliaux, lymphoïde, du système nerveux et du tractus uro-génital.

Gestion de lutte

Prophylaxie par vaccination usuelle des chiens domestiques (vaccin vivant atténué)

Risque global

Canis lupus : modéré

Lynx lynx : faible

LA PARVOVIROSE

Etiologie

<i>Type</i>	<i>Famille</i>	<i>Sous-famille</i>	<i>Genre</i>	<i>Espèces</i>
Virus	<i>Parvoviridae</i>	<i>Parvovirinae</i>	<i>Parvovirus</i>	Parvovirus canin de sous-type 2 (CPV-2) / Parvovirus félin (FPV)

Virus à ADN simple brin, de très petite taille (18-26 nm de diamètre), à symétrie icosaédrique, non enveloppé donc stable dans le milieu extérieur.

Epidémiologie

Virus hautement contagieux, survie élevée dans l'environnement (plusieurs mois).

Pas d'information disponible sur les classes d'âge touchées. Un seul cas de mortalité décrit, chez un loup gris femelle âgé de 9 mois dans le Minnesota (Etats-Unis), montrant que l'infection peut être très sévère même chez des individus qui ne sont pas immatures (Mech et al., 1997), même si la létalité reste peu probable (Ambroggi et al., 2019b)

Capable d'infecter des espèces domestiques et sauvages européennes :

Loup (CPV-2) : transmission par contact direct intra-spécifique ou par prédation sur les chiens domestiques, et par contact indirect par voie oro-fécale

Lynx (FPV) : transmission horizontale par contact direct faible, transmission majoritairement indirecte par voie oro-fécale et oro-nasale par contact avec des sécrétions et par ingestion de selles contaminées, transmission verticale transplacentaire possible

Pathogénie

Pénétration dans l'organisme via les tissus lymphoïdes de l'oropharynx, les nœuds lymphatiques mésentériques et les cellules lymphoïdes du thymus, puis dissémination jusqu'à l'épithélium des cryptes de l'intestin grêle par voie sanguine.

Réplication virale au sein des entérocytes, dans la moelle épinière ou les cellules cardiaques.

Tableau clinique

Infection sévère souvent mortelle chez les jeunes chiens ; infection souvent asymptomatique ou cliniquement mineure chez les individus âgés de plus de six mois.

Signes cliniques : abattement, hyperthermie, leucopénie importante, signes d'entérite hémorragique (perte d'appétit, vomissements, diarrhée grêle mucoïde à hémorragique) à l'origine d'une déshydratation, surinfections bactériennes respiratoires et myocardite dans les cas les plus sévères, malformations congénitales comme une hypoplasie cérébelleuse

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	PCR	Echantillon fécal (et autres tissus (PCR) (Ambrogi et al., 2019a))	Diagnostic de certitude, facilité et rapidité	
	MBG (Schmidt-Posthaus et al., 2002b)			
	Observation direct par microscopie électronique		Diagnostic de certitude	Méthode plus longue
Sérologie	Immunofluorescence indirecte	Sérum	Détermination de la séro-prévalence	Ne permet pas de discriminer une infection active
	Détection immuno-enzymatiques (ELISA ...)			

Anatomopathologie et histopathologie

Lésions post mortem : signes d'entérite hémorragique de l'intestin grêle, aspect hémorragique des nœuds lymphatiques mésentériques, pétéchies (Wasieri et al., 2009) , thymus atrophié chez les jeunes, myocarde flasque présentant des stries pâles pour les formes cardiaques, lésions de pneumonie lors de surinfections par des germes opportunistes (zones indurées dans le parenchyme pulmonaire) (Gavier-Widén et al., 2012a)

Analyse histologique : nécrose multifocale des cryptes intestinales, des nœuds lymphatiques mésentériques et des plaques de Peyer, inclusions virales intra-nucléaires dans les entérocytes et cellules myocardiques

Gestion de lutte

Prophylaxie par vaccination usuelle des chiens domestiques, permettant une immunité de population.

Risque global

Canis lupus : faible

Lynx lynx : faible

L'HEPATITE DE RUBARTH

Etiologie

Type	Famille	Genre	Espèces
Virus	<i>Adenoviridae</i>	<i>Mastadenovirus</i>	Adénovirus canin de type 1 (CAdV-1)

Virus à ADN double brin, de taille moyenne (80-110 nm), à symétrie icosaédrique, non enveloppé

Epidémiologie

Loup : transmission par contact direct intra-spécifique ou inter-spécifique (chiens domestiques), transmission indirecte par voie oro-nasale par ingestion ou contact avec des matières contaminées (salive, fèces ou urine), ou par inhalation d'aérosols issus d'animaux contaminés

Lynx : transmission inter-spécifique par des individus du genre *Canis*, mise en évidence par sérologie chez un lynx prélevé dans la Sierra Morena (Javier Millán et al., 2009a)

Pathogénie

Loup : Tropisme pour les cellules vasculaires endothéliales, les cellules parenchymateuses hépatiques et rénales. Pénétration via l'oropharynx, puis réplication intra-nucléaire par cycle lytique dans les cellules parenchymateuses du foie, des poumons, les cellules vasculaires endothéliales, les cellules réticulo-endothéliales du foie, les tissus lymphoïdes ainsi que les leucocytes.

Lynx : pathogénie non connue

Tableaux clinique et paraclinique

Maladie grave souvent fatale chez les canidés domestiques et sauvages.

Atteinte des systèmes respiratoire, digestif, urinaire et nerveux central, ainsi que des yeux, de la rate et du foie. Signes de processus infectieux (hyperthermie $\geq 40^{\circ}\text{C}$, abattement), tachycardie, signes digestifs (perte d'appétit, vomissements, diarrhée hémorragique, douleurs abdominales), ophtalmologiques (œdème cornéen, chassie) et respiratoires (tachypnée, toux, bruits respiratoires augmentés, jetage purulent) \pm signes de coagulopathie intravasculaire disséminée (ecchymoses, épistaxis, saignements digestifs) par lyse vasculaire \pm signes nerveux à cause d'une vascularite cérébrale (convulsions, nystagmus, hyperexcitabilité).

Signes hématologiques de leucopénie et de thrombocytopénie.

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	RT-PCR	Tissus divers	Diagnostic de certitude, facilité et rapidité	
	Immunofluorescence			
	Observation direct par microscopie électronique		Diagnostic de certitude	Méthode plus longue

Sérologie	Inhibition d'hémagglutination	Sérum	Détermination de la séroprévalence	Ne permet pas de discriminer une infection active
-----------	-------------------------------	-------	------------------------------------	---

Anatomopathologie et histopathologie

Lésions post mortem : lésions de nécrose généralisées ; signes hémorragiques sur la rate, les nœuds lymphatiques, le thymus, le pancréas, les reins et le tissu sous-cutané (ecchymoses, pétéchies) ± entérite hémorragique ou épanchement péritonéal hémorragique ; foie hyperplasié et congestionné ; paroi de la vésicule biliaire épaissie, oedémateuse et grisâtre ; signes de bronchopneumonie (parenchyme fibrosé) (Gavier-Widén et al., 2012a)

Analyse histologique : infiltration des zones nécrotiques par des neutrophiles et des cellules mononucléées, corps d'inclusions intra-nucléaires basophiles et travées nucléaires formant un noyau « en marguerite » dans les cellules infectées épithéliales et de l'endothélium vasculaire, vésical et glomérulaire

Gestion de lutte

Vaccination des chiens domestiques contre l'hépatite de Rubarth (s'inscrit dans tous les protocoles de vaccination classiques).

Risque global

Canis lupus : faible

Lynx lynx : faible

LA RAGE

Etiologie

Type	Ordre	Famille	Genre	Espèces
Virus	Mononegavirales	Rhabdoviridae	Lyssavirus	Virus de la rage (Pathotypes 1 et 5)

Virus à ARN non segmenté, de petite taille (75 nm de diamètre, 100-300 nm de long), de forme ovale, à symétrie icosaédrique, fragile dans le milieu extérieur.

Epidémiologie

Virus hautement contagieux. Transmission via la salive, par voie cutanée ou muqueuse (nécessairement par des lésions de type griffures, morsures...) ou par contact étroit.

Loup : les loups enragés deviennent solitaires et peuvent parcourir jusqu'à 80 km par jour, ce qui fait d'eux des agents de transmission de la maladie non négligeables

Lynx: ne constitue pas un réservoir, présente une forme paralytique non agressive. Transmission intra-espèce rare car nécessite un contact étroit entre individus.

Pathogénie

Pénétration par voie cutanée ou muqueuse, nécessairement par des lésions (griffures, morsures...) puis multiplication dans les myocytes et le tissu conjonctif. Forte affinité pour les glandes salivaires et des récepteurs spécifiques des synapses neuromusculaires, à l'origine d'une internalisation dans les neurones, puis remontée par diffusion passive et lente dans la moelle épinière jusqu'au système nerveux central

Période d'incubation longue donc symptômes tardifs.

Tableau clinique

Infection virale toujours mortelle.

Tableau clinique très polymorphe, encéphalomyéloradiculite à l'origine de signes nerveux :

- troubles d'ordre comportemental (changement de comportement, agressivité) ;
- troubles d'ordre moteur : difficultés motrices comme de la parésie qui conduit à de la paralysie flasque en phase terminale, des troubles de la déglutition accompagnés de ptyalisme, des troubles vocaux (modification voire disparition de la voix ;
- troubles d'ordre sensitif : hyperesthésie (sons, toucher, vue d'un autre animal)
- troubles d'ordre organo-végétatif : dysorexie, constipation...

Diagnostic de laboratoire

Aucun test diagnostique expérimental de certitude chez l'animal infecté vivant (absence de virémie, prélèvement de salive trop dangereux).

Type de test	Test post-mortem	Prélèvement	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	PCR	Encéphale	Diagnostic de certitude, facilité et rapidité	Réalisé par un laboratoire agréé
	Isolement sur cellules de neuroblastomes		Diagnostic de certitude, tests réalisés en parallèle	
	Immunofluorescence directe			

Anatomopathologie et histopathologie

Lésions post mortem : lésions inflammatoires non suppurées du système nerveux central

Gestion de lutte

Mesures de contrôles aux frontières (éviter l'introduction d'un animal infecté), limitation des animaux errants sur le territoire, prophylaxie par vaccination des chiens domestiques, campagnes de vaccination sur la faune sauvage et épidémiologie-surveillance de la faune sauvage réalisées par l'ANSES et le réseau SAGIR

Risque global

Canis lupus : faible

Lynx lynx : faible

LA LEPTOSPIROSE

Etiologie

Type	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Bactérie	<i>Spirochaetales</i>	<i>Leptospiraceae</i>	<i>Leptospira</i>	<i>Leptospira interrogans</i>

Bactérie spirochète (forme hélicoïdale, flagellée) aérobie obligatoire, flexible et mobile, de petite taille (50 µm), très résistante dans l'environnement. Il existe de nombreux sérovars.

Epidémiologie

Bactérie ubiquiste mondialement. Transmission indirecte majoritaire dans les milieux souillés par des urines infectées (eau stagnante, rivières à faible courant, sols humides, boue). Transmission directe par morsure ou contact avec de l'urine d'animaux infectés.

Les rongeurs sont les principaux réservoirs. Séroprévalence élevée chez des populations de lynx ibériques espagnols (Javier Millán et al., 2009a)

Pathogénie

Pénétration par les muqueuses intactes (œil, bouche, nez, poumon) et par des abrasions cutanées (excoriations, piqûres), puis passage dans la circulation sanguine et dissémination dans l'organisme. Tropisme pour le foie, les tubules rénaux (excrétion par voie urinaire), les poumons, les yeux, l'encéphale et l'appareil génital. Production de toxines qui vont détruire les membranes cellulaires.

Tableau clinique

Carnivores sauvages souvent porteurs asymptomatiques. Expression clinique lors d'immunosuppression par infection secondaire, variable selon le séovar. Séovar *icterohaemorrhagiae* : hémorragies pulmonaires, insuffisance rénale, hépatite.

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	PCR	Sang ou urine	Diagnostic de certitude, facilité et rapidité	
Sérologie	Micro-agglutination	Sérum	Détermination de la séroprévalence	Infection active non discriminée

Anatomopathologie et histopathologie

Lésions post mortem : congestion rénale généralisée, signes de néphrite interstitielle comme une hypertrophie rénale, pouvant aller jusqu'à la nécrose tubulaire, aspect marbré de la corticale rénale avec des zones blanchâtres

Gestion de lutte

Vaccination de routine (vaccin inactivé) pour les chiens domestiques contre 3 sérogroupes de *Leptospira interrogans* (*Canicola* séovar *Canicola*, *Icterohaemorrhagiae* séovar *Copenhageni*, *Australis* séovar *Bratislava*) et un séro groupe de *L. kirschneri* (*Grippotyphosa* séovar *Banana*), car pas de protection croisée

Risque global

Canis lupus : faible

Lynx lynx : faible

LES ENDOPARASITOSE

Etiologie

Type	(Sous-)Ordre	Famille	Espèce
Nématode	<i>Tricocephalida</i>	<i>Trichuridae</i>	<i>Trichuris vulpis</i>
	<i>Trichinellida</i>	<i>Capillariidae</i>	<i>Capillaria putorii</i> , <i>V. boehmi</i> , <i>C. aerophila</i> ...
	<i>Strongylida</i>	<i>Ancylostomidae</i>	<i>Ancylostoma caninum</i> , <i>Ancylostoma tubaeforme</i>
	<i>Strongylida</i>	<i>Angiostrongylidae</i>	<i>Aelurostrongylus abstrusus</i>
	<i>Ascaridida</i>	<i>Toxocaridae</i> , <i>Ascarididae</i>	<i>Toxocara canis</i> , <i>Toxocara cati</i> , <i>Toxascaris leonina</i>
Cestode	<i>Cyclophyllidae</i>	<i>Taeniidae</i>	<i>Taenia pisiformis</i> , <i>Taenia hydatigena</i> , <i>Taenia crassicolis</i> ...
Trématode	<i>Diplostomida</i>	<i>Diplostomidae</i>	<i>Alaria alata</i>

Nématodes (vers ronds non segmentés) : *Trichuridae* (25 à 35 mm), *Ancylostomidae* (5 à 16 mm), *Toxocara* (1 à 18 cm), *Toxascaris leonina* (2 à 10 cm), *Aelurostrongylus abstrusus* (5 à 10 mm), *Capillariidae* (1 à 8 cm)

Cestodes : *Taenia* (vers plats acoelomates segmentés de taille variable (mm à m))

Trématodes : *Alaria alata* (vers plats non segmentés, invisible à l'œil nu)

Epidémiologie

Transmission par ingestion d'œufs ou d'hôtes intermédiaires porteurs, favorisée par la résistance des oeufs dans l'environnement, à l'origine d'une forte prévalence (Ambrogi et al., 2019a). Certains sont des agents zoonotiques.

Toxocaridae/Capillariidae : renards roux constituent un réservoir en Europe (Saegerman et al., 2006), transmission in utero possible

Loup : prévalence majeure des *Ancylostomidae* chez une population de loups ibériques espagnols (Figueiredo et al., 2016), et importance des *Trichuridae*

Lynx : *Toxascaris leonina* et *Toxocardiæ* les plus diagnostiquées dans une population de lynx suisse (Schmidt-Posthaus et al., 2002a), *Aelurostrongylus abstrusus*, *Alaria alata* mis en évidence pour la première fois chez un lynx en 2020 (Ozoliņa et al., 2020)

Pathogénie

Individus porteurs affaiblis donc plus vulnérables aux pathogènes infectieux pathogènes

Trichuridae : atteinte digestive banale par fixation à la paroi du caecum et du colon de l'hôte, action spoliatrice par hématophagie, inflammatoire, inoculatrice et allergisante

Ancylostomidae : passage chez l'hôte par voie orale ou percutanée puis développement dans l'intestin grêle ; parasites hématophage (*Ancylostoma*), plus pathogène, ou chymivore (*Uncinaria*)

Toxocaridae : pénétration de la muqueuse duodénale puis enkystement dans différents organes

Aélurostrongylose : ingestion de larves, puis migration jusqu'au cœur droit et aux tissus pulmonaires, production d'œufs emprisonnés dans des nodules alvéolaires ou embolisation dans les artérioles

Cestodose : ingestion adultes vivent dans le tube digestif de l'hôte

Trématodose : développement dans les intestins et enkystement dans les muscles (Fédération Nationale des chasseurs, 2011)

Capillariose : développement dans l'estomac et l'intestin grêle (*C. putorii*), sinus frontaux et cavités nasales (*C. boehmi*), trachée, bronches et bronchioles (*C. aerophila*), vessie (*C. plica*)...

Tableau clinique

Endoparasitoses peuvent être mortelles lorsque très sévères chez les grands mammifères. Affaiblissement considérable des individus, qui rend les porteurs plus vulnérables aux pathogènes secondaires

Parasites digestifs (*Trichuridae*, *Ancylostomidae*, *Ascaridida*, *Taenia*, *Strongylida*) : entérite diarrhéique, vomissements, amaigrissement, syndrome anémique et lésions cutanées (*Ancylostoma*) ou obstruction intestinale. Souvent asymptomatique chez les adultes (*Toxocaridae*)

Aéluurostrongylose : souvent asymptomatique, sinon dyspnée et toux chronique

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement	Intérêt(s)
Identification du parasite	Visualisation directe par coproscopie (méthode de Baermann)	Fèces	Identification directe simple, peu coûteux

Anatomopathologie et histopathologie

Examen nécropsique : granulomes (multiples points grisâtres de petite taille) dans le parenchyme pulmonaire pour l'aéluurostrongylose, visualisation directe des parasites digestifs, signes d'inflammation de la muqueuse digestive, signes hémorragiques (pétéchies...)

Risque global

Canis lupus : faible

Lynx lynx : faible

LA PASTEURELLOSE

Etiologie

Type	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Bactérie	<i>Pasteurellales</i>	<i>Pasteurellaceae</i>	<i>Pasteurella</i>	<i>P. canis</i> , <i>P. stomatis</i> , <i>P. dagmatis</i> et <i>P. species B.</i> , <i>P. multocida</i>

Bactérie coccobacille de petite taille, à paroi Gram-, aéro-anaérobie, avec une capsule, peu résistante (milieu extérieur). *Pasteurella multocida* : bactérie extracellulaire stricte

Epidémiologie

Bactérie fragile dans le milieu extérieur donc transmission par contact direct majoritaire, par voie oro-nasale *via* les sécrétions buccales et respiratoires, et par morsure.

Pathogénie

Agents opportunistes qui vont devenir pathogènes lors d'affaiblissement du système immunitaire sous l'effet de facteurs favorisants comme un stress (modification de l'environnement...) ou lors d'infection primaire virale ou bactérienne. Multiplication dans les muqueuses de l'appareil respiratoire supérieur, notamment la muqueuse nasale.

Pasteurella multocida : pénétration via une brèche cutanée le plus souvent, comme lors de morsure, puis adhésion aux épithéliums grâce à des adhésines. Il existe des souches de *Pasteurella multocida* possédant une capsule, ce qui leur confère un caractère plus virulent par résistance à la phagocytose de la bactérie. (Harper et al., 2006b)

Tableau clinique

Atteinte de l'appareil respiratoire (jetage, signes de bronchite et de pneumonie voire de rhinite). Portage asymptomatique chez certaines espèces de carnivores.

Lors de contamination par morsure : processus inflammatoire très important pouvant conduire à une arthrite septique ou une septicémie, parfois fatale. (Tindall et al., 1972)

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite
Identification de la bactérie	Mise en culture sur gélose de sang/chocolat	Plaies infectées de morsures, sang, sécrétions bronchiques	Colonies rondes, grisâtres et non hémolytiques (Carbonnelle, 2019; Dziva et al., 2008)	Long

Anatomopathologie et histopathologie

Examen nécropsique : contenu purulent des voies respiratoires, zones abcédées au niveau du parenchyme pulmonaire, lésions inflammatoires parfois purulentes, traces d'anciennes morsures (lors de mauvaise cicatrisation)

Gestion de lutte

Il existe des vaccins qui sont utilisés dans les élevages de porc notamment, mais ces derniers ne sont pas employés chez les espèces de carnivores domestiques.

Risque global

Canis lupus : faible

LA MALADIE D'AUJESZKY

Etiologie

Type	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Virus	Herpesvirales	Herpesviridae	Varicellovirus	Herpesvirus des Suidés de type 1 (SuHV-1) ou Pseudorabies (PrV)

Virus à ADN bicaténaire de taille moyenne (150-180 nm), enveloppé donc fragile

Epidémiologie

Espèces réservoirs : suidés domestiques et sauvages (proies des loups et lynx)

Loup : Cas sporadiques (Lian et al., 2020; Verpoest et al., 2014)

Lynx : un seul cas décrit en 2015 (Masot et al., 2016)

Pathogénie

Dépend de la virulence de la souche virale. Pénétration par voie oro-nasale la plus probable (Gavier-Widén et al., 2012b) Réplication virale dans les muqueuses nasale, génitale et les épithéliums des tissus lymphoïdes, puis envahissement du système nerveux central via les muqueuses génitale, orale et nasale (Gavier-Widén et al., 2012b)

Tableau clinique

Infection aiguë sévère mise en évidence chez certains carnivores sauvages (renards notamment). Mortalité chez des carnivores en captivité comme l'ours brun, dans le nord de l'Espagne, mais jamais confirmée chez des animaux sauvages (Mörner et al., 2005)

Conséquences chez le loup gris mal connues, mis en évidence à deux reprises :

- dans les cellules cérébrales d'un loup présentant des signes nerveux en Belgique ;
- chez un loup captif en Chine présentant des signes nerveux (Lian et al., 2020)

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	PCR	Nœuds lymphatiques	Diagnostic de certitude	Ne permet pas de détecter une infection latente
	Immuno-histochimie	Kyste du système nerveux central	Concentration en virions élevée	Nécessite la présence de kyste
Sérologie	ELISA	Sérum	Détermination de la séroprévalence	Infection active non discriminée

Anatomopathologie et histopathologie

Examen nécropsique : pas de lésion macroscopique spécifique, signes de rhinite, de kérato-conjonctive et de nécrose des nœuds lymphatiques décrits chez les suidés

Examen histologique : encéphalite lymphocytaire non suppurée

Gestion de lutte

Surveillance chez les sangliers (maintien de densités de population compatibles avec une bonne gestion de la maladie, bonnes pratiques d'hygiène dans les élevages de suidés)

Risque global

Canis lupus : faible

Lynx lynx : négligeable

LES ACARIOSES

Etiologie

Type	Sous-ordre	Famille	Espèce
Parasite	Sarcoptiformes	<i>Sarcoptidae</i>	<i>Sarcoptes scabiei</i>
			<i>Notoedres cati</i>
		<i>Psoroptidae</i>	<i>Otodectes cynotis</i>

Sarcoptes scabiei : corps globuleux (250-450 µm), épines pédiculées, rostre court

Notoedres cati : corps subsphérique (210-230 µm), pattes courtes

Otodectes cynotis : corps globuleux (350-450 µm), pattes longues

Epidémiologie

Agents zoonotiques. Co-infection fréquente chez les lynx. Parasites très contagieux. Transmission par contact direct et indirect (survie dans l'environnement quelques jours)

Sarcoptes scabiei : Epizootie chez les loups (Oleaga et al., 2011) et endémique chez les lynx (en Suisse) (Ryser-Degiorgis et al., 2002). Endémique chez les renards roux dans le Nord des Alpes, ce qui accroît le risque de transmission.

N. cati : sporadique chez les félins suisses (Ryser-Degiorgis et al., 2002)

Transmission par contact direct faible chez les lynx sauf en période de reproduction.

Otodectes cynotis : mise en évidence chez les lynx boréaux

Pathogénie

Individus porteurs affaiblis donc plus vulnérables aux pathogènes secondaires

Gales térébrantes à *Sarcoptes scabiei* et *Notoedres cati* : femelles creusent des galeries dans l'épiderme et à sa surface pour y pondre, effet inflammatoire, toxique et allergisant ;

Otodectes cynotis : localisés dans le conduit auditif externe

Tableau clinique

Gales sarcoptique et notoédrique : signes cutanés (alopécie, prurit, hyperkératose), rarement dermatite proliférative sévère (Schmidt-Posthaus et al., 2002a), amaigrissement

Gale auriculaire : nombreux porteurs asymptomatiques, sinon cérumen abondant, érythème, prurit, excoriations et surinfections bactériennes lors de rupture du tympan

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du parasite	Identification directe microscopique	Raclage cutané sur des lésions ou écouvillon auriculaire	Identification directe	Gale sarcoptique : parasite pas toujours visualisé

Anatomopathologie et histopathologie

Examen nécropsique : lésions cutanées inflammatoires et alopeciques (gale du corps), cérumen brunâtre abondant et excoriations auriculaires (gale des oreilles)

Gestion de lutte

Pas de moyen de lutte mis en place.

Risque global

Canis lupus : faible

Lynx lynx : modéré

L'EHRlichIOSE ET ANAPLAsMOSE

Etiologie

Type	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Bactérie	<i>Rickettsiales</i>	<i>Anaplasmataceae</i>	<i>Ehrlichia</i>	<i>Ehrlichia canis, etc...</i>
			<i>Anaplasma</i>	<i>Anaplasma phagocytophila...</i>

Bactéries Gram- intracellulaire (0,2-1µm), localisée dans le cytoplasme des monocytes

Epidémiologie

Transmission vectorielle par les tiques *Rhipicephalus sanguineus* (*Ehrlichia*) ou *Ixodes ricinus* (*Anaplasma*)

Loup : infection actives démontrées chez des loups italiens (Santoro et al., 2016)

Lynx : infections actives chez des lynx ibériques espagnols (Javier Millán et al., 2009b)

Pathogénie

Ehrlichia canis : multiplication dans les monocytes et les macrophages de la rate et du foie. Dissémination dans tout l'organisme par voie sanguine et adhérence à l'endothélium vasculaire. Provoque une thrombocytopénie par consommation des plaquettes excessive sur les sites de vascularite.

Anaplasma phagocytophila : multiplication dans les cellules myéloïdes ou granulocytaires.

Tableaux clinique et paraclinique

Syndromes fébrile et hémorragique d'apparition brutale, associés à de l'asthénie et de l'anorexie. Signes hématologiques associés de thrombocytopénie et d'anémie.

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvements	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	PCR	Sang	Diagnostic de certitude, rapidité, spécifique, assez sensible	
	Frottis sanguin	Sang	Très évocateur	Pas toujours visualisé
Sérologie	ELISA	Sérum	Détermination de la séroprévalence	Ne permet pas de discriminer une infection active
	Immunofluorescence indirecte			

Anatomopathologie et histopathologie

Examen nécropsique : aucun signe spécifique.

Examen histologique : présence de morula dans les cellules parasitées (monocytes et macrophages pour *E. canis*, cellules myéloïdes et granulocytaires pour *A. phagocytophila*)

Gestion de lutte

Pas de moyen de lutte mis en place.

Risque global

Canis lupus : faible

Lynx lynx : négligeable

LA TUBERCULOSE

Etiologie

Type	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Bactérie	<i>Actinomycetales</i>	<i>Mycobacteriaceae</i>	<i>Mycobacterium</i>	<i>Mycobacterium bovis</i>

Bactérie bacille aérobie intracellulaire, paroi épaisse (donc résistante dans le milieu extérieur).

Epidémiologie

Transmission majoritairement par voie indirecte par ingestion de matière contaminée (issue de cadavre de sangliers ou cervidés notamment) car bactérie résistante dans l'environnement, et par contact direct avec un animal infecté, par voie respiratoire par inhalation d'aérosols (jetage, expectorations). Contamination majoritairement par voie digestive. Transmission par le lait maternel possible.

Pathogénie

Pénétration par voie respiratoire majoritairement, puis multiplication dans les macrophages après phagocytose, à l'origine d'une adénopathie satellite. Formation d'un chancre d'inoculation par nécrose. Stabilisation de la bactérie ou dissémination par voie lymphatique.

Infection pouvant se généraliser chez les individus affaiblis, par voie sanguine ou lymphatique.

Tableau clinique

Evolution chronique. Polymorphisme important des signes cliniques, peu spécifiques (Briones et al., 2000) : dégradation progressive de l'état général, amaigrissement marqué. Forme généralisée : mort en quelques semaines.

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite(s)
Nécropsique	<i>Cf « Anatomopathologie et histopathologie »</i>			
Identification de la bactérie	PCR	Granulome	Diagnostic de certitude	Très long
	Mise en culture sur milieu enrichi (gélose de Jensen)	Sang ou urine		
Sérologie	Microagglutination	Sérum	Détermination de la séroprévalence	Infection active non discriminée

Anatomopathologie et histopathologie

Examen post mortem : lésions exsudatives, non spécifiques, lors des phases de généralisation (Briones et al., 2000) avec des infiltrations de différents tissus (poumons...), ou des épanchements cavitaires. Pas de lésion granulomateuse contrairement aux bovins.

Gestion de lutte

Lutte chez les espèces réservoirs tels que les bovins. Prophylaxie par réalisation de tests allergiques (intradermotuberculination), et abattage des troupeaux infectés.

Risque global

Canis lupus : négligeable

Lynx lynx : négligeable

LES COLIBACILLOSES

Etiologie

<i>Type</i>	<i>Ordre</i>	<i>Famille</i>	<i>Espèce</i>
Bactérie	<i>Enterobacteriales</i>	<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>E. coli</i> entérotoxigènes, entéro-pathogènes, nécrotoxigéniques de type 1 et adhésine-positives

Bactérie Gram-, de taille moyenne et de forme allongée (0.4-0.6 x 3 µm), à métabolisme anaérobie facultatif, catalase positives, oxydase négatives.

Epidémiologie

Agent opportuniste de la flore digestive commensale de nombreuses espèces, souvent non pathogène.

Contamination par voie oro-fécale principalement, par contamination par un milieu souillé par des fèces.

Pathogénie

Agents pathogènes opportunistes. Pouvoir pathogène intrinsèque mais existence de facteurs favorisants : jeune âge, nombreuses mises bas simultanées, fortes densités d'individus ou stress.

ETEC/EPEC : sécrétion de toxines à l'origine de troubles électrolytiques

NTEC1 et les AdEC : responsables de pathologies extra-digestives telles que les cystites, pyélonéphrites, bactériémies, septicémies et infections systémiques (Mainil, 2002b), par contamination fécale, à cause d'un environnement souillé par les fèces

Tableau clinique

Cas les plus sévères : septicémie pouvant conduire à la mort.

Clinique différente lors de multiplication endogène (en dehors du tractus digestif), ou contamination exogène

ETEC/EPEC : signes d'entérite (diarrhées néonatales aqueuses), d'infections du tractus urinaire (strangurie, pollakiurie, hématurie)

NTEC1/AdEC : signes de mammites, métrites, infections ombilicales, plaies, cystites, pyélonéphrites (Mainil, 2002a)

Diagnostic de laboratoire

<i>Type de test</i>	<i>Test</i>	<i>Prélèvement(s)</i>	<i>Intérêt(s)</i>	<i>Limite(s)</i>
Identification de la bactérie	Mise en culture sur gélose de MacConkey	Site infectieux	Méthode de routine, peu coûteux	Ne permet pas le typage ni l'identification des souches pathogènes
	Mise en culture sur gélose au sang		Indicateur d'un caractère pathogène (Mainil, 2002b)	
	PCR		Typage de la souche, rapidité, peu coûteux	

Anatomopathologie et histopathologie

Examen nécropsique :

- Entérite : contenu digestif diarrhéique aqueux, muqueuse intestinale congestive et épaissie
- Infection urinaire : teinte rosée de l'urine
- Pyélonéphrite : lésions inflammatoires suppurées du parenchyme rénal débutant au niveau du bassinet, parenchyme marbré de taches blanches et de placards grisâtres, avoisinant des zones d'aspect normal, bassinet dilaté à la coupe, contenu purulent dans le bassinet, muqueuse congestionnée à ulcérée, parfois signes d'inflammation des parois urétérales ou vésicale.

Gestion de lutte

Aucun vaccin ou moyen de prévention efficace.

Risque global

Canis lupus : négligeable

LES PROTOZOAIRE DU GENRE APICOMPLEXA

Etiologie

Type	Embranchement	Sous-ordre	Famille	Espèces
Parasite	Apicomplexa	Eimeriorina	Coccidies	<i>Neospora caninum</i>
	Apicomplexa	Eimeriorina	Sarcocystidae	<i>Toxoplasma gondii</i>
	Apicomplexa	Piroplasmida	Theileriidae	<i>Cytauxzoon felis</i>

Neospora caninum : unicellulaire, oocystes(10 µm)/tachyzoites(6-8 µm) de petite taille, intracellulaires stricts

Toxoplasma gondii : unicellulaire, oocystes(12 µm)/tachyzoites(6-8 µm) de petite taille, intracellulaires stricts

Cytauxzoon felis : protozoaire sanguin de très petite taille (1-2 µm)

Epidémiologie

Canis lupus : protozoaires du genre *Apicomplexa* sont des agents zoonotiques. Ookystes de la sous-classe *Coccidia* mis en évidence de façon importante dans l'environnement chez des loups de Toscane, en Italie (Ambrogi et al., 2019a). Loup est hôte définitif (Dubey et al., 2011) . Transmission par contact direct et indirectement grâce aux fèces émis dans l'environnement (résistance des oocystes longtemps), transmission verticale possible.

Lynx lynx : toxoplasmose enzootique, avec une séroprévalence élevée en Espagne (Javier Millán et al., 2009a). Contamination par consommation de viande de lapins sauvages (proie principale porteuse). Transmission indirecte via de l'eau ou un aliment contaminé par des ookystes issus de fèces de chats infectés, facilitée par la forte résistance du parasite dans l'environnement. Contamination par voie transplacentaire possible. *Cytauxzoon felis* transmis par les tiques, infections décrites chez des chats domestiques en France. Pas un hôte définitif de *Neospora caninum*, transmission indirecte via les fèces.

Pathogénie

Individus porteurs affaiblis donc plus vulnérables aux pathogènes secondaires

Neospora caninum : se développe au niveau digestif, excrétion des oocystes (forme infectante) dans les fèces (Dubey et al., 2011). Forme des kystes à bradyzoïtes et tachyzoïtes (système nerveux central, muscles ou rétine)

Toxoplasma gondii : oocystes deviennent infectants après sporulation dans les fèces, tachyzoïtes ont une multiplication rapide dans des pseudo-kystes. Pouvoir pathogène très variable selon génotype ;

Cytauxzoon felis : transmis par les tiques. Pénétration des sporozoïtes dans les globules blancs, puis dissémination dans les nœuds lymphatiques, la rate, le foie, les poumons et la moelle osseuse

Tableau clinique

Néosporose : souvent asymptomatique, rares cas d'encéphalomyélite, myosite nécrotique et dermite pyogranulomateuse, à l'origine de troubles locomoteurs et neurologiques

Toxoplasmose : souvent asymptomatique, sinon coccidiose intestinale banale avec des signes digestifs (diarrhée, vomissements), une hyperthermie et des adénopathies. Pas de mortalité associée, seul un cas de mortalité néonatale chez un lynx roux. Aucune forme aigüe n'a encore été décrite chez le loup gris. Rarement mortelle chez les félidés sauvages (Jokelainen et al., 2013), un cas de mortalité néonatale imputée à une toxoplasmose congénitale a été décrit chez un lynx roux *Lynx rufus* (Dubey et al., 1987)

Cytauxzoon felis : infection persistante subclinique (Javier Millán et al., 2007), un cas de mortalité chez un lynx roux sauvage (Nietfeld et Pollock, 2002)

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvements	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du protozoaire	PCR	Fèces	Diagnostic de certitude	
	Immunohistochimie	Kyste	Diagnostic de certitude	Néospore seulement, plus coûteux
	Observation microscopique directe (frottis sanguin)	Sang total	Identification directe de <i>Cytauxzoon felis</i> , peu coûteux	Parfois difficile à observer
Sérologie	Recherche d'immunoglobulines IgM et IgG	Sérum	Détermination de la séroprévalence	Ne permet pas de discriminer une infection active

Anatomopathologie et histopathologie

Examen nécropsique : visualisation de kystes ou pseudo-kystes dans différents organes, non systématique.

Risque global

Canis lupus : négligeable

L'HERPESVIROSE

Etiologie

Type	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Virus	Herpesvirales	(alpha)herpesviridae	Varicellovirus	Herpesvirus canin de type 1 (CaHV-1), herpesvirus félin de type 1 (FeHV-1)

Virus à ADN double brin, de taille importante (100-300 nm), enveloppés donc fragiles, à symétrie icosaédrique, présence de tégument amorphe et enveloppe lipidique et protéique

Epidémiologie

Latence importante : persistance à vie chez les individus infectés

Fragile dans le milieu extérieur donc transmission majoritaire par contact direct étroit, via les sécrétions des muqueuses des systèmes respiratoire ou génital des animaux infectés. Transmission indirecte par aérosols possible. Contamination néonatale possible.

Contamination des lynx faible, car transmission directe peu probable

Pathogénie

Canis lupus : Voies d'entrée : muqueuses oro-nasale, oro-pharyngée et génitale. Tropisme pour les cellules de l'oro-pharynx, les nœuds lymphatiques mandibulaires, rétro-pharyngiens et bronchiques, les tissus nerveux et génitaux et le parenchyme pulmonaire. Cycle de réplication lytique réactivée lors de stress, avec phases de latence.

Lynx lynx : pathogénie non connue

Tableau clinique

Troubles de la reproduction (mortalité, avortements...), atteintes respiratoires légères (complexe « toux du chénil », rhinite, pharyngite), apathie, dysorexie et douleurs abdominales chez les jeunes chiens.

Infection généralisée jamais décrite chez le loup, rare chez le chien domestique immature. Chien domestique : infection parfois sévère chez les jeunes jusqu'à 5 semaines (syndrome fébrile, vomissements et hauts-le-cœur après la têtée (Kaplan, 1973b)), voire une infection généralisée conduisant à la mort de l'animal, mais de tels cas n'ont jamais été décrits chez les loups.

Lynx lynx : clinique non connue. L'inoculation expérimentale du virus chez des lynx roux *Lynx rufus* a permis de montrer l'absence de manifestation clinique de l'herpesvirose (Eberle et al., 1991).

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	PCR	Rate, rein, foie, poumon, écouvillon oro-pharyngé ou vaginal, sperme	Diagnostic de certitude	Faux négatif en phase de latence
	Immuno-fluorescence indirecte			
Sérologie	ELISA	Sérum	Détermination de la séro-prévalence	Ne permet pas de discriminer une infection active

Anatomopathologie et histopathologie

Examen nécropsique : nécrose rénale (zones blanchâtres en dépression dans le parenchyme rénal), hémorragies focales, splénomégalie.

Examen cytologique : corps d'inclusion intra-cytoplasmiques non systématiques, pouvant varier en aspect donc peu satisfaisant pour le diagnostic des infections à herpesvirus (Kaplan, 1973b).

Gestion de lutte

Aucun traitement curatif ni vaccin à ce jour.

Risque global

Canis lupus : négligeable

Lynx lynx : négligeable

LA CIRCOVIROSE CANINE

Etiologie

Type	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Virus	<i>Herpesvirales</i>	<i>Circoviridae</i>	<i>Circovirus</i>	Circovirus canin (DogCV)

Virus à ADN simple brin, de très petite taille (20 à 25 nm de diamètre), de forme sphérique, de forme icosaédrique, non enveloppé donc résistant dans le milieu extérieur

Epidémiologie

Transmission par contact direct avec un animal infecté, ou indirectement par voie oro-fécale, ce qui est permis par la forte résistance dans l'environnement, ou via les sécrétions oro-nasales (par analogie avec le circovirus porcin de type 2) (Gavier-Widén et al., 2012a).

Pathogénie

Co-infection systématique avec le virus de la maladie de Carré ou le parvovirus canin, voire les deux (Zaccaria et al., 2016b)

Voie d'entrée du virus : respiratoire par pénétration puis réplication dans les cellules des épithéliums bronchique et bronchio-alvéolaire (par analogie avec le circovirus porcin de type 2), puis dissémination par voies sanguine et lymphatique.

Tableau clinique

Tableau clinique polymorphe, peut être sévère.

Signes respiratoires, digestifs, dermatologiques ou reproducteurs, hyperthermie d'origine inconnue, immunodépression à l'origine d'une thrombocytopénie et une neutropénie.

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	PCR en temps réel	Fèces, rate, poumon, cerveau, foie, intestin, nœuds lymphatiques (Zaccaria et al., 2016b)	Diagnostic de certitude	Infection active non discriminée
	Immunofluorescence indirecte			

Anatomopathologie et histopathologie

Examen nécropsique (lésions inflammatoires) : hémorragies multifocales sur les séreuses stomacale et intestinale et le cortex rénal, signes de vascularité nécrotique dans le parenchyme rénal et les artères mésentériques (plages blanchâtres, amincissement de la paroi vasculaire), signes de lymphadénite granuleuse (congestion et hyperplasie du tissu lymphoïde, suppurée ou non) dans les cas les plus sévères (Li et al., 2013)

Analyse histologique : corps d'inclusions, caractérisés par des granulations paracrystallines soit des amas de virions, dans le cytoplasme des macrophages (Li et al., 2013)

Gestion de lutte

Aucun traitement curatif ni vaccin à ce jour.

Risque global

Canis lupus : négligeable

LE VIRUS DE LA LEUCEMIE FELINE

Etiologie

Type	Famille	Sous-famille	Genre	Espèces
Virus	Retroviridae	Oncornavirus	Retrovirus	Virus de la leucémie féline (FeLV)

Virus à ARN monobrin enveloppé donc instable dans le milieu extérieur.

Epidémiologie

Pouvoir contagieux important. Affecte les chats domestiques donc transmis au lynx boréal via les chats (M. L. Meli et al., 2009), mais prévalence faible en France. Infection avérée chez *Lynx pardinus*. Transmission par contact direct par voie oro-nasale via la salive majoritairement car fragile dans le milieu extérieur. Probabilité de transmission faible car contacts intra-espèces rares, mais prédation sur des chats domestiques porteurs possible. Transmission verticale rare.

Pathogénie

Pénétration par voie oro-nasale, puis réplication localement dans les tissus lymphoïdes oro-pharyngés. Entrée en latence possible, persistance sous forme de provirus.

Lors d'infection sévère : dissémination par voie sanguine puis multiplication dans les cellules de l'épithélium salivaire puis les cellules souches hématopoïétiques de la moelle osseuse et les autres organes lymphoïdes. Peut provoquer des tumeurs des organes lymphoïdes notamment, des affections de la moelle osseuse et des états dysimmunitaires (affections à médiation immune le plus souvent).

Tableau clinique

Développement d'infections sévères à l'origine de morbidité et de mortalité minoritaire. Démonstré mortel chez l'espèce *Lynx rufus* (Geret et al., 2011b) Peut provoquer :

- des tumeurs des organes lymphoïdes et hématopoïétiques comme des lymphomes et des leucémies, des affections néoplasiques de la moelle osseuse à l'origine de troubles nerveux à l'origine d'anémie notamment ;
- Etat d'immunodéficience se manifestant par des infections fréquentes avec des agents infectieux opportunistes, des cytopénies périphériques, des glomérulonéphrites, des uvéites et des polyarthrites.

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	RT-PCR	Sang périphérique (monocytes), tissu tumoral (Arjona et al., 2007)	Diagnostic de certitude, rapidité	Difficile car phases de latence
Sérologie	Détection immuno-enzymatiques (ELISA) Test à immunomédiation rapide (RIM)	Sérum	Détermination de la séroprévalence	Ne permet pas de discriminer une infection active

Diagnostic difficile en raison des phases de latence.

Anatomopathologie et histopathologie

Lésions post mortem : masses tumorales dans tout l'organisme, principalement au niveau de la moelle osseuse ou des organes lymphoïdes comme les nœuds lymphatiques. Peut s'accompagner de signes inflammatoires au niveau du parenchyme rénal et des articulations.

Gestion de lutte

Vaccination des chats domestiques réalisée à grande échelle de nos jours.

Risque global

Lynx lynx : modéré

LE VIRUS DE L'IMMUNODEFICIENCE FELINE

Etiologie

<i>Type</i>	<i>Famille</i>	<i>Genre</i>	<i>Espèces</i>
Virus	<i>Retroviridae</i>	<i>Lentivirus</i>	Virus de l'immunodéficience féline (FIV)

Virus à ARN enveloppé donc instable dans le milieu extérieur.

Epidémiologie

Prévalence relativement élevée chez les chats domestiques, avec lesquels les lynx peuvent entrer en contact.

Lynx boréal *Lynx lynx* : transmission horizontale directe par morsure, via les contacts belliqueux (salive et sang sont les matières virulentes), quelques cas de transmissions verticale transplacentaire et par le lait maternel anecdotiques.

Pathogénie

Multiplication dans les macrophages tissulaires, puis atteinte des organes lymphoïdes et autres tissus riches en lymphocytes et macrophages. A l'origine de l'apparition de tumeurs, d'infections par des gènes opportunistes, et d'une encéphalopathie spécifique liée au tropisme du virus pour les astrocytes cérébraux.

Réaction immunitaire partielle, ne permettant jamais d'éliminer totalement le virus. En phase terminale, infection entraînant des états dysimmunitaires (principalement des affections à médiation immune).

Tableau clinique

Syndrome d'immunodéficience acquise chez les individus porteurs, se traduisant par une perte d'efficacité immunitaire à l'origine de surinfections par des agents opportunistes. Syndrome de dépérissement en phase terminale. Se traduit hématologiquement par une hyperprotidémie marquée, une hyperglobulinémie polyclonale et une cytopénie périphérique (anémie, thrombopénie...).

Infection parfois asymptomatique.

Diagnostic de laboratoire

<i>Type de test</i>	<i>Test</i>	<i>Prélèvement</i>	<i>Intérêt(s)</i>	<i>Limite(s)</i>
Identification du virus	RT-PCR	Liquide céphalo-rachidien	Diagnostic de certitude, rapidité	Prélèvement plus difficile
Sérologie	Détection immuno-enzymatiques (ELISA ...)	Sérum	Détermination de la séroprévalence	Ne permet pas de discriminer une infection active
	Test à immunomédiation rapide (RIM)			

Anatomopathologie et histopathologie

Lésions post mortem : masses tumorales diverses, inflammations du parenchyme rénal et des articulations, lésions nerveuses comme une inflammation des méninges ou de la substance blanche.

Analyse histologique : signes d'inflammation à l'histologie des tissus nerveux.

Gestion de lutte

Traitement essentiellement spécifique des affections associées (traitements antirétroviraux rarement utilisés à ce jour). Pas de vaccin disponible.

Risque global

Lynx lynx : faible

LA CORONAVIROSE

Etiologie

Type	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Virus	Nidovirales	Coronaviridae	Alphacoronavirus	Coronavirus félin (FCoV)

Virus à ARN simple brin, enveloppé donc fragile, de taille moyenne (120-160 nm de diamètre), à symétrie hélicoïdale

Epidémiologie

Virus ubiquiste très contagieux. Une forme digestive non pathogène, une forme très pathogène à l'origine de la Péritonite Infectieuse Féline (PIF).

Transmission par voie oro-fécale, indirectement par consommation de selles contaminées.

Pas de transmission verticale.

Pathogénie

Forme digestive : tropisme pour les entérocytes, peu pathogène.

Péritonite infectieuse féline : devient pathogène après mutations du virus digestif. Le profil de réaction immunitaire spécifique ne permet pas une bonne protection contre le virus.

Tableau clinique

Forme digestive non pathogène : entérites lors de co-infections avec des agents pathogènes digestifs

Forme pathogène de la PIF : infection sévère, toujours fatale. Atteinte polymorphe, pouvant se manifester par un syndrome fébrile, une polysérosite à l'origine d'épanchements abdominal et thoracique, provoquant une dyspnée, pyogranulome dans le système nerveux central provoquant des troubles nerveux.

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	PCR	Lésion ou épanchement caractéristique	Suspicion forte lors de détection sur des lésions caractéristiques	Pas de diagnostic de certitude, impossible de différencier formes pathogène et non pathogène
	Immunofluorescence indirecte			

Anatomopathologie et histopathologie

Examen nécropsique : éventuels épanchements cavitaires, polyadénomégalie mésentérique, pyogranulomes au niveau du parenchyme pulmonaire (pyogranulomes coalescents blanchâtres), de l'uvée, des reins, du foie ou encore de l'encéphale, parfois masse intestinale (notamment iléo-colique)

Gestion de lutte

Aucun moyen de lutte disponible actuellement.

Risque global

Lynx lynx : faible

LA CALICIVIROSE

Etiologie

Type	Famille	Genre	Espèce
Virus	<i>Caliciviridae</i>	<i>Vesivirus</i>	Calicivirus félin (FCV)

Virus à ARN de petite taille, sphérique, à symétrie icosaédrique, non enveloppé donc résistant dans le milieu extérieur.

Epidémiologie

Lynx boréal **Lynx lynx** : transmission par voie oro-nasale, directe ou indirecte par les aérosols, et par voie oro-fécale. Transmission indirecte favorisée par la persistance plusieurs semaines dans le milieu extérieur.

Pathogénie

Pénétration dans l'organisme par voie oro-nasale. Tropisme pour les cellules de l'appareil respiratoire. Réplication virale cytoplasmique et lytique. Persistance au niveau de l'oropharynx chez porteurs chroniques.

Variants hautement pathogènes : à l'origine d'une forme généralisée.

Tableau clinique

Infection polymorphe de l'appareil respiratoire chronique à aigüe. Guérison spontanée en quelques jours pour les formes classiques. Il existe des porteurs asymptomatiques chroniques.

Forme classique : syndrome fébrile accompagné de vésicules, érosions et ulcères des épithéliums buccal et nasal, voire une polyarthrite et une dermatite.

Forme systémique grave : hyperthermie sévère, œdèmes inflammatoires sous-cutanés, facial et au niveau des membres, dermatite exsudative à nécrosante, pancréatite, déficiences multi-organiques.

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	PCR	Sérum	Diagnostic de certitude, rapidité	
Sérologie	ELISA	Sérum	Détermination de la séroprévalence	Ne permet pas de discriminer une infection active

Anatomopathologie et histopathologie

Examen nécropsique : lésions ulcérales dans la cavité buccale et les cavités nasales et lésions cutanées. Œdèmes sous-cutanés et autres lésions lors de forme généralisée.

Gestion de lutte

Vaccination des chats domestiques lors des protocoles de vaccination classiques

Risque global

Lynx lynx : faible

LA CHLAMYDOPHILOSE FELINE

Etiologie

Type	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Bactérie	<i>Chlamydiales</i>	<i>Chlamydiaceae</i>	<i>Chlamydophila</i>	<i>Chlamydophila felis</i>

Bactérie Gram- intracellulaire, localisée dans le cytoplasme des monocytes

Epidémiologie

Transmission essentiellement par contact direct via les sécrétions oculaires, donc rare chez le lynx. Mise en évidence dans une population de lynx ibériques (Javier Millán et al., 2009b)

Pathogénie

Tropisme pour les cellules épithéliales conjonctivales.

Pénétration des corps bactériens dans les cellules par endocytose et vacuolisation, multiplication par scissions puis deviennent formes infectieuses libérées dans le milieu extérieur par rupture de la vacuole.

Tableau clinique

Infections à tendance chronique, avec de longues périodes asymptomatiques.

Troubles oculaires avec une conjonctivite modérée chronique à aigüe majoritairement, troubles respiratoires (éternuements, jetage) voire hyperthermie transitoire et dysorexie.

Un cas de conjonctivite sévère associée à une infection à *Chlamydia felis* a été décrit chez un lynx européen sauvage en 2018 en Suisse (Marti et al., 2019).

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	PCR	Ecouvillon oculaire	Diagnostic de certitude, rapidité	Parfois non visualisé, faibles spécificité et sensibilité
	Cytologie (frottis)	Ecouvillon conjonctival		
Sérologie	ELISA	Sérum	Détermination de la séroprévalence	Ne permet pas de discriminer une infection active

Anatomopathologie et histopathologie

Examen nécropsique : signes de conjonctivite

Analyse cytologique : présence de corps bactériens intracytoplasmiques

Risque global

Lynx lynx : négligeable

LES MYCOPLASMES

Etiologie

Type	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Bactérie	<i>Mycoplasmatales</i>	<i>Mycoplasma-taceae</i>	<i>Mycoplasma</i>	<i>Mycoplasma haemofelis</i> , ' <i>Candidatus Mycoplasma haemominutum</i> ', ' <i>Candidatus Mycoplasma turicensis</i> ' (Wolf-Jäckel et al., 2010)

Bactéries sans paroi, de très petite taille (0,2-0,5µm)

Epidémiologie

Mis en évidence chez des lynx du Parc Zoologique de Londres (Hill, 1975) et chez les lynx européens, avec une séroprévalence élevée (Marti et al., 2019; Willi et al., 2007b)

Pathogénie

Pathogénie et tableau clinique mal connus chez les carnivores sauvages. Agents pathogènes opportunistes.

Mycoplasmes hémotropiques : transmission par les insectes (poux, tiques, mouches et moustiques)

Généralement : tropisme pour les surfaces mucoales et pour les articulations

Tableau clinique

Manifestations cliniques dépendantes de l'espèce de mycoplasme (M. Meli et al., 2006)
Infection sévère lors de co-infections.

Mycoplasma haemofelis : anémie hémolytique sévère, pouvant aller jusqu'à la mort, associée à une anorexie et un abattement (Wolf-Jäckel et al., 2010)

'*Candidatus Mycoplasma haemominutum*' : signes frustres, non spécifiques, pas d'anémie

'*Candidatus Mycoplasma turicensis*' : anémie, abattement marqué.

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	PCR	Sang	Diagnostic de certitude, rapidité	
	Western blot	Sang		Peu réalisé en routine
	Cytologie (frottis sanguin)	Sang		Parfois non visualisé
Sérologie	ELISA	Sérum	Détermination de la séroprévalence (Wolf-Jäckel et al., 2010)	Ne permet pas de discriminer une infection active

Anatomopathologie et histopathologie

Aucun signe spécifique.

Risque global

Lynx lynx : négligeable

LA PESTE A *YERSINIA PESTIS*

Etiologie

Type	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Bactérie	Enterobacteriales	Enterobacteriaceae	Yersinia	Yersinia pestis

Coccobacilles Gram-, de petite taille (0,5-0,8 µm), aéro-anaérobie, intracellulaire facultatif, d'origine tellurique

Epidémiologie

Mis en évidence chez des lynx *Lynx canadensis* en Amérique du Nord (Biek et al., 2002)
Contamination par consommation de rongeurs et de lagomorphes, eux-mêmes infectés par des piqures de puces, ou par contact indirect avec des sécrétions respiratoires.
Bactérie tellurique (présence dans l'eau, les sols, les végétaux)

Pathogénie

Pathogénie et tableau clinique mal connus chez les lynx.
Infection des rongeurs et lagomorphes par régurgitation de la bactérie par la puce, puis multiplication dans les macrophages et infection du nœud lymphatique drainant.

Tableau clinique

Infection souvent aiguë. Abattement, anorexie et hyperthermie. Pas systématiquement mortelle, une guérison en quelques jours est possible chez d'autres espèces de carnivores par exemple.

Diagnostic de laboratoire

Type de test	Test	Prélèvement(s)	Intérêt(s)	Limite(s)
Identification du virus	PCR	Sang, pus, expectorations	Diagnostic de certitude, rapidité	
	Culture sur gélose			Plus long
Sérologie	ELISA	Sérum	Détermination de la séro-prévalence	Ne permet pas de discriminer une infection active

Anatomopathologie et histopathologie

Examen nécropsique : signes de pneumonie (zones indurées dans le parenchyme pulmonaire) œdème, hémorragies diverses et signes d'inflammation (Wild et al., 2006)

Gestion de lutte

Déclaration obligatoire auprès des autorités sanitaires lors de diagnostic d'un cas

Risque global

Lynx lynx : négligeable

Annexe 23 : Processus pathologiques secondaires mis en évidence chez les loups gris

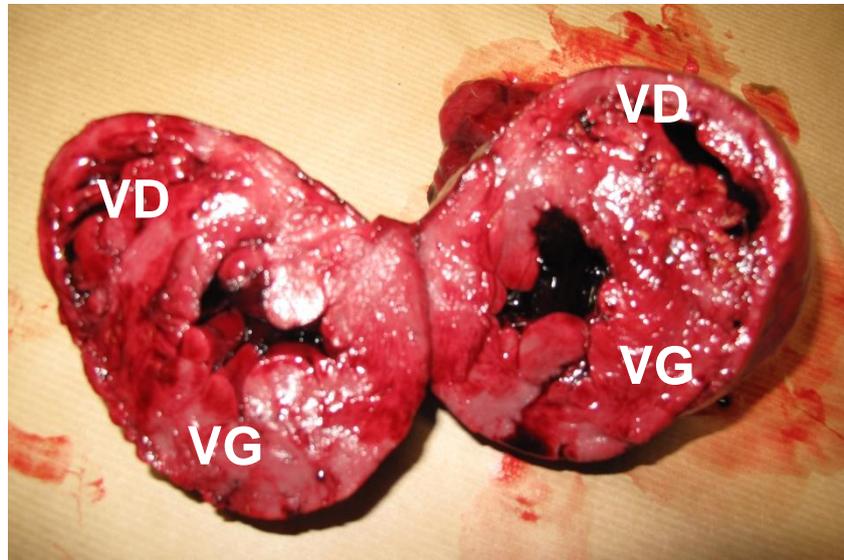
Processus pathologique accessoire détecté	Nombre d'observations
Anomalie morphologique	6
Cardiomyopathie dilatée	2
Dermatite d'origine indéterminée	2
Entérite d'origine indéterminée	2
Epuisement physiologique	6
Hépatite	3
Cardiomyopathie hypertrophique	3
Hyphes fongiques intracornéens	1
Imprégnation au lindane	1
Imprégnation aux anticoagulants	6
Imprégnation aux carbamates	1
Leishmaniose	1
Néphrite chronique (suspicion)	2
Parasitisme externe	37
Parasitisme interne	80
Pasteurellose	1
Plombs	1
Portage de l'adénovirus canin de type 1	4
Portage de parvovirus	7
Portage de paramyxovirus	4
Processus traumatique (ancienne fracture, plaie infectée, cicatrices de morsures, etc)	12
Surinfections bactériennes	3
Splénite	1
Stomatite	1
Tumeur splénique	1

Annexe 24 : Processus pathologiques secondaires mis en évidence chez les lynx boréaux

Processus pathologique accessoire détecté	Nombre d'observations
Adénomégalie mésentérique d'origine indéterminée	1
Agent mycosique respiratoire indéterminé	1
Anomalie morphologique	3
Aveugle	1
Cardiomyopathie hypertrophique	2
Dermatite supposée d'origine allergique	1
Epuisement physiologique	4
Gastro-entérite hémorragique d'origine indéterminée	1
Hépatite ou ictère hépatique	3
Imprégnation à la chloralose	3
Imprégnation aux anticoagulants	9
Imprégnation hépatique au plomb	1
Kyste intra-cérébral	1
Otite suppurée	1
Parasitisme externe	53
Parasitisme interne	67
Pasteurellose	4
Péricardite	1
Processus traumatique (plaies ou cal osseux)	4
Plombs	3
Portage de coronavirus félin	1
Portage de paramyxovirus	1
Portage de parvovirus	6
Portage digestif d' <i>Echinococcus multilocularis</i>	1
Surinfection bactérienne pulmonaire	3
Ulcère cornéen cicatriciel	1
Ulcère gastrique	2

Annexe 25 : Photographie d'un cœur de loup gris atteint de cardiomyopathie hypertrophique

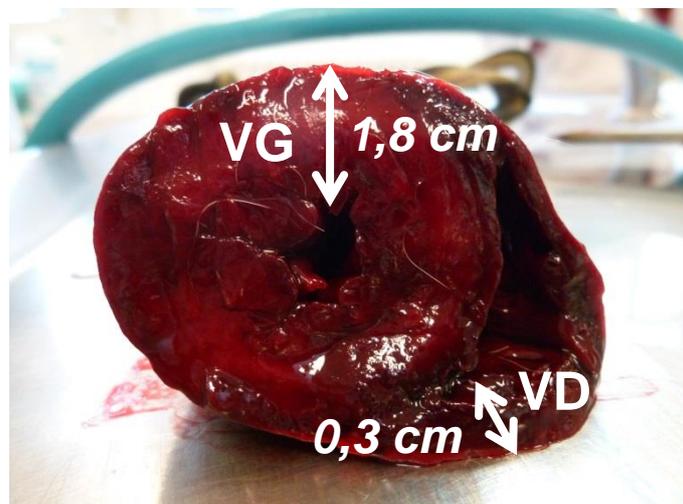
(Loup mâle, adulte, découvert dans les Alpes-Maritimes suite à une collision avec un véhicule, suspecté d'être atteint d'une cardiomyopathie hypertrophique concentrique gauche)



(VG : ventricule cardiaque gauche, VD : ventricule cardiaque droit)

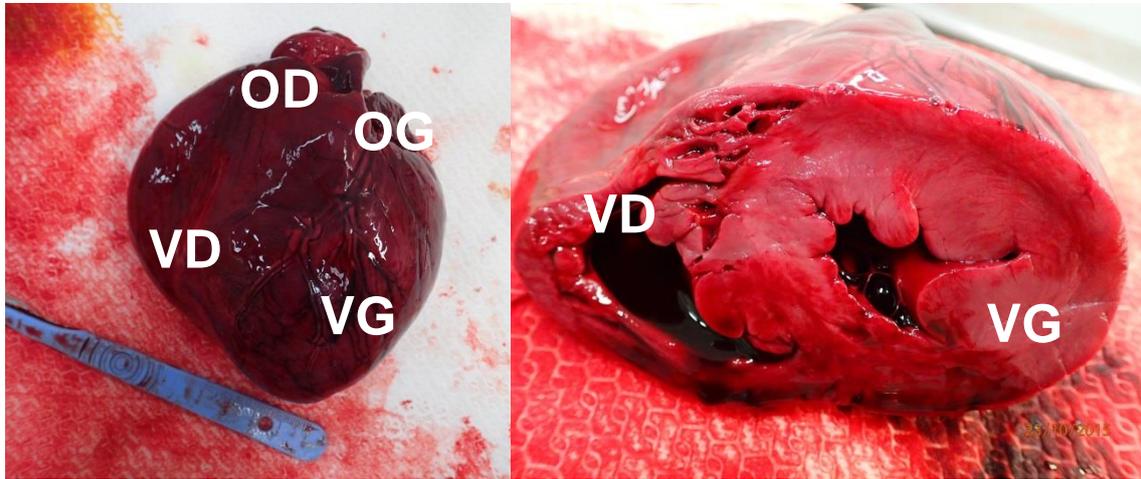
Annexe 26 : Photographie d'un cœur de lynx boréal atteint de cardiomyopathie hypertrophique

(Lynx mâle, adulte, découvert dans l'Ain, suspecté d'être atteint d'une cardiomyopathie hypertrophique concentrique gauche à l'origine d'un arrêt cardio-respiratoire)



Annexe 27 : Photographies du cœur d'un loup gris atteint d'une cardiomyopathie dilatée

(Loup mâle, adulte, découvert en Savoie, suspecté d'être atteint d'une cardiomyopathie dilatée droite)



(VG : ventricule cardiaque gauche, VD : ventricule cardiaque droit, OG : oreillette cardiaque gauche, OD : oreillette cardiaque droite)

AGREMENT SCIENTIFIQUE

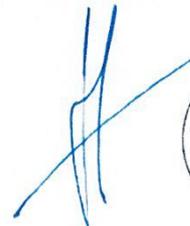
En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussignée, Mathilde PAUL, Enseignant-chercheur, de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse, directrice de thèse, certifie avoir examiné la thèse de Alexia LENA intitulée « Epidémiologie descriptive des processus morbides des espèces loup et lynx en France, entre 1990 et 2019 : mise en place d'une stratégie de surveillance » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 01/10/2020
Enseignant-chercheur de l'École Nationale
Vétérinaire de Toulouse
Professeure Mathilde PAUL



Vu :
Le Directeur de l'École Nationale
Vétérinaire de Toulouse
M. Pierre SANS



Vu :
Le Président du jury
Professeur Christophe PASQUIER



Vu et autorisation de l'impression :
Le Président de l'Université Paul Sabatier
M. Jean-Marc BROTO



Président de l'Université Paul Sabatier,
par délégation,
La Vice-Présidente de la CFVU
Fabienne ALARY

Mme Alexia LENA
a été admise sur concours en : 2015
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 09/07/2019
a validé son année d'approfondissement le : 04/06/2020
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider



NOM : Lena

PRENOM : Alexia

TITRE : Epidémiologie descriptive des processus morbides des espèces loup et lynx en France entre 1990 et 2019, et optimisation des stratégies de surveillance

RESUME : L'étude porte en première partie sur une revue bibliographique complète des connaissances des causes possibles de morbidité et mortalité chez le loup gris et le lynx boréal. Les agents étiologiques en cause sont hiérarchisés en fonction du niveau de risque eu égard au contexte épidémiologique en France. La deuxième partie présente le travail expérimental rétrospectif réalisé sur les processus morbides dont sont victimes ces espèces sur le territoire. L'étude repose sur l'exploitation des données sanitaires de l'Office Français de la Biodiversité issues des découvertes de cadavres entre 1990 et 2019. Le traitement descriptif puis analytique des données met en évidence quatre principales causes de mortalité classées par ordre d'importance : les traumatismes (dont les collisions avec des véhicules), les processus d'origine anthropogénique, les processus infectieux et l'épuisement énergétique. Aucune épidémie ni épizootie n'a été identifiée malgré un portage d'agents infectieux chez un certain nombre d'individus, représentant pour certains un risque modéré pour ces espèces. A partir des résultats, des pistes d'amélioration ont été dégagées pour la surveillance, comme la réalisation d'enquêtes sérologiques pour rendre compte de la circulation des agents étiologiques à risque chez les carnivores sauvages.

MOTS-CLES : Epidémiologie descriptive, analyse factorielle, mortalité, comorbidités, analyse de risque, hiérarchisation, épidémiosurveillance, agents pathogènes

TITLE : Descriptive epidemiology of disease processes in the grey wolf and european lynx population in France between 1990 and 2019, and optimisation of epidemiosurveillance strategies

ABSTRACT : The first part of the study consists of a bibliographic synthesis of the possible causes of morbidity and mortality described for grey wolves and european lynx. Aetiological agents are ranked according to the level of epidemiological risk in the French context. The second part presents an experimental retrospective study carried out on the disease processes these species have to deal with. The study is based on the analysis of sanitary data gathered by the French Office for Biodiversity from the detected carcasses between 1990 and 2019. Analysis revealed four main causes of mortality: trauma (including road collisions), anthropogenic processes, infectious processes, and exhaustion. Even though several infectious agents representing a significant risk were brought to light without symptoms, no evidence of epidemic or epizootic infectious process was found. Results brought out insights to tailor epidemiological surveillance, such as the use of serological surveys to explore the distribution of aetiological agents representing a risk for wild carnivores.

KEY WORDS : Epidemiology, multivariate analysis, mortality, comorbidity, risk analysis, prioritisation, epidemiological surveillance, pathogens