



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2025 - Thèse n° 134

LE SUIVI SANITAIRE VISUEL DU CHAMOIS DANS LE PARC NATIONAL DES ECRINS

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 3 décembre 2025
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

BRANCHEREAU THOMAS

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2025 - Thèse n° 134

LE SUIVI SANITAIRE VISUEL DU CHAMOIS DANS LE PARC NATIONAL DES ECRINS

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 3 décembre 2025
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

BRANCHEREAU THOMAS

Liste des enseignants du campus de VetAgro-Sup Lyon

(mise à jour le 07/11/2025)

NOM	Prénom	Statut
ABITBOL	Marie	Professeur
ALVES DE OLIVEIRA	Laurent	Maître de conférences
ARCANGIOLI	Marie-Anne	Professeur
BARRETT	Laura	Maître de conférences
AYRAL	Florence	Maître de conférences
BECKER	Claire	Professeur
BELLUCO	Sara	Professeur
BENAMOU - SMITH	Agnès	Maître de conférences
BERNY	Philippe	Professeur
BLONDEL	Margaux	Maître de conférences
BONNET	Jeanne-Marie	Professeur Émérite
BOURGOIN	Gilles	Maître de conférences
BRASSARD	Colline	Maître de conférences
BRUTO	Maxime	Maître de conférences
BRUYERE	Pierre	Professeur
BUFF	Samuel	Professeur
BURONFOSSE	Thierry	Professeur
CACHON	Thibaut	Maître de conférences
CADORE	Jean-Luc	Professeur Émérite
CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	Professeur
CANNON	Leah	Maître de conférences
CHABANNE	Luc	Professeur
CHALVET-MONFRAY	Karine	Professeur
CHANOIT	Guillaume	Professeur
CHETOT	Thomas	Maître de conférences
DE BOYER DES ROCHES	Alice	Professeur
DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	Professeur
DJELOUADJI	Zorée	Professeur
ESCRIOU	Catherine	Maître de conférences
GALIA	Wessam	Maître de conférences
GILLET	Benoît	Maître de conférences
GILOT	Emmanuelle	Professeur
GONTHIER	Alain	Maître de conférences
HUGONNARD	Marine	Maître de conférences
HUMBERT	Alexandre	Maître de conférences Stagiaire
JUNOT	Stéphane	Professeur
KIM	Mark	Maître de conférences Stagiaire
KODJO	Angeli	Professeur
KRAFFT	Émilie	Maître de conférences
LAABERKI	Maria-Halima	Professeur
LE GRAND	Dominique	Professeur
LEBLOND	Agnès	Professeur
LEDoux	Dorothée	Maître de conférences
LEFEBVRE	Sébastien	Maître de conférences
LEGROS	Vincent	Maître de conférences
LEPAGE	Olivier	Professeur
LOUZIER	Vanessa	Professeur
LURIER	Thibaut	Maître de conférences

MAGNIN	Mathieu	Maître de conférences
MARCHAL	Thierry	Professeur
MOSCA	Marion	Maître de conférences
MOUNIER	Luc	Professeur
PEROZ	Carole	Maître de conférences
PIN	Didier	Professeur
PONCE	Frédérique	Professeur
PORPHYRE	Thibaud	Professeur Stagiaire
PORSMOGUER	Charles	Maître de conférences Stagiaire
PORTIER	Karine	Professeur
POUZOT-NEVORET	Céline	Professeur
PROUILLAC	Caroline	Professeur
RACHED	Antoine	Maître de conférences
REMY	Denise	Professeur
RENE MARTELLET	Magalie	Maître de conférences
ROGER	Thierry	Professeur
SAWAYA	Serge	Maître de conférences
SCHRAMME	Michaël	Professeur
SERGENTET	Delphine	Professeur
STORCK	Fanny	Professeur
TORTEREAU	Antonin	Maître de conférences
VICTONI	Tatiana	Maître de conférences
ZENNER	Lionel	Professeur

Remerciements au jury

A Madame la Professeure Karine CHALVET-MONFRAY,

De VetAgro-Sup, Campus vétérinaire de Lyon,

Pour nous avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury,

Mes hommages respectueux.

A Madame la Professeure Emmanuelle GILOT-FROMONT,

De VetAgro-Sup, Campus vétérinaire de Lyon,

Pour avoir proposé et encadré ce travail,

Pour votre aide précieuse et votre disponibilité tout au long de celui-ci,

Mes remerciements les plus sincères.

À Monsieur le Docteur Gilles BOURGOIN,

De VetAgro-Sup, Campus vétérinaire de Lyon,

Pour avoir accepté de participer à ce jury et de juger ce travail,

Mes sincères remerciements.

A Madame la Docteure Julie MERLIN,

Du Pôle EVAAS, Campus vétérinaire de Lyon,

Pour avoir proposé et participé à ce projet en apportant une aide essentielle,

Merci mille fois.

A Monsieur Yoann BUNZ,

Du Parc national des Écrins,

Pour avoir proposé ce projet,

et pour votre disponibilité et votre expertise tout au long de celui-ci,

Un immense merci.

**A l'ensemble des techniciens-patrimoines et gardes moniteurs
du Parc national des Écrins,**

Pour le temps passé à répondre à mes sollicitations
et pour votre disponibilité pour me faire découvrir le Parc,

Mille mercis

Table des matières

LISTES DES ANNEXES	11
LISTE DES FIGURES	13
LISTE DES TABLEAUX	17
LISTE DES ABREVIATIONS	19
INTRODUCTION	21
PARTIE 1 : LA SURVEILLANCE SANITAIRE DU CHAMOIS DANS LE PARC NATIONAL DES ÉCRINS	23
I. LA SURVEILLANCE SANITAIRE, SON APPLICATION ET SES LIMITES	23
A. <i>La surveillance sanitaire, un processus organisé autour d'un réseau</i>	23
I.A.1. Définition et objectifs de la surveillance sanitaire	23
I.A.2. Fonctionnement et mise en place d'un réseau d'épidémiosurveillance	24
B. <i>Les différentes modalités de la surveillance sanitaire</i>	24
I.B.1. Les différentes classifications possibles	24
I.B.2. La surveillance syndromique, une modalité particulière de surveillance sanitaire	26
I.B.2.a. Définitions et objectifs	26
I.B.2.b. Opportunités et limites de la surveillance syndromique	26
C. <i>La surveillance sanitaire non-invasive en faune sauvage</i>	27
I.C.1. Caractérisation d'une méthode non invasive	27
I.C.2. Limites des protocoles invasifs	28
I.C.3. Évolution de l'utilisation des méthodes non invasives sur la faune sauvage	29
I.C.3.a. Une augmentation du nombre de protocoles de recherche utilisant des méthodes non invasives	29
I.C.3.b. La règle des 3R	31
I.C.3.c. Application des 3R aux protocoles impliquant de la faune sauvage non captive	32
I.C.3.d. Les différents protocoles de collecte de données non invasifs	32
> Étude des indices de présence	32
> Le piégeage photographique	35
> L'observation directe	36
II. LE SUIVI SANITAIRE DU CHAMOIS DANS LE PARC NATIONAL DES ÉCRINS	40
A. <i>Le Parc national des Écrins, un acteur local du suivi sanitaire en France</i>	40
II.A.1. Le cadre législatif du Parc national des Écrins	40
II.A.2. Le Parc national des Écrins : une diversité géographique et faunistique	41
II.A.3. Objectifs de l'établissement du PNE et organisation	42
B. <i>Le chamois, une espèce phare du Parc</i>	43
II.B.1. Présentation du chamois <i>Rupicapra rupicapra</i> , espèce emblématique du massif alpin	43
II.B.2. Le chamois, une espèce sentinelle du PNE	45
II.B.3. La surveillance sanitaire du chamois dans le Parc National des Écrins	46
II.B.3.a. Surveillance événementielle de la mortalité et le liens avec le réseau SAGIR	46
II.B.3.b. Surveillance sérologique du chamois	48
II.B.3.c. Le suivi visuel du chamois	48
> Présentation de signes cliniques observables à distance chez le chamois	48
> Déroulement du protocole	51
> Difficultés identifiées	55
PARTIE 2 : LE SUIVI SANITAIRE VISUEL DU CHAMOIS DANS LE PARC NATIONAL DES ÉCRINS	57
I. MATERIELS ET METHODES	57
A. <i>Création du fichier de données</i>	57
I.A.1. Collecte des données auprès du Parc national des Écrins	57
I.A.2. Préparation du jeu de données	58
I.A.3. Création d'un fichier de données exploitable	58
B. <i>Analyse des paramètres démographiques</i>	60
I.B.1. Définition des variables et analyse descriptive	60
I.B.2. Modélisation	61

C.	<i>Analyse des paramètres sanitaires</i>	62
I.C.1.	Définition et description des variables	62
I.C.2.	Modélisation de la probabilité d’observer une lésion	62
I.C.2.a.	Démarche de modélisation.....	62
I.C.2.b.	Interprétation des odds-ratios (OR).....	64
II.	RESULTATS	65
II.A.1.	Effectif annuel observé	65
II.A.1.a.	Effectif moyen par sortie	66
II.A.1.b.	Distribution temporelle des observations dans l’année	66
II.A.1.c.	Effectif en fonction de l’âge et du sexe.....	67
B.	<i>Paramètres démographiques</i>	68
II.B.1.	Le succès reproducteur	68
II.B.1.a.	Description.....	68
II.B.1.b.	Modélisation	70
II.B.1.c.	Effets des interactions	71
II.B.1.d.	Bilan	72
II.B.2.	Survie des chevreux	72
II.B.3.	Taux de recrutement	73
II.B.4.	La proportion de mâles parmi les adultes	74
II.B.4.a.	Description.....	74
II.B.4.b.	Modélisation	75
>	Effets simples.....	75
II.B.4.c.	Effets des interactions	75
II.B.4.d.	Bilan	76
C.	<i>Description des données sanitaires</i>	77
II.C.1.	Description de la mortalité	77
II.C.2.	Description de de la probabilité d’observer une lésion	78
II.C.2.a.	Variations de la probabilité d’observer un chamois avec une lésion.....	79
II.C.2.b.	Modélisation de la probabilité d’observer une lésion	82
II.C.3.	Modélisation de la probabilité d’observer chaque type de lésion	83
II.C.3.a.	Traumatismes	83
II.C.3.b.	Boiteries.....	83
II.C.3.c.	Lésions oculaires	84
II.C.3.d.	Lésions cutanées	86
II.C.3.e.	Lésions respiratoires	87
II.C.3.f.	Lésions digestives	88
II.C.3.g.	Faiblesses.....	88
III.	DISCUSSION.....	89
A.	<i>Méthode de travail</i>	89
III.A.1.	Méthode de collecte et qualité des données recueillies	89
III.A.2.	Le biais d’observation	89
III.A.3.	Choix des variables analysées et de la méthode d’analyse	91
III.A.3.a.	Variables analysées pour le suivi démographique.....	91
III.A.3.b.	Choix des variables analysées pour le suivi sanitaire	91
III.A.3.c.	Variables explicatives	92
B.	<i>Résultats du suivi visuel</i>	93
III.B.1.	Description de l’échantillon.....	93
III.B.2.	Démographie de la population.....	94
III.B.2.a.	Succès reproducteur.....	94
III.B.2.b.	Proportion de mâles	96
III.B.3.	Situation sanitaire.....	97
III.B.3.a.	Evolution temporelle (2003-2024)	97
III.B.3.b.	Variations saisonnières.....	97
III.B.3.c.	Variations entre secteurs.....	97
III.B.3.d.	Effet taille de groupe	98
III.B.3.e.	Effet type de groupe	99
C.	<i>Lésions observées et hypothèses</i>	99
III.C.1.	Les traumatismes	99

III.C.2.	Les boiteries	100
III.C.3.	Lésions oculaires.....	100
III.C.4.	Lésions cutanées.....	101
III.C.5.	Lésions respiratoires.....	102
III.C.6.	Faiblesses généralisées.....	103
III.C.7.	Lésions digestives	104
D.	<i>Discussion sur les objectifs du protocole</i>	104
E.	<i>Bilan sur le protocole</i>	105
PARTIE 3 : MODÉLISATION DE MODIFICATIONS DU PROTOCOLE DE SUIVI VISUEL DU CHAMOIS DANS LE PNE		
.....		107
I.	PROPOSITIONS DE PROTOCOLES ALTERNATIFS	107
A.	<i>Objectif</i>	107
B.	<i>Protocoles étudiés</i>	107
I.B.1.	Protocole « une année sur deux ».....	107
I.B.2.	Protocole « sans l'été »	107
I.B.3.	Protocole « 50 chamois »	108
II.	METHODE	108
A.	<i>Comparaison des données démographiques</i>	108
B.	<i>Comparaison des données sanitaires</i>	109
III.	RESULTATS	109
A.	<i>Comparaison des données démographiques</i>	109
III.A.1.	Le succès reproducteur	109
III.A.2.	La proportion de mâles parmi les adultes	111
B.	<i>Comparaison des données sanitaires</i>	111
IV.	DISCUSSION AUTOUR DE LA COMPARAISON	115
A.	<i>Protocole « une année sur deux »</i>	115
B.	<i>Protocole « sans l'été »</i>	115
C.	<i>Protocole « 50 chamois »</i>	116
CONCLUSION		117
BIBLIOGRAPHIE		119
ANNEXES		131

Listes des annexes

Annexe 1 : Arbre décisionnel du choix des analyses réalisées sur un cadavre découvert au sein du Parc national des Écrins	131
Annexe 2 : Liste des valeurs des Odds-Ratio (OR) pour chaque modèle GLMM réalisé dans cette thèse sur l'analyse des données sanitaires	132
Annexe 3 : Analyse des Indices d'Abondance Pédestre (IPA) de la Fédération de Chasse Départementale des Hautes-Alpes (FDC 05)	137

Liste des figures

Figure 1 : Nombre d'articles scientifiques publiés par an entre 1998 et 2021, évoquant des pratiques de prélèvement non invasives sur la faune sauvage, D'après Schilling et al., (2022).....	30
Figure 2 : Répartition des différentes méthodes utilisées pour étudier la génétique de différentes espèces, tirée des études publiées entre 2017 et 2018. D'après Zemanova (2019).....	30
Figure 3 : Types de prélèvements utilisés entre 1998 et 2021, dans des articles concernant des pratiques de prélèvement non invasives sur la faune sauvage. D'après Schilling et al. (2022).	33
Figure 4 : Liste des maladies catégorisées en France et dans l'Union Européenne. D'après (Règlement 2016/429 -- Relatif aux maladies animales transmissibles et modifiant et abrogeant certains actes dans le domaine de la santé animale («Législation sur la Santé Animale» ou LSA), 2016). L'encadré vert correspond aux maladies pouvant impacter les chamois.	41
Figure 5 : Carte du Parc National des Écrins et de sa répartition en implantations (Parc National des Écrins, 2014). Le cœur du Parc est délimité par la ligne blanche.	42
Figure 6 : Différences anatomiques des cornes entre le mâle (A) et la femelle (B) chez le chamois. D'après (Blagojević & Milošević-Zlatanović, 2014).....	44
Figure 7 : Photo d'une éterle et de deux chevreaux avec leur pelage d'été, R. PAPET (Parc National des Écrins, 2017)	44
Figure 8 : Photo d'un chamois avec son pelage d'hiver, J-P. TELMON (Parc National des Écrins, 2017).....	44
Figure 9 : Estimation de la densité des populations de chamois au sein du PNE, d'après Fiche Chamois 2010 Parc National des Écrins	45
Figure 10 : Organisation entre les différents acteurs du réseau SAGIR. D'après (Gaillet, 2001)	47
Figure 11 : Alopécie extensive et cachexie chez un chamois atteint par la Border Disease, d'après (Marco et al. 2007)	49
Figure 12 : Dépilation et peau d'éléphant chez un chamois atteint par la gale, D'après (Walzer, 2008)	49
Figure 13 : Ulcères et tuméfactions du tissu labial chez des chamois atteints d'ecthyma contagieux. D'après (Gibert, 2017)	49
Figure 14 : Photos de chamois présentant un épiphora, associé à une conjonctivite sur la photo de droite, d'après (Gibert, 2017)	50
Figure 15 : Photos d'un Bouquetin présentant un gonflement du genou de l'antérieur gauche. Ce signe clinique peut aussi être présent chez les chamois. (Gibert, 2017)	51
Figure 16 : Exemple de longue-vue, utilisée dans le Champsaur en 2025. Grossissement min : x 645, max : 1200 (photos personnelles).	52
Figure 17 : Exemple de fiche de notation papier des observations réalisées pendant le suivi visuel de chamois dans PNE. Toutes les observations sur la même feuille correspondent à une sortie.	54
Figure 18 : Nombre de chamois observés chaque année dans le Parc National des Écrins dans le cadre du protocole de suivi visuel.	65
Figure 19 : Nombre de chamois observés par an selon les implantations.	66

Figure 20 : Nombre moyen de chamois observés par sortie en fonction de l'année d'observation.....	66
Figure 21 : Nombre de chamois observés en fonction de la date de la session d'observation au sein de l'année.....	67
Figure 22 : Proportion des chamois observées depuis le début du protocole en fonction de leur sexe et de leur classe d'âge, toutes implantations confondues	67
Figure 23 : Pourcentage d'observations incomplètes concernant le sexe et/ou l'âge en fonction de l'année d'observation.	68
Figure 24 : Succès reproducteur annuel apparent en fonction du temps.....	68
Figure 25 : Rapport du nombre de chevreaux par rapport au nombre de femelles observées en cours des sessions d'observation.	69
Figure 26 : Succès reproducteur moyen selon l'implantation.....	69
Figure 27 : Succès reproducteur apparent au cours du temps, toutes implantations et toutes saisons confondues	70
Figure 28 : Différence significative sur la probabilité moyenne d'observer une femelle suitée entre les différentes implantations, d'après le modèle GLM sélectionné	71
Figure 29 : Évolution de la probabilité d'observer une femelle suitée au cours du temps selon la saison d'observation.....	72
Figure 30 : Évolution de la probabilité d'observer une femelle suitée au cours du temps selon les implantations d'observation.....	72
Figure 31 : Taux de survie des chevreaux en fonction de leur année de naissance	73
Figure 32 : Taux de recrutement de la population de chamois dans l'ensemble du Parc national des Écrins selon l'année, entre 2003 et 2023.	73
Figure 33 : Proportion de mâles observés parmi les adultes chaque année au sein de l'ensemble du Parc national des Écrins.....	74
Figure 34 : Proportion de mâles parmi les adultes en fonction de l'implantation toutes années confondues	74
Figure 35 : Proportion de mâles parmi les adultes entre les différentes saisons d'observations.	74
Figure 36 : Évolution de la probabilité d'observer un mâle au cours du temps selon la saison d'observation.....	76
Figure 37 : Évolution de la probabilité d'observer un mâle au cours du temps selon les implantations d'observation.....	76
Figure 38 : Nombre de cadavres observés pour 100 chamois observés en fonction de l'année d'observation.....	77
Figure 39 : Nombre de cadavres pour 100 chamois observés en fonction de la saison d'observation	78
Figure 40 : Nombre de cadavres pour 100 chamois observés en fonction de l'implantation de l'observation.....	78
Figure 41 : Poids de chaque type de lésions dans les observations réalisées sur 1 104 lésions recensées.....	78

Figure 42 : Pourcentage d'individus observés avec une lésion (de tout type) en fonction de l'année d'observation.....	79
Figure 43 : Fréquence, en pourcentage d'observation d'une lésion sur un chamois en fonction de la saison d'observation (A) ou de l'implantation (B)	80
Figure 44 : Pourcentage moyen d'individus présentant une lésion observable à distance en fonction de la taille du groupe observé	80
Figure 45 : Pourcentage d'individus observés avec une lésion au sein des deux types de groupes : Groupes à majorité d'adultes mâles (« Mâle ») et groupes à majorité de femelles (« Femelle »).	81
Figure 46 : Diagramme en boîte de la taille des différents groupes de chamois composés en majorité de mâles (« Mâle ») et de femelles (« Femelle »)	81
Figure 47 : Pourcentage moyen de chamois observés avec un traumatisme en fonction de la saison (A) ou de l'implantation (B).....	83
Figure 48 : Pourcentage moyen de chamois observés avec une boiterie en fonction de l'implantation	84
Figure 49 : Pourcentage d'individus observés avec une lésion oculaire en fonction de l'année d'observation.....	84
Figure 50 : Pourcentage moyen de chamois observés avec une lésion oculaire en fonction de la saison (A) ou de l'implantation (B)	85
Figure 51 : Pourcentage d'individus observés avec une lésion oculaire en fonction de l'année d'observation dans l'Oisans et l'Embrunais.....	85
Figure 52 : Fréquence en pourcentage d'observation d'une lésion cutanée en fonction du temps.....	86
Figure 53 : Pourcentage moyen de chamois observés avec une lésion cutanée en fonction de la saison (A) ou de l'implantation (B)	87
Figure 54 : Pourcentage moyen de chamois observés avec une lésion respiratoire en fonction de la saison (A) ou de l'implantation (B)	87
Figure 55 : Pourcentage moyen de chamois observés avec une faiblesse en fonction de la saison (A) ou de l'implantation (B).....	88
Figure 56 : Succès reproducteur apparent en fonction du temps. Comparaison entre le protocole actuel (noir) et trois protocoles construits : "une année sur deux" (bleu), "sans l'été" (vert) et "50 chamois" (rouge).	110
Figure 57 : Proportion de mâles observés en fonction du temps. Comparaison entre le protocole actuel (noir) et trois protocoles construits : "une année sur deux" (bleu), "sans l'été" (vert) et "50 chamois" (rouge).	112

Liste des tableaux

Tableau 1 : Taille d'échantillon nécessaire pour estimer la prévalence d'une maladie dans une population considérée comme infinie (échantillon représentant moins de 10 % de la population), en fonction de la prévalence attendue et de la précision souhaitée de l'estimation. D'après Toma et al., (2018).	25
Tableau 2 : Résumé des caractéristiques (analyses disponibles et limites) de chaque type d'indice de présence dans le cadre d'une méthode de prélèvement non invasive. D'après Schilling et al., (2022) 34	
Tableau 3 : Ensemble des modèles les plus parcimonieux ($\Delta AICc < 200$) expliquant les variations de probabilité d'observer une femelle suivie.	70
Tableau 4 : Ensemble des modèles avec interactions les plus parcimonieux ($AICc < 200$) expliquant les variations de probabilité d'observer une femelle suivie.	71
Tableau 5 : Ensemble des modèles les plus parcimonieux ($AICc < 200$) expliquant les variations de probabilité d'observer un mâle.	75
Tableau 6 : Ensemble des modèles avec interactions les plus parcimonieux ($AICc < 200$) expliquant les variations de probabilité d'observer un mâle.....	75
Tableau 7 : Ensemble des modèles les plus parcimonieux ($AICc < 20$) expliquant les variations de probabilité d'observer une lésion selon les observations.	82
Tableau 8 : Effets sur le succès reproducteur apparent selon les protocoles testés, comparés au protocole d'origine.	109
Tableau 9 : Valeur des Odds-Ratio associés à l'effet année sur le succès reproducteur du protocole actuel et des protocoles testés.....	110
Tableau 10 : Ensemble des effets présents sur la proportion de mâles observée de chaque protocole testé, présence testée par rapport au protocole d'origine.	111
Tableau 11 : Tableau des effets présents sur la probabilité d'observer chaque type de lésion, ainsi que sur le succès reproducteur et la proportion de mâles, selon les différents protocoles.	114

Liste des abréviations

ACCA : Association Communale de Chasse Agréée

AICc : Akaike Information Criterion corrected

AWA : Animals Welfare Act

FAO : Food and Agriculture Organization

FDC : Fédération Départementale de Chasse

GLM : Generalized Linear Models

GLMM : Generalized Linear Mixed Models

LSA : Loi Santé-Animale

LVD : Laboratoire Vétérinaire Départemental

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OMSA : Organisation Mondiale de la Santé Animale

ONU : Organisation des Nations Unies

OR : Odds-Ratio

PNE : Parc National des Écrins

PNF : Parc Nationaux Français

UE : Union Européenne

UNEP : United Nation Environment Programme

WOAH : World Organization for Animal Health

INTRODUCTION

En octobre 2023, l'Organisation mondiale pour la santé animale (OMSA ou WOAH), ainsi que l'Organisation mondiale de la santé humaine (OMS), accompagnées des branches pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et l'environnement (UNEP) de l'Organisation des Nations Unies (ONU), ont réaffirmé l'importance de l'approche « One Health-une seule santé » pour gérer les risques sanitaires aux interfaces « humains-animaux-écosystèmes » (Organisation Mondiale de la Santé, 2023). Cette approche s'appuie sur une reconnaissance systémique des interconnexions entre la santé humaine, la santé animale (domestique et sauvage) et les écosystèmes. Elle est particulièrement pertinente dans le contexte de l'émergence de maladies infectieuses, notamment zoonotiques. En effet, environ 60 % des maladies infectieuses humaines actuelles sont des zoonoses, et 75 % des nouvelles maladies au cours des 30 dernières années sont d'origine animale (Jones et al., 2008). Dans ce cadre, le suivi sanitaire de la faune sauvage constitue un levier fondamental pour la surveillance épidémiologique intégrée. Il permet la détection précoce d'agents pathogènes à potentiel d'émergence ou zoonotique, le suivi de leur dynamique spatio-temporelle et l'identification des facteurs écologiques et anthropiques favorisant leur émergence. Cette surveillance s'appuie sur des approches interdisciplinaires mobilisant en particulier la médecine vétérinaire, l'écologie, la microbiologie, l'épidémiologie mais encore les sciences humaines et sociales. En intégrant les données issues de la faune sauvage dans les systèmes de veille sanitaire, l'approche « One Health » permet ainsi d'améliorer les capacités de prévention, d'alerte et de réponse aux menaces sanitaires émergentes, tout en contribuant à la compréhension des mécanismes de transmission inter-espèces dans un contexte de changement global.

Les Parcs Nationaux Français (PNF), qui sont parmi les principaux acteurs de la protection et du suivi de la faune sauvage en France, font également référence au concept « One Health » dans leur stratégie sanitaire pour 2017-2027 (Parcs Nationaux Français, 2017). Le Parc National des Écrins (PNE), membre des PNF, situé en régions Auvergne-Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur, est un acteur important du suivi sanitaire sur son territoire, grâce à plusieurs protocoles mis en place depuis les années 2000 (Orihel, 2019). Le parc est notamment à l'origine d'un suivi visuel du chamois *Rupicapra rupicapra* depuis 2003. Ce suivi sanitaire syndromique, basé sur des observations à la longue-vue, ne requiert aucune intervention invasive pour l'espèce et est, à notre connaissance, unique dans le monde de la faune sauvage. Entre 2003 et 2017, l'analyse des données du suivi a permis de mettre en évidence, entre autres, une diminution du succès reproducteur ou une disparité de fréquence d'observation des différentes lésions entre les implantations du parc (Orihel, 2019). Toutefois, l'établissement doit aujourd'hui faire face à un nombre croissant de missions, sans pour autant bénéficier de ressources financières et humaines supplémentaires. Cela suscite des interrogations sur le rapport coût/bénéfice du protocole, ainsi que sur la complexité de sa mise en œuvre sur le terrain actuellement.

Cette étude vise donc à répondre à deux objectifs. Le premier est de rassembler l'ensemble des données de terrain acquises au cours des 22 années de mise en œuvre du protocole, puis de les analyser afin de vérifier si les tendances observées en 2017 se confirment en 2024, ou si de nouvelles tendances émergent. Les résultats de cette analyse pourront permettre d'alimenter les discussions sur le rapport coût/bénéfice du protocole. Le second objectif consiste à envisager des évolutions du protocole et à les tester, en les comparant au protocole actuel, afin de répondre aux difficultés rencontrées sur le terrain, tout en maintenant une sensibilité suffisante.

Dans une première partie, nous décrirons le concept de surveillance sanitaire, ses objectifs, son organisation, ainsi que les différentes formes de surveillance existantes. Nous nous focaliserons ensuite sur les suivis syndromiques, une modalité de la surveillance sanitaire qui peut offrir de nouvelles opportunités. Nous évoquerons les méthodes de collecte de données non invasives, en examinant leur application dans les dispositifs de surveillance sanitaire et de recherche autour de la faune sauvage. À la suite de ces définitions, nous contextualiserons notre étude en présentant le Parc national des Écrins, l'espèce concernée : le chamois, ainsi que les différents protocoles de suivi de cette espèce mis en place au sein du Parc.

Dans la deuxième partie de cette thèse, nous analyserons statistiquement les données fournies par le protocole de suivi visuel du chamois, en nous appuyant sur deux grands axes : un axe démographique et un axe sanitaire. Suite à l'interprétation des résultats obtenus, nous attacherons à mettre en évidence les limites du protocole ainsi que les perspectives d'amélioration envisageables.

Enfin, dans une troisième partie, nous proposerons trois évolutions possibles du protocole actuel. Nous testerons la robustesse des résultats associés à ces propositions et discuterons de leur faisabilité.

PARTIE 1 : LA SURVEILLANCE SANITAIRE DU CHAMOIS DANS LE PARC NATIONAL DES ECRINS

I. La surveillance sanitaire, son application et ses limites

A. La surveillance sanitaire, un processus organisé autour d'un réseau

I.A.1. Définition et objectifs de la surveillance sanitaire

La surveillance sanitaire, aussi connue sous le nom de surveillance épidémiologique, peut être définie comme : « Méthode fondée sur des enregistrements permettant de suivre de manière régulière et prolongée l'état de santé ou les facteurs de risque d'une population définie, en particulier de déceler l'apparition de processus pathologiques et d'en étudier le développement dans le temps et dans l'espace en vue de l'adoption de mesures appropriées de lutte » (Toma *et al.*, 2018). Contrairement à Toma *et al.*, (2018), certains auteurs différencient la surveillance épidémiologique de la « veille sanitaire » (Dabis & Desenclos, 2017; Thacker *et al.*, 1989), la première s'intéressant aux maladies déjà présentes sur un territoire et la seconde à celles non déclarées sur le territoire.

La définition de la surveillance sanitaire par Toma *et al.*, (2018) met en évidence plusieurs grands concepts : la collecte de données sur un temps plus ou moins long, l'analyse et l'interprétation de ces données ainsi que la transmission des informations dans le but d'agir. Les objectifs de la surveillance sanitaire sont donc les suivants :

- En collectant des données, elle doit permettre de détecter l'apparition d'une nouvelle maladie dans une région donnée ou de détecter une épidémie lorsque cette maladie est déjà présente, dans le but de mettre en place des plans de lutte le plus rapidement possible ;
- Elle doit hiérarchiser les différentes maladies qui se produisent dans une zone géographique. Elle doit permettre d'estimer le risque sanitaire lié à chaque maladie, indépendamment les unes des autres, afin de définir des priorités de prise en charge ;
- Elle doit pouvoir caractériser au mieux chaque maladie, que ce soit en termes de distribution géographique ou d'évolution temporelle, afin de déterminer le plan de lutte approprié, si nécessaire. Les informations ainsi obtenues permettent à la fois d'évaluer la situation au niveau local, mais également de participer à l'acquisition de connaissances sur la maladie plus généralement.

Une fois des mesures de gestion mises en place, il est également essentiel de poursuivre la surveillance pour évaluer ces mesures afin d'observer si celles-ci atteignent leur objectif, comme par exemple, la décroissance de la prévalence de la maladie ciblée.

I.A.2. Fonctionnement et mise en place d'un réseau d'épidémiosurveillance

La surveillance épidémiologique (ou sanitaire) est un processus complexe qui exige des compétences dans divers domaines. Afin d'effectuer une surveillance efficace, il est nécessaire de collecter des données (photos, observations, échantillons), de les analyser, les rassembler/compiler, puis de les interpréter, pour ensuite élaborer un plan de gestion et le diffuser. Ainsi, dans la très grande majorité des cas, la surveillance épidémiologique s'organise autour d'un réseau d'épidémiosurveillance, qui peut se définir comme un « ensemble de personnes et d'organismes structurés pour produire des données pouvant être utilisées pour effectuer la surveillance sur un territoire donné d'une ou plusieurs maladies » (Toma *et al.*, 2018) .

La mise en place d'un protocole de suivi sanitaire par un réseau d'épidémiosurveillance s'effectue en plusieurs étapes. Tout d'abord, un système décisionnel, généralement constitué d'un groupe de personnes responsables de la gestion du territoire concerné, définit les objectifs du programme de surveillance sanitaire. Avec l'appui d'un service scientifique, ce groupe élabore un protocole de collecte des données. Ce protocole est ensuite transmis aux personnes chargées de la collecte sur le terrain. Une fois les données recueillies, elles sont rassemblées, standardisées, puis analysées avec le soutien du service scientifique, afin de les transformer en informations exploitables.

Ces informations sont ensuite évaluées par le système décisionnel, qui peut choisir de mettre en œuvre, ou non, un plan d'action. Enfin, la diffusion de ces informations et du plan d'action relève du système décisionnel, en collaboration avec un dispositif de diffusion spécifique. Toma *et al.*, (2018) distinguent deux types de diffusion d'informations :

- Une diffusion externe qui permet de sensibiliser des autorités sanitaires, des organismes voisins géographiquement ou encore le grand public sur l'état d'une maladie et les démarches mises en place ;
- Une diffusion interne (aussi nommée rétro-information (Dabis & Desenclos, 2017)), auprès de l'ensemble des acteurs du réseau. En plus de pouvoir donner un retour positif ou négatif, elle permet de maintenir une forme de motivation et d'intérêt chez les acteurs du réseau, notamment lorsque cette diffusion est effectuée de manière régulière.

B. Les différentes modalités de la surveillance sanitaire

I.B.1. Les différentes classifications possibles

L'ensemble des dispositifs de surveillance sanitaire poursuit des objectifs similaires et s'organise généralement sous forme de réseaux. Afin de distinguer les différents dispositifs les uns des autres, plusieurs terminologies peuvent être utilisées. La WOAHP distingue trois dichotomies possibles (World Organisation for Animal Health, 2017), que l'on retrouve aussi chez Dabis & Desenclos, (2017).

- On distingue surveillance programmée (auparavant dite active) et événementielle (auparavant dite passive). Si les données sont collectées de manière volontaire via des programmes de collecte de données, la surveillance est programmée. Au contraire, les données collectées de manière opportuniste, par exemple lors de la découverte d'un cadavre ou lorsqu'un animal est chassé, font partie de la surveillance événementielle. Dans

le cas des maladies rares, la surveillance événementielle perd en efficacité, due à la faiblesse du nombre de cas testés. Afin de maximiser les chances de détecter la maladie, il est donc essentiel de compléter la surveillance événementielle par une surveillance programmée, par exemple à travers des prélèvements sérologiques permettant d'estimer la présence d'une maladie rare au sein d'une population (Ouagal *et al.*, 2010) ;

- On distingue également la surveillance générale (non spécifique) de la surveillance ciblée (spécifique). La surveillance générale ne se focalise pas sur une maladie ou un groupe de maladies en particulier, mais s'intéresse au statut sanitaire global d'une population. À l'inverse, la surveillance ciblée oriente la collecte des données vers une maladie spécifique ou un ensemble défini de maladies. La surveillance événementielle est le plus souvent générale, tandis que la surveillance programmée est généralement ciblée ;
- On distingue enfin les protocoles de surveillance qui s'appliquent à l'ensemble d'une population, lorsque la collecte de données concerne tous les individus, de ceux qui reposent sur l'étude d'un échantillon de cette population. Cette seconde approche est souvent suffisante pour évaluer le statut sanitaire d'une population, à condition que l'échantillon soit représentatif. Elle permet d'estimer la prévalence¹ réelle d'une maladie à partir des données collectées. Le *Tableau 1* indique le nombre d'individus à observer dans une population considérée comme infinie (échantillonnage inférieur ou égale à 10% de la population totale), en fonction du niveau de précision souhaité pour l'estimation de la prévalence.

Toma *et al.* (2018) distinguent également :

- L'aire géographique couverte par ces réseaux (local, national, supranational) ;
- La situation épidémiologique de la maladie (présente ou absente du territoire surveillé).

Précision relative	Prévalence attendue (p. cent)														
	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
10 p. cent	38 032	18 824	12 422	9 220	7 300	3 458	2 177	1 537	1 153	897	714	577	470	385	
20 p. cent	9 508	4 706	3 106	2 305	1 825	865	545	385	289	225	179	145	118	97	
30 p. cent	4 226	2 092	1 381	1 025	812	385	242	171	129	100	80	65	53	43	
40 p. cent	2 377	1 177	777	577	457	217	137	97	73	57	45	37	30	25	
50 p. cent	1 522	753	497	369	292	139	88	62	47	36	29	24	19	16	
60 p. cent	1 057	523	346	257	203	97	61	43	33	25	20	17	14	11	
70 p. cent	777	385	254	189	149	71	45	32	24	19	15	13	11	10	
80 p. cent	595	295	195	145	115	55	35	25	20	17	14	13	11	10	
90 p. cent	500	250	167	125	100	50	33	25	20	17	14	13	11	10	
100 p. cent	500	250	167	125	100	50	33	25	20	17	14	13	11	10	

Tableau 1 : Taille d'échantillon nécessaire pour estimer la prévalence d'une maladie dans une population considérée comme infinie (échantillon représentant moins de 10 % de la population), en fonction de la prévalence attendue et de la précision souhaitée de l'estimation. D'après Toma *et al.*, (2018).

La plupart des protocoles de surveillance peuvent donc être décrits par ces cinq classifications. Nous allons cependant plus spécifiquement nous intéresser à un type de surveillance particulier, permettant une surveillance générale d'une population, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir les laboratoires et qui ne nécessite pas forcément une manipulation des individus : la surveillance syndromique.

¹ Proportion d'individu atteint par une maladie au sein d'une population

I.B.2. La surveillance syndromique, une modalité particulière de surveillance sanitaire

I.B.2.a. Définitions et objectifs

Parmi les différentes manières de réaliser une surveillance sanitaire, la surveillance syndromique, utilisée depuis le début des années 90, s'est beaucoup développée à partir des années 2010 (Shapiro *et al.*, 2025). Concernant les maladies animales, la définition de cette surveillance n'est pas consensuelle : entre 1998 et 2010, 36 définitions différentes ont vu le jour (Katz *et al.*, 2011). Cependant, en santé humaine, on trouve une définition plus largement partagée : « La surveillance syndromique est une forme de surveillance qui génère des informations de santé publique grâce à la collecte, l'analyse et l'interprétation de données sanitaires générales. Classiquement ces données enregistrées sont des symptômes ou signes cliniques non spécifiques rapportés par les patients ou les praticiens plutôt que des cas confirmés microbiologiquement ou cliniquement » (Smith *et al.*, 2019). On peut aisément appliquer cette définition à la pratique vétérinaire sur la faune sauvage en indiquant que les données sanitaires seront les signes cliniques observables et non des analyses de laboratoire, et que ces signes sont rapportés par les observateurs de terrain.

Katz *et al.*, (2011) présentent la surveillance syndromique comme un outil qui permet :

- Une détection précoce des maladies émergentes grâce à l'observation de tendances lésionnelles dont l'augmentation motive la mise en place d'une investigation plus approfondie ;
- Un recueil de données « pré-diagnostiques », car ces syndromes sont observés en amont du diagnostic par le laboratoire. Ce qui permet d'alimenter la banque de données d'une maladie ;
- De suivre l'évolution d'une épidémie en cas de signes spécifiques, et d'observer l'efficacité des potentielles mesures de lutte mises en place ;
- De surveiller la recrudescence d'une épidémie. En effet, après stabilisation d'une épidémie dans une zone géographique, la surveillance syndromique peut permettre de définir un seuil de présence en dessous duquel une maladie est tolérée dans une population et de surveiller tout dépassement de ce seuil ;
- De renforcer la surveillance dite « traditionnelle » (non syndromique). Les auteurs précisent que la surveillance syndromique ne doit pas se substituer aux méthodes traditionnelles mais fonctionner ensemble.

Le caractère syndromique ou non d'un système de surveillance sanitaire constitue ainsi une nouvelle dichotomie, indépendante des classifications précédemment évoquées, et venant s'ajouter à celles-ci.

I.B.2.b. Opportunités et limites de la surveillance syndromique

La surveillance syndromique peut apparaître comme une approche attrayante pour les dispositifs de suivi sanitaire de la faune sauvage. Elle présente notamment l'avantage de ne pas nécessiter de tests de dépistage, souvent coûteux, logiquement limités en disponibilité, et parfois absents pour certains agents pathogènes exotiques ou pour certaines espèces hôtes (Warns-Petit *et*

al., 2009). En outre, elle permet une prise en compte large des agents pathogènes potentiels, sans devoir les définir *a priori*, ce qui en fait un outil réactif dans des contextes de faible connaissance épidémiologique préalable. Par ailleurs, elle peut offrir une réactivité supérieure à celle de la surveillance événementielle, dans laquelle un délai peut exister entre l'apparition des symptômes, leur signalement, et la confirmation en laboratoire (Dórea *et al.*, 2011). Contrairement à la surveillance sanitaire « traditionnelle » (non-syndromiques), qui nécessite régulièrement la capture voire l'abattage d'animaux pour prélever des données, la surveillance syndromique ne nécessite pas forcément de contact rapproché et de protocole de prélèvement de données invasif.

Cependant, plusieurs limites méthodologiques restreignent l'efficacité de cette approche comparativement aux systèmes de surveillance « traditionnels ». D'une part, les maladies chez les animaux sauvages se manifestent fréquemment par des tableaux cliniques peu spécifiques et multifactoriels, ce qui complique l'attribution d'un syndrome observé à un agent étiologique unique (Wobeser, 2007). Cette faible spécificité clinique nuit à la capacité de suivi spatio-temporel précis des agents pathogènes sur le terrain. D'autre part, comme le soulignent Dórea *et al.* (2011), chaque système de surveillance syndromique possède ses propres indices de détection et d'interprétation des données (présence ou non du syndrome), ce qui rend impossible la mutualisation et la comparaison de données provenant de différents systèmes. De plus au sein d'un même système, l'interprétation d'un syndrome peut varier d'un observateur à l'autre. Par ailleurs, dans le cadre d'une surveillance syndromique événementielle, certains observateurs peuvent manquer de connaissances sur certains syndromes, en particulier, en l'absence de contact préalable avec les symptômes recherchés (Vourc'h *et al.*, 2006). L'ensemble de ces limites peut donc ralentir la transmission des informations et grandement impacter la qualité des données recueillies.

Ainsi, si la surveillance syndromique constitue un outil complémentaire prometteur dans une stratégie intégrée de type « One Health », elle ne saurait se substituer à des dispositifs confirmatoires ou analytiques plus robustes, et nécessite un encadrement rigoureux pour limiter les biais et interprétations erronées.

Nous avons, par ailleurs, souligné que la surveillance syndromique ne nécessite pas nécessairement la mise en œuvre de protocoles invasifs ni de contact rapproché avec les individus. Il s'agit là d'un aspect essentiel sur le plan éthique, et cela prend une importance encore plus grande lorsqu'il s'agit de faune sauvage, habituellement non manipulée.

C. La surveillance sanitaire non-invasive en faune sauvage

I.C.1. Caractérisation d'une méthode non invasive

La surveillance non invasive est une surveillance qui utilise des méthodes non invasives lors de sa collecte de données, car c'est la seule étape de la surveillance pouvant être invasive. Selon Studdert *et al.*, (2021), le terme invasif peut désigner « une méthode de diagnostic qui nécessite une ponction ou une incision de la barrière cutanée ou qui implique l'insertion d'un corps étranger au sein du corps du patient ». Cependant, cette définition prend seulement en compte la blessure physique d'une méthode, et non l'impact psychique, comme le stress qu'elle peut provoquer.

Dans le monde de la recherche, une « procédure » est définie comme : « toute utilisation, invasive ou non (d'un point de vue physique), d'un animal à des fins expérimentales ou à d'autres fins scientifiques, dont les résultats sont connus ou inconnus, ou à des fins éducatives, susceptible de causer à cet animal une douleur, une souffrance, une angoisse ou des dommages durables équivalents ou supérieurs à ceux causés par l'introduction d'une aiguille conformément aux bonnes pratiques vétérinaires. » (Directive 2010/63/UE -- La protection des animaux utilisés à des fins scientifiques, 2010). Ainsi cette définition élargit la mesure du caractère invasif d'une méthode à tous les facteurs de diminution du bien-être physique ou mental (tel que le stress) de l'animal.

Cela signifie que, dès la contention de l'animal, qu'elle soit physique ou chimique, un protocole peut être à l'origine d'un stress ou d'une angoisse sur un animal non préparé (Heistermann, 2010; Schaefer et al., 2010; Schilling et al., 2022). Le travail avec la faune sauvage (non-captive) amène comme difficulté l'impossibilité de réaliser de l'entraînement aux soins ou du renforcement positif, permettant de réduire les désagréments dus aux manipulations (Cloutier & Newberry, 2008). Les méthodes non invasives, pour la faune sauvage non captive, ne nécessitent alors pas de contention, ou de contact rapproché à l'origine d'un stress important.

I.C.2. Limites des protocoles invasifs

Les méthodes de surveillance invasives, telles que les prélèvements sanguins, la pose de balise ou l'examen clinique complet, nécessitent un contact rapproché et prolongé avec les individus, généralement par le biais d'une capture chimique (télé-anesthésie) et/ou mécanique (filet, piège). Les méthodes invasives augmentent les risques de mortalité pendant et après la capture, en particulier, en raison des risques élevés de blessure causées par la capture mécanique, d'automutilation en se débattant, de complications anesthésiques, ou de myopathie de capture due au stress (Breed et al., 2019; Jacques et al., 2009). Ces risques concernent aussi des espèces non-cibles, en cas de capture non-sélective, à l'aide d'un piège par exemple (Sikes & Paul, 2013). Par ailleurs, les méthodes invasives peuvent entraîner une diminution significative de l'activité des individus capturés. Par exemple, une étude menée sur des bouquetins a démontré une réduction des déplacements pendant deux jours après la capture (Brivio *et al.*, 2015). Lorsqu'elles sont répétées, ces captures et leurs conséquences (stress, blessures) peuvent altérer l'état général des animaux, se traduisant notamment par une perte de poids et de taille par rapport aux normes de leur espèce. Ce phénomène a été observé chez deux espèces d'ours capturées à plusieurs reprises aux États-Unis et au Canada (Cattet *et al.*, 2008). Ces effets peuvent survenir malgré des mesures mises en place pour limiter le stress (tireur embusqué, rapidité des interventions, absence de déplacement des individus etc.).

Le stress induit par la contention des individus capturés impacte également les informations recueillies en interférant avec les paramètres biologiques étudiés, notamment les paramètres sanguins (en particulier les niveaux de cortisol) (Morau, 2015; Schaefer *et al.*, 2010), mais aussi les paramètres hépatiques (Dziki-Michalska *et al.*, 2024), ou le taux de leucocytes (Montes *et al.*, 2004).

Par ailleurs, les méthodes invasives, lorsque l'intervention n'est pas ponctuelle, impactent non seulement l'individu, mais aussi la population. La modification de l'activité et de l'état de stress d'un individu modifie les comportements reproducteurs, la hiérarchie ou encore la compétitivité intra et interspécifique (Bekoff, 2002; Sikes & Paul, 2013). En cas de procédure stressante prolongée, telle qu'une translocation, la population peut être impactée par la résurgence d'agents pathogènes latents,

favorisée par une immunosuppression induite par l'état de stress, chez un ou plusieurs individus (Hing et al., 2016).

De plus, la réalisation de protocoles invasifs sur les animaux pose de nombreuses questions éthiques (Bekoff, 2002; Draper & Bekoff, 2013; McHamon *et al.*, 2012; Paquet & Darimont, 2010). Ces protocoles sont source de débats opposant :

- Les défenseurs d'une éthique pathocentrée (ou biocentrée) (Larrère, 2010), pour lesquels le bien-être de l'individu est la priorité et la souffrance de celui-ci pour l'obtention d'informations bénéfiques à la population n'est pas toujours acceptable ;
- Les défenseurs d'une éthique écocentrée, prônant une protection de l'écosystème dans son ensemble et pour lesquels, la souffrance d'un individu reste acceptable si elle contribue au bien commun de la population.

I.C.3. Évolution de l'utilisation des méthodes non invasives sur la faune sauvage

Dans cette partie, nous intégrerons, en plus des données de la surveillance sanitaire, les données issues de la recherche scientifique sur la faune sauvage non-captive, dans la mesure où ces deux domaines sont étroitement liés : d'un côté, la surveillance sanitaire peut produire des données exploitables à des fins de recherche (Schwantes *et al.*, 2025), de l'autre, un organisme de recherche peut tout à fait être intégré à un réseau d'épidémiosurveillance (Pepin *et al.*, 2025; Plateforme ESA, 2018). Une des différences entre ces deux domaines réside dans la nécessité d'établir une Demande d'Autorisation de Projet pour un protocole de recherche, qui vise à répondre à une question précise, alors que ce n'est pas nécessaire dans le cadre de la surveillance sanitaire.

I.C.3.a. Une augmentation du nombre de protocoles de recherche utilisant des méthodes non invasives

Que ce soit dans le but de réduire leur impact sur les populations étudiées, de s'adapter à l'évolution des normes sociales, ou encore grâce aux avancées scientifiques ayant permis le développement de nouveaux protocoles, les pratiques non invasives de collecte de données, évoquées dès la fin du XX^e siècle (Cooper, 2002), suscitent, depuis une dizaine d'années, un intérêt croissant au sein de la communauté scientifique travaillant sur la faune sauvage (Schilling *et al.*, 2022). Cela se traduit par une augmentation du nombre de revues scientifiques faisant référence à une collecte de données non invasives (*Figure 1*). Cependant, en termes de proportion, les méthodes non invasives restent encore sous-utilisées, soit par manque de connaissance sur leur existence, par habitude ou juste, quand les données à recueillir le sont nécessairement avec un protocole invasif, non substituable. Une étude bibliographique recensant les pratiques utilisées dans la recherche sur différentes espèces sauvages montre que les méthodes invasives demeurent majoritaires en termes de proportion, malgré l'existence de protocoles non invasifs disponibles dans de nombreux domaines (Zemanova, 2019).

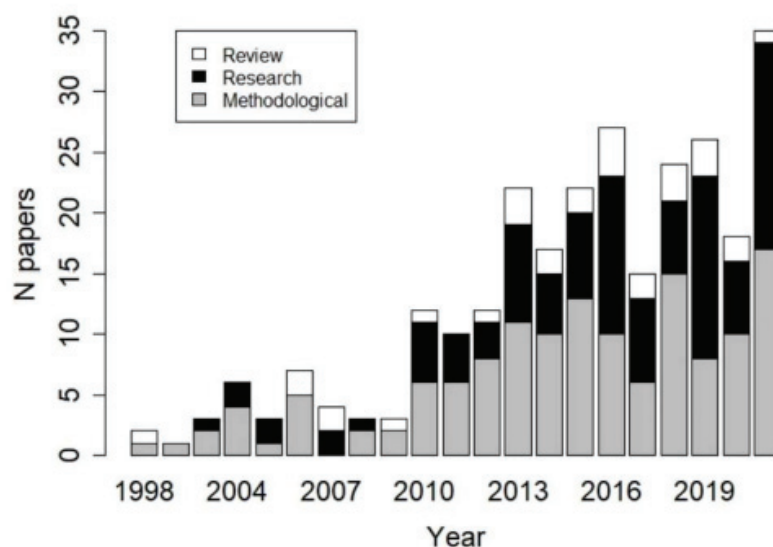


Figure 1 : Nombre d'articles scientifiques publiés par an entre 1998 et 2021, évoquant des pratiques de prélèvement non invasives sur la faune sauvage, D'après Schilling et al., (2022)

Dans l'étude de Zemanova (2019), un écart significatif entre les différentes espèces est observable en ce qui concerne la proportion des méthodes utilisées (*Figure 2*). Chez les rongeurs, les mollusques et les amphibiens étudiés dans le cadre de la recherche sur la faune sauvage, les méthodes à caractère fortement invasif (voire létal) restent largement majoritaires. À l'inverse, les carnivores font davantage l'objet de protocoles reposant sur des prélèvements non invasifs. Une grande disparité est aussi observée dans l'étude de Schilling *et al.* (2022), où les articles évoquant des prélèvements non invasifs concernent 75 % du temps des mammifères. Cette différence peut s'expliquer, d'une part, par la difficulté logistique à capturer certaines espèces comme les carnivores, et d'autre part, par les disparités réglementaires en matière de protection des animaux utilisés à des fins scientifiques (Zemanova, 2019).

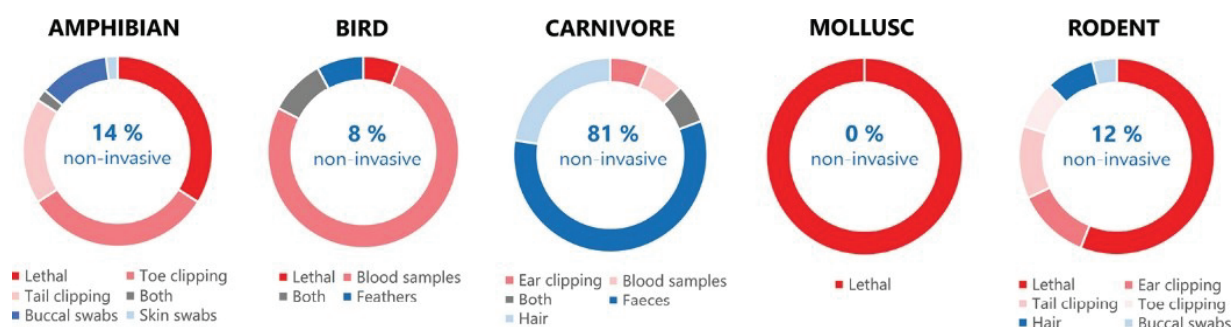


Figure 2 : Répartition des différentes méthodes utilisées pour étudier la génétique de différentes espèces, tirée des études publiées entre 2017 et 2018. D'après Zemanova (2019).

La législation en matière de protection animale a évolué en parallèle des avancées scientifiques sur la capacité des animaux à ressentir la douleur. C'est au milieu du XXe siècle, avec la reconnaissance scientifique de la douleur chez les animaux, que les premiers textes réglementaires encadrant l'expérimentation animale ont été adoptés. (Directive 86/609/CEE -- Le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres relatives à la protection des animaux utilisés à des fins expérimentales ou à d'autres fins scientifiques, 1986). Ces dispositions ont progressivement été renforcées, à la fois sous l'effet des progrès scientifiques dans la compréhension de la douleur animale, et en réponse à une évolution des considérations éthiques. Par exemple, aux

États-Unis, l'Animal Welfare Act (AWA), qui encadre l'utilisation des animaux en recherche, ne concernait, au départ, que les animaux à « sang chaud » (principalement les mammifères et les oiseaux), mais sa portée a ensuite été étendue à l'ensemble des vertébrés. En revanche, les invertébrés restent exclus de cette protection (Mulcahy, 2017). Dans l'Union Européenne (UE), la situation reste aujourd'hui relativement similaire, à l'exception notable des céphalopodes, qui sont protégés au même titre que les vertébrés depuis 2010 (Directive 2010/63/UE -- La protection des animaux utilisés à des fins scientifiques, 2010). Ces textes législatifs restent susceptibles d'évoluer, notamment à la lumière de nouvelles données scientifiques. Depuis 2022, des travaux ont commencé à reconnaître la possibilité que certains insectes puissent également ressentir la douleur (Gibbons *et al.*, 2022). Cette reconnaissance pourrait, à terme, ouvrir la voie à leur intégration dans les dispositifs de protection animale.

Les méthodes non invasives de collecte de données suscitent donc un intérêt croissant dans le milieu de la recherche sur la faune sauvage, bien qu'elles restent encore minoritaires par rapport à l'utilisation de méthodes invasives. Dans le domaine de la recherche, la règle des 3R propose des grandes lignes directrices visant à faire évoluer les pratiques vers davantage de prise en compte des règles éthiques et de respect du bien-être animal.

I.C.3.b. La règle des 3R

L'expérimentation animale, bien que pratiquée depuis l'Antiquité, a connu un tournant majeur avec la publication de *L'Introduction à la médecine expérimentale* de Claude Bernard (Bernard, 1865). À cette époque, la notion de bien-être animal était largement négligée. Ce n'est qu'au début du XX^e siècle, avec la reconnaissance progressive de l'animal comme un « être doué de sensibilité », que sont apparues les premières réflexions éthiques encadrant l'usage des animaux en recherche. C'est dans ce contexte qu'est née la méthode des 3R : *Remplacement*, *Réduction* et *Raffinement* (Crettaz von roten, 2019). Cette méthode, fondée par William Russell et Rex Burch, propose une ligne directrice pour améliorer les protocoles dans le sens du bien-être animal (Russel & Burch, 1992). Cette méthode combine trois principes :

- Le remplacement : privilégier, lorsque cela est possible, des modèles alternatifs aux animaux vivants ;
- La réduction : utiliser le plus petit nombre d'animaux possible, tout en garantissant une sensibilité suffisante des résultats ;
- Le raffinement consiste à utiliser les méthodes qui minimisent la douleur et le stress des animaux manipulés.

Ces principes orientent depuis plusieurs décennies la recherche biomédicale et expérimentale impliquant des animaux. Dans de nombreux pays, notamment en Europe, la méthode des 3R est désormais intégrée à la réglementation encadrant l'utilisation des animaux à des fins scientifiques (Directive 2010/63/UE -- La protection des animaux utilisés à des fins scientifiques, 2010). Cependant, les outils adaptés à la recherche en laboratoire peuvent rencontrer des difficultés à être mis en place lorsqu'il s'agit de faune sauvage non captive.

I.C.3.c. Application des 3R aux protocoles impliquant de la faune sauvage non captive

L'application de méthode de changement de protocole, notamment via la méthode des 3R fait face à plusieurs obstacles (Sikes & Paul, 2013) :

- Chaque protocole impliquant la faune sauvage est en effet unique, en raison de la variété des espèces, des individus, des contextes écologiques et financiers, des objectifs de recherche ainsi que des contraintes de terrain. Cela rend notamment difficile l'application du premier "R", le remplacement, tel que proposé par Russell et Burch, puisque, malgré quelques études basées sur des modèles (Koch Liston *et al.*, 2024; Meehan *et al.*, 2018), il est impossible de se passer entièrement d'animaux pour certaines études ;
- Le second principe, celui de la réduction, est en revanche plus aisément applicable. Dans le domaine de la faune sauvage, la difficulté d'accès aux individus ou leur statut protégé impose souvent, de fait, une réduction du nombre d'animaux manipulés. Le défi est parfois inverse : obtenir suffisamment d'individus pour obtenir des résultats significatifs. Cela peut être compensé par une collecte de données à long terme.
- Enfin, le troisième principe, celui du raffinement (ou perfectionnement), qui vise à adapter les méthodes pour minimiser le stress, la douleur et l'impact sur les individus, est celui qui présente le plus grand potentiel de mise en œuvre dans le contexte de la faune sauvage. C'est pourquoi il constituera l'objet de la suite de cette partie, à travers l'exploration des opportunités actuelles pour développer des pratiques de suivi sanitaire moins invasives et plus respectueuses du bien-être animal.

L'application de la règle des 3R est inscrite dans la loi pour son utilisation en recherche. Ainsi, la recherche impliquant la faune sauvage non captive ne déroge pas à cette règle. Cependant, les suivis sanitaires de la faune sauvage, qui ne sont pas régis par la LSA, ne sont pas obligés de l'appliquer. Néanmoins, il est fortement conseillé de s'en inspirer pour améliorer les protocoles mis en place dans ce cadre.

I.C.3.d. Les différents protocoles de collecte de données non invasifs

> Étude des indices de présence

Les indices indirects de présence correspondent aux échantillons ou signes laissés par les animaux dans leur environnement, permettant de détecter leur existence ou leur activité sans les observer ou les manipuler directement (Schilling *et al.*, 2022). Les échantillons récoltés peuvent être des fèces, des urines, des poils, de la salive (prélevée, par exemple, sur des objets mâchés (Smiley Evans *et al.*, 2016)). Outre le fait de donner des informations sur la dynamique spatio-temporelle d'une population, ou pour estimer son abondance (Supartono *et al.*, 2021), ces éléments peuvent être de précieux indices pour renseigner sur le statut sanitaire de la population (Schilling *et al.*, 2022).

Les fèces restent les échantillons les plus fréquemment utilisés (*Figure 3*) et une proportion importante d'études scientifiques les utilise comme support. Cela s'explique par leur facilité de collecte et par la richesse des informations qu'elles peuvent fournir. En plus des données sur la dynamique de population (présence d'un individu), les fèces permettent d'obtenir des informations précieuses sur divers agents pathogènes. Certains agents pathogènes peuvent ainsi être détectés à travers des

analyses coproscopiques (parasites), la recherche d'antigènes ou encore grâce à la présence d'ADN dans les échantillons (parasites, virus, bactéries). Les études moléculaires permettent alors une identification précise de l'agent, sans nécessiter de prélèvement sanguin. Les selles renferment une multitude d'informations sur l'individu prélevé, comme son régime alimentaire ou encore les substances toxiques ingérées. Les analyses moléculaires peuvent nous fournir la carte génétique de l'individu, ainsi que des informations sur sa physiologie en mesurant le taux de cortisol ou d'hormones stéroïdiennes.

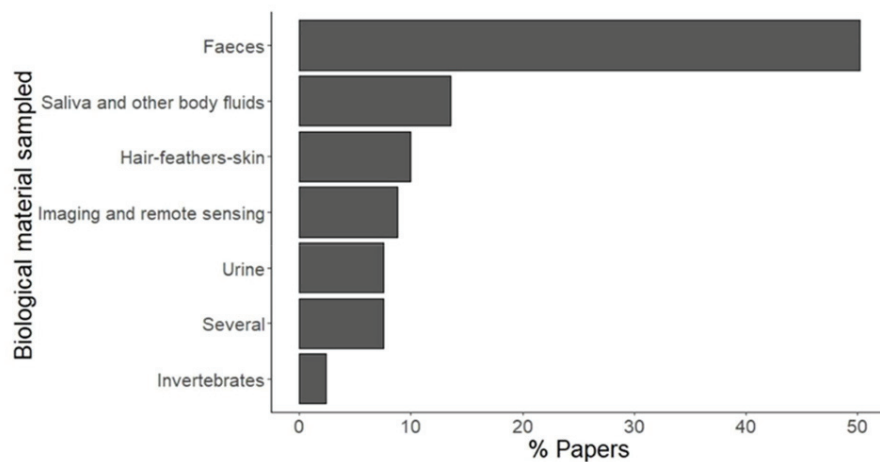


Figure 3 : Types de prélèvements utilisés entre 1998 et 2021, dans des articles concernant des pratiques de prélèvement non invasives sur la faune sauvage. D'après Schilling et al. (2022).

Bien que les selles soient, comme nous l'avons évoqué, des prélèvements faciles à collecter, et dont il est possible de faciliter la récupération à l'aide de traceurs GPS ou encore de bâches sous les nids pour les espèces arboricoles, leur analyse présente quelques limites. Elles peuvent être faussées par des contaminations environnementales, ou encore être non interprétables lorsque le délai entre le moment de l'excrétion et la récolte est trop important : par exemple, la quantité de glucocorticoïdes dans les selles varie en fonction des conditions météo subies par les selles (Millsbaugh & Washburn, 2004). Il est donc recommandé de récupérer les échantillons le plus tôt possible après leur excrétion, quand cela est possible. La conservation des échantillons dépend du type d'analyse recherchée (température ou matière de conservation) : une coproscopie demande une conservation à 4 °C pour préserver les larves et œufs, tandis qu'une analyse moléculaire requiert une température de conservation de -20 °C pour figer les mouvements de molécules. La température optimale de conservation complexifie le transport entre le lieu de prélèvement et le lieu de conservation, surtout dans des zones parfois isolées.

De nombreux autres types d'échantillons peuvent également être collectés, tels que l'urine, la salive, les fluides biologiques, les squames ou encore les poils. Les informations qu'ils peuvent fournir, ainsi que les limites liées à leur collecte ou à leur analyse, sont globalement similaires à celles rencontrées avec les fèces, bien que certaines spécificités subsistent. Schilling *et al.* (2022) proposent une synthèse des apports potentiels de chaque type d'échantillon ainsi que des difficultés associées à leur utilisation, que nous résumons dans le *Tableau 2*.

Un autre type de prélèvement complémentaire, peut être réalisé de manière non invasive : il s'agit de la prise d'images. Cette méthode permet d'obtenir des informations supplémentaires, et peut également constituer une alternative aux limites posées par la contamination des traces. Nous présenterons deux approches : la première, la plus répandue, est le piégeage photographique ; la seconde repose sur les observations directes.

Indice de présence	Analyses réalisables										Limites
	Agents pathogènes			Toxiques		Molécules				Carte génétique	
	Parasites	Bactéries	Virus	Métaux lourd	Divers	Cortisol	Hormones sexuelles	Hormones thyroïdiennes	Marqueurs immunitaires		
Fèces	X	X	X		X	X	X		X	X	- Difficulté d'attribuer un fèces à un individu - Difficulté de conservation des échantillons - Contamination de l'environnement - Délai de récupération de l'échantillon
Urine	X	X	X			X	X	X	X		- Difficulté d'attribuer un prélèvement à un individu - Contamination de l'environnement - Délai de récupération de l'échantillon
Salive (récupérée dans l'environnement)		X	X			X				X	- Contamination de l'environnement - Quantité faible d'agent pathogène excrétée - Nécessité d'objet pour collecter la salive
Souffle des animaux marins		X	X			X	X				- Dilution variable selon les individus
Mucus (amphibiens et poissons)	X	X				X					- Collection compliquée : Nécessité d'une contention (on perd alors le caractère non invasif de la méthode) ou collectée dans une eau propre (mais dilution et contamination à prendre en compte)
Poils	X	X	X	X		X				X	- Pour l'instant, peu d'études sur animaux vivants sans contention, malgré la disponibilité de pièges pour récolter les poils. - Risque de contamination - Concentration faible des agents recherchés nécessitant une quantité assez importante d'échantillons

Tableau 2 : Résumé des caractéristiques (analyses disponibles et limites) de chaque type d'indice de présence dans le cadre d'une méthode de prélèvement non invasive. D'après Schilling et al., (2022)

> Le piégeage photographique

Le piégeage photographique ou vidéo consiste à utiliser des appareils photo à déclenchement automatique, qui prennent un cliché ou une vidéo dès que du mouvement est détecté devant l'objectif. La photo réalisée peut être en couleur, si elle est prise de jour, ou en noir et blanc grâce à un flash infrarouge si elle est prise de nuit. Son utilisation pour la détection de faune sauvage s'est beaucoup répandue, notamment grâce au développement technologique des appareils utilisés (Burton *et al.*, 2015; Rovero *et al.*, 2013).

Le piégeage photographique, qui permet d'observer un nombre important d'espèces différentes, des mammifères aux reptiles, en passant par les oiseaux, est aujourd'hui utilisé dans toutes les régions du monde (Steenweg *et al.*, 2017). Ces clichés sont importants pour l'observation d'espèces rares ou difficilement observables. Pour les autres espèces, les informations tirées des captures photographiques ou vidéo peuvent servir, selon le protocole d'analyse, au suivi démographique des espèces. Une estimation de l'abondance peut être réalisée en utilisant la fréquence des piégeages photographiques, si le protocole le permet (nombre et disposition des pièges) (J. M. Rowcliffe *et al.*, 2008).

Outre les suivis démographiques, si l'animal est situé à une distance suffisamment proche de l'objectif (Muneza *et al.*, 2019), les captures photographiques donnent des indications sur ses caractéristiques (âge, sexe), son comportement et son état clinique. Ces données sont de précieuses informations pour la surveillance épidémiologique et la recherche sur des agents pathogènes. Les principaux troubles étudiés sont les affections cutanées, tels que la gale (Charrier *et al.*, 2019; Muneza *et al.*, 2019; Pisano *et al.*, 2019). L'étude de Charrier mentionne également des boiteries et troubles nerveux observés sur vidéo. En dehors de ces atteintes cutanées ou nerveuses, peu d'études rapportent d'autres signes cliniques. C'est le cas, par exemple, de l'étude sanitaire du lynx boréal *Lynx lynx* en France (Lenglin *et al.*, 2025), où une analyse rétrospective des images et vidéos, issues de piégeage photographiques entre 1997 et 2020, a permis d'observer une grande diversité de lésions, à savoir :

- Troubles cutanés : Changement de couleur de peau, alopecie, plaies, prurit² ;
- Troubles comportementaux : Abattement marqué, absence de fuite ;
- Troubles digestifs : Vomissements ;
- Troubles de l'état corporel : Abdomen gonflé, cachexie³ ;
- Troubles locomoteurs : Boiterie, amputations, fonte musculaire, fracture ;
- Malformations ;
- Troubles nerveux : Ataxie⁴ ;
- Troubles oculaires : Conjonctivite, œil blanc, procidence de la troisième paupière, épiphora⁵ ;
- Troubles respiratoires : Jetage, toux, respiration rapide.

L'ensemble de ces lésions a été présenté sous forme d'un atlas photographique (Lenglin, 2024).

² Démangeaison intense

³ Perte de poids et fonte musculaire sévère

⁴ Troubles de l'équilibre

⁵ Ecoulement excessif de larmes

Cependant, l'analyse des images est très dépendante de la qualité des clichés (Lenglin, 2024). De plus, des lésions minimales ne seront pas toujours mises en évidence par un observateur, vétérinaire ou non. Pour pallier au problème de sensibilité de la méthode, il est possible de combiner piégeage photographique et vidéo. Cependant, les dispositifs permettant l'enregistrement de vidéos sont plus coûteux et plus énergivores (Prasad *et al.*, 2010).

Le piégeage photographique présente certaines difficultés, notamment en ce qui concerne le réglage des appareils. Par exemple, la distance de détection varie en fonction de la taille des individus et de la visibilité, elle-même influencée par les conditions météorologiques. Plus un animal est corpulent, plus la distance à laquelle l'appareil peut se déclencher est importante. Aujourd'hui, peu d'études incluant des pièges photographiques s'intéressent aux petits animaux. Toutefois, Rowcliffe *et al.* (2011) ont pu estimer une détectabilité pour de petits mammifères, comme des souris de 100 g jusqu'à 1,29 m de l'objectif. À l'inverse, un temps pluvieux réduit la distance maximale de détection (Rowcliffe *et al.*, 2011). D'autre part, des espèces aux mouvements rapides, comme les oiseaux, présentent davantage de difficulté de détection.

Le choix de l'emplacement du piège photographique dépend de l'objectif de l'étude. Certains protocoles optent pour des endroits aléatoires, d'autres maximisent les probabilités de trouver des individus en les positionnant sur des zones de passage, d'abreuvement ou de nourrissage (Rovero *et al.*, 2013). Par ailleurs, la quantité de pièges déployés et leur répartition spatiale sont des éléments essentiels à considérer. Une aire géographique couverte par un nombre d'appareils insuffisant, au regard de l'aire de vie de l'espèce étudiée, complique l'estimation de l'abondance (Rovero *et al.*, 2013). L'installation de la caméra ainsi que son entretien est à l'origine de perturbations du milieu de vie de la faune sauvage, malgré des précautions quant à l'horaire des interventions. De plus, certaines études mettent en évidence des réactions provoquées par le flash infrarouge de l'appareil (Gibeau & McTavish, 2009).

De plus, si l'appareil est assez sensible pour une espèce cible, il peut également se déclencher pour d'autres espèces qui passent devant l'objectif. Cela peut représenter un avantage lorsqu'on cherche à estimer la biodiversité de la faune dans son ensemble, mais devient un inconvénient lorsqu'on souhaite se concentrer sur une seule espèce, car cela complique et ralentit le tri des données (Burton *et al.*, 2015).

Pour finir, la prise de clichés de personnes non informées de la présence du dispositif pose des questions éthiques et réglementaires (Sharma *et al.*, 2020).

> L'observation directe

Les observations directes sont très utilisées pour le suivi démographique des populations, au sein d'espaces protégés ou non (Parc national des Écrins, 2015; Sliwinski *et al.*, 2021). Ces suivis peuvent permettre d'établir les plans de chasse, surveiller la croissance d'une population (notamment pour une espèce en danger) ou encore la mortalité d'une population atteinte par une épidémie, comme ce fut le cas pour l'épidémie de tumeur nasale chez le diable de Tasmanie (Hawkins *et al.*, 2006). Concernant la surveillance sanitaire ou la recherche autour de la faune sauvage, seuls 3 articles ont été trouvés mentionnant le suivi visuel d'une population. Ces 3 articles ont pour points communs de concerner des espèces d'oiseaux et d'avoir fait appel à des observateurs civils pour faire leur étude :

>> Dhondt et al., (1998)

La plus ancienne, celle de Dhondt *et al.*, (1998) s'intéresse à l'évolution de la conjonctivite à *Mycoplasma gallisepticum* entre novembre 1994 et mars 1997 dans l'est des États-Unis chez le roselin familial *Carpodacus mexicanus*. Les premiers cas ont été mis en évidence en laboratoire, ce qui a motivé la mise en place d'un protocole de suivi pour caractériser l'évolution temporelle de la maladie. Cette maladie possédant des signes cliniques facilement observables à distance, les scientifiques se sont appuyés sur le réseau « FeederWatch », visant à documenter les oiseaux passant sur les mangeoires. Les volontaires se sont vu transmettre un protocole d'observation spécifique ainsi qu'une grille à remplir, sur laquelle ils devaient noter chaque jour pendant les 29 mois d'observation la présence ou l'absence de roselins familiers et de 4 autres espèces d'oiseaux, ainsi que décrire les signes cliniques observés en cas d'anomalie. Les descriptions des signes cliniques ont été vérifiées par les auteurs, pour confirmer qu'elles étaient bien en lien avec la conjonctivite à *M. Gallisepticum*. Ce suivi a mis en évidence une augmentation de la prévalence apparente de la conjonctivite, une expansion géographique et une variation saisonnière. Bien que très satisfaits du protocole et des résultats obtenus, les auteurs ont mis en évidence certaines limites, notamment en lien avec la méthode de suivi visuel. En effet, ils évoquent un biais d'observation qui peut être important sur plusieurs aspects :

- La capacité des observateurs à repérer les lésions, notamment en cas de nombre important d'oiseaux sur la mangeoire. Une lésion non observée ne pourra pas être mentionnée dans la description ;
- Le manque d'assiduité des observateurs : seulement 17 % des observateurs ont fourni plus de 16 formulaires sur les 29 mois d'observation. Cela peut diminuer la significativité des résultats obtenus ;
- Le risque de confondre les signes cliniques de la conjonctivite à *M. Gallisepticum* avec une autre maladie. Ce risque a été grandement atténué grâce à la relecture des descriptions par les organisateurs.

>> Lawson et al., (2012)

Contrairement à l'étude précédente qui correspondait à une surveillance syndromique programmée, celle de Lawson *et al.*, (2012) relève de la surveillance syndromique événementielle. Il s'agit d'une étude portant sur la variole aviaire chez la mésange charbonnière *Parus major* en Grande-Bretagne. Les scientifiques se sont appuyés sur une base de données de signalements spontanés de mortalité et de morbidité des oiseaux présents dans les jardins en Grande-Bretagne. Les auteurs ont retenu 211 observations, mentionnant des signes cliniques cutanés fréquents en cas de variole aviaire (« tumeur », « grosseur », « suintement » ...). Dans quelques cas, des photographies des lésions étaient présentes. L'analyse des données a permis de mettre en évidence une expansion de la maladie sur l'île. Les auteurs sont revenus sur plusieurs problèmes concernant le protocole d'observation :

- Sur les 211 signalements retenus, seulement 19 ont été confirmés en laboratoire ;
- La sensibilité des observateurs à détecter les lésions peut varier au cours du temps. Étant donné l'absence de programme de sensibilisation sur la maladie transmis au public durant la durée de l'étude, la sensibilité des observateurs a été estimée constante au cours du temps par les auteurs ;

- Il est important de considérer le nombre relatif car le nombre absolu de cas n'est pas interprétable, étant donné que le nombre d'oiseaux observé par le public n'est pas fixe (et influencé par des paramètres extérieurs, par exemple, le regain de popularité des oiseaux sauvages).

>> Handel et al., (2010)

La dernière étude a utilisé les observations visuelles pour initier un protocole de capture. Il s'agit d'une étude de cas de déformations du bec chez les oiseaux (majoritairement les mésanges à tête noire *Poecile atricapillus*) en Alaska (Handel et al., 2010). En 1986, quelques cas de déformation du bec ont été mis en évidence dans cette région. Cela a motivé les auteurs à lancer une campagne d'observations auprès du public et des biologistes. À chaque signalement, les observateurs ont été contactés ensuite par mail pour donner le maximum d'informations supplémentaires. Au total, entre 1986 et 2009, près de 2600 oiseaux ont été signalés avec des déformations du bec. Ce signal d'alerte a justifié la mise en place d'investigations supplémentaires (captures et prélèvements) pour trouver l'étiologie de ce syndrome (néoplasique, nutritionnelle ou encore infectieuse). Les limites des observations réalisées n'ont pas été mentionnées dans cet article.

>> Bilan des observations directes

L'analyse des observations directes diffère des photographies. Le piégeage photographique peut permettre une analyse *a posteriori*, notamment avec l'appui d'un vétérinaire spécialisé. Ce dernier peut analyser les lésions observées sur les images. L'analyse comparée des images auprès d'observateurs non vétérinaires (biologiste) et de vétérinaires spécialisés en faune sauvage permet aussi d'estimer la sensibilité et la spécificité des observateurs à repérer les lésions (Lenglin et al., 2025). Au contraire, l'observation directe ne permet pas d'enregistrer les images, et, bien qu'une relecture des descriptions est possible *à posteriori*, les résultats dépendent grandement de l'observateur et de sa bonne connaissance de l'espèce, et des lésions possibles pour notifier les anomalies (Cooper, 2002; Vourc'h et al., 2006). Une bonne formation et/ou un protocole précis fournis aux observateurs sont donc essentiels à la réalisation d'un suivi visuel direct.

Le suivi sanitaire de la faune sauvage, essentiel à une surveillance globale des maladies telle que prônée par le concept « One Health », peut s'appuyer sur une grande diversité d'approches. Parmi elles, le suivi syndromique se distingue par sa capacité à couvrir un large éventail de maladies et à offrir une réactivité renforcée face à l'apparition de signes cliniques.

Parallèlement à cet intérêt croissant pour la faune sauvage, une prise de conscience accrue des enjeux liés au bien-être animal suscite un engouement pour les méthodes de collecte de données non invasives. D'abord développées dans un contexte de recherche en laboratoire, ces méthodes s'étendent progressivement aux études sur la faune en milieu naturel, aussi bien pour la recherche que pour la surveillance sanitaire. Elles restent cependant principalement utilisées chez les mammifères, avec une nette prédominance des techniques reposant sur la collecte d'indices de présence (traces, fèces) et le piégeage photographique.

Des alternatives existent toutefois, comme le suivi visuel par observation directe. Bien que peu représentée dans la littérature scientifique et surtout employée pour les oiseaux, cette méthode présente l'avantage de contourner les contraintes liées au piégeage photographique, tout en permettant une observation globale de l'animal dans son environnement naturel.

Le Parc national des Écrins (PNE) a mis en place, depuis 2003, un suivi syndromique programmé non spécifique, basé exclusivement sur des observations visuelles. Ce suivi concerne une espèce emblématique du massif : le chamois *Rupicapra rupicapra*.

II. Le suivi sanitaire du chamois dans le Parc National des Écrins

A. Le Parc national des Écrins, un acteur local du suivi sanitaire en France

II.A.1. Le cadre législatif du Parc national des Écrins

La protection de la faune et de la flore du Parc national des Écrins constitue l'un des grands objectifs de sa création en 1973 (Décret n°73-378 -- Création du parc national des Ecrins, 1973). Cependant, aucune disposition législative ne régle cette protection. La première mention dans la législation nationale date de 2006 (Loi n° 2006-436 -- Relative aux parcs nationaux, aux parcs naturels marins et aux parcs naturels régionaux., 2006). Bien que la protection de la faune sauvage y soit clairement mentionnée, la loi de 2006 ne fait pas référence de manière explicite à la surveillance épidémiologique de la population.

En octobre 2014, une modification de la loi n° 2014-1170 du Code Rural et de la Pêche Maritime, aussi appelée « Loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt », a apporté des précisions quant aux missions de protection de la faune sauvage des Parcs Nationaux. Elle impose que les gestionnaires des espaces protégés déclarent toute atteinte ou suspicion d'atteinte d'un animal de la faune sauvage par une maladie classée parmi les maladies catégorisées (anciennement dangers sanitaires de première et deuxième catégorie (*Figure 4*) (LOI n° 2014-1170 -- Loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt, 2014). Les parcs nationaux suivent à présent les mêmes directives que les titulaires du permis de chasse sur la déclaration de suspicion des maladies catégorisées chez les espèces chassables, mais aussi non chassables. L'évolution de cette obligation arrive dans le règlement européen n°2016/429, aussi nommé « loi santé animale », qui n'imposera pas seulement la déclaration mais aussi la mise en place « d'une surveillance, d'une prévention et des mesures de lutte » contre les maladies catégorisées (Règlement 2016/429 -- Relatif aux maladies animales transmissibles et modifiant et abrogeant certains actes dans le domaine de la santé animale («Législation sur la Santé Animale» ou LSA), 2016).

Dans le but de mutualiser leur « stratégie scientifique », leurs « compétences et expertise » et leur « protocole d'acquisitions et données scientifiques », les Parcs Nationaux Français sont rattachés, selon le décret n° 2017-65 du 24 janvier 2017, à l'Office Français de la Biodiversité (OFB) (Article L131-9 - Code de l'environnement - Légifrance, 2016).

La place du PNE dans la surveillance sanitaire a donc considérablement évolué. Créé initialement pour la protection d'une zone spécifique, en l'occurrence, le massif des Écrins, avec un rôle essentiellement local, le Parc fait progressivement partie du système de veille et de protection sanitaire français, en raison de ses obligations liées à la gestion des maladies catégorisées et de sa collaboration à l'échelle nationale avec l'OFB.

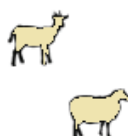
	E	DE	CDE	BDE	ADE
	Paratuberculose Fièvre Q	Maladie hémorragique épidémiologique Fièvre charbonneuse Surra Campylobactériose génitale bovine Trichomonas	FCO (sérotypes 1 – 24) Rhinotrachéite infectieuse bovine (IBR) Diarrhée virale bovine (BVD) Leucose bovine enzootique	<i>Brucella abortus</i> , <i>melitensis</i> , suis Complexe mycobactérium tuberculosis Rage	Fièvre aphteuse Peste bovine Fièvre de la vallée du Rift Dermatose nodulaire contagieuse Péripleurite contagieuse bovine
	Paratuberculose Fièvre Q	Complexe mycobactérium tuberculosis Maladie hémorragique épidémiologique Fièvre charbonneuse Surra Epididymite ovine (<i>Brucella ovis</i>)	FCO (sérotypes 1 – 24)	<i>Brucella abortus</i> , <i>melitensis</i> , suis Rage	Fièvre aphteuse Peste bovine Fièvre de la vallée du Rift Clavelée et variole caprine Peste des petits ruminants Péripleurite contagieuse caprine Morve (<i>Burkholderia mallei</i>)
		<i>Brucella abortus</i> , <i>melitensis</i> , suis Complexe mycobactérium tuberculosis Fièvre charbonneuse Surra Syndrome dysgénésique et respiratoire du porc	Maladie d'Aujeszky	Rage	Fièvre aphteuse Peste bovine Peste porcine classique Peste porcine africaine
	<i>Brucella abortus</i> , <i>melitensis</i> , suis Complexe mycobactérium tuberculosis Encéphalite japonaise Fièvre du West Nile Encéphalomyélite équine de l'Est ou de l'Ouest	Fièvre charbonneuse Surra Artérite équine Anémie infectieuse des équidés Dourine Encéphalomyélite équine vénézuélienne Métrite contagieuse équine		Rage	Fièvre de la Vallée du Rift Peste équine Morve
	Fièvre du West Nile	Mycoplasmoses aviaires Salmonellose aviaire: <i>Salmonella</i> <i>Pullorum</i> , <i>S. Gallinarum</i> , <i>S. Arizonae</i> Influenza aviaire faiblement pathogène Chlamydiose aviaire			Influenza aviaire hautement pathogène Maladie de Newcastle
		Infection par <i>Aethina tumida</i> , petit coléoptère des ruches Loque américaine Infestation due à <i>Tropilaelaps</i>	Varroose de l'abeille		
	Herpès-virose de la carpe koi		Septicémie hémorragique virale Nécrose hémato-poïétique infectieuse Anémie infectieuse du saumon Infection par le virus du syndrome des points blancs Infection à <i>Bonamia exitiosa</i> Infection à <i>Bonamia ostreae</i> Infection à <i>Marteilia refringens</i>		Nécrose hémato-poïétique épidémiologique Infection par le virus du syndrome de Taura Infection par le virus de la tête jaune Infection à <i>Microcytos mackini</i> Infection à <i>Perkinsus marinus</i>

Figure 4 : Liste des maladies catégorisées en France et dans l'Union Européenne. D'après (Règlement 2016/429 -- Relatif aux maladies animales transmissibles et modifiant et abrogeant certains actes dans le domaine de la santé animale («Législation sur la Santé Animale» ou LSA), 2016). L'encadré vert correspond aux maladies pouvant impacter les chamois.

Légende des catégories :

- Catégorie A : maladie normalement absente de l'Union européenne – Éradication immédiate
- Catégorie B : maladie devant être contrôlée par tous les États membres – Éradication obligatoire
- Catégorie C : maladie soumise à contrôle volontaire des États membres – Éradication volontaire
- Catégorie D : maladie pour laquelle des restrictions aux mouvements entre États membres s'appliquent
- Catégorie E : maladie soumise à surveillance

II.A.2. Le Parc national des Écrins : une diversité géographique et faunistique

Le Parc National des Écrins est l'un des 11 parcs nationaux français. Créé en 1973, il se situe sur le massif des Écrins et s'organise en une zone centrale de 93 000 hectares, appelé cœur du parc, et une zone plus étendue de 160 600 ha, nommée aire d'adhésion (Parc national des Écrins, 2023a) (Figure 5). Ces deux zones présentent des dispositions réglementaires différentes :

- Le cœur du parc est le territoire qui est soumis à une réglementation particulière (la plus stricte) et qui encadre plus ou moins fortement certaines activités afin de s'assurer de leur compatibilité avec la préservation du patrimoine naturel (interdiction de chasse, limitation des constructions). C'est au sein de cette zone que se déroule le suivi visuel du chamois ;

- L'aire d'adhésion est la zone qui entoure le cœur du parc et résulte de la libre adhésion à la charte du parc national des communes situées à l'intérieur d'un périmètre (fixé lors de la création du Parc). La réglementation est moins stricte et a pour objectif de concilier préservation du patrimoine, développement des communes et des activités (tourisme, agriculture).

Le Parc National des Écrins comprend, en 2023, 54 communes, soit 34 790 habitants, dont 49 communes adhérentes à la charte du Parc (définissant ainsi l'aire d'adhésion). Le parc est divisé en sept implantations (anciennement nommées « secteurs ») : le Briançonnais, le Champsaur, l'Embrunais, le Valbonnais, le Valgaudemar et la Vallouise (Figure 5). Ces sept implantations sont organisées en quatre secteurs : le secteur Briançonnais-Vallouise, le secteur Champsaur-Valgaudemar, le secteur Oisans-Valbonnais et le secteur Embrunais qui est le seul à ne comprendre qu'une seule implantation.



Figure 5 : Carte du Parc National des Écrins et de sa répartition en implantations (Parc National des Écrins, 2014). Le cœur du Parc est délimité par la ligne blanche.

Grâce à une variation d'altitude importante (entre 800 et 4 102 mètres) et des paysages variés, le parc possède une diversité en termes de faune et flore très importante. En 2023, environ 2 200 espèces animales différentes, dont 75 mammifères, ont été recensées au sein du Parc (Parc national des Écrins, 2023a). Le parc national est aussi le siège d'importants mouvements d'animaux domestiques, avec une surface d'estives estimée à plus de 68 000 hectares. L'agriculture, la biodiversité et le tourisme, font du parc le théâtre de contacts importants et étroits entre faune sauvage, animaux domestiques et activité humaine.

II.A.3. Objectifs de l'établissement du PNE et organisation

Les Objectifs pour le cœur du PNE sont fixés par la Charte du Parc (Parc National des Écrins, 2013) :

- Faire du cœur un espace de référence en matière de connaissance.
- Préserver et requalifier les éléments du patrimoine construit du cœur
- Faire du cœur un espace d'éco-responsabilité
- Conserver les paysages, les milieux et les espèces du cœur

- Renforcer la gestion des ressources agropastorales et forestières
- Organiser la découverte du cœur

Pour réaliser ces objectifs, l'établissement du Parc national des Écrins peut compter sur plus de 80 collaborateurs avec une multitude de domaines d'activité. L'établissement est régi par 3 instances :

- Le conseil d'administration, composé de 56 membres, dicte la politique du Parc
- Le conseil économique, social et culturel, dont le rôle est de favoriser la concertation entre les acteurs du territoire et d'organiser des débats sur les évolutions à réaliser au sujet du patrimoine, de la culture et du développement économique.
- Le conseil scientifique, dont le rôle a été renforcé par la Loi de 2006, est présidé au 1er mai 2025 par Hubert COCHET, professeur d'agriculture comparée à AgroParisTech. Il est constitué d'une vingtaine de membres et son rôle est principalement de donner son avis sur l'ensemble des travaux de recherche entrepris.

Ces trois instances sont à l'origine des grandes politiques et décisions qui régissent le parc. Ces décisions sont appliquées par la direction du parc. Le pôle de direction est structuré en différents services. On notera le service aménagement, le service accueil et communication, et enfin le service scientifique présidé par Richard BONET et dont le chargé de mission faune vertébrée est Yoann BUNZ. Les actions de terrain sont réalisées par les agents sous la direction des quatre chefs de secteurs. Ces agents de terrain, affiliés à chacune des sept implantations, sont, pour la plupart, des gardes-moniteurs dont les activités sont coordonnées par un technicien patrimoine.

L'établissement du parc des Écrins est un acteur majeur de la région alpine. En charge d'un territoire aussi diversifié sur le plan paysager que sur celui de la biodiversité, son devoir est d'assurer le suivi sanitaire de cette dernière.

B. Le chamois, une espèce phare du Parc

II.B.1. Présentation du chamois *Rupicapra rupicapra*, espèce emblématique du massif alpin

Le chamois *Rupicapra rupicapra* est un ruminant sauvage, dont la hauteur au garrot est d'environ 75-80 cm à l'âge adulte, et le poids entre 25-40 kg (Gibert, 2017). Les jeunes dont l'âge est inférieur à 1 an sont appelés chevreaux, les jeunes de 1 à 2 ans sont appelés éterle (femelle) et éterlou (mâle). Le dimorphisme sexuel est très peu marqué chez le chamois : une différence de gabarit est observée, les femelles étant en moyenne plus légères que les mâles (Garel *et al.*, 2009), ainsi qu'une différence d'anatomie des cornes, celles des chamois mâles étant plus épaisses et courbées (*Figure 6*) (Blagojević & Milošević-Zlatanović, 2014).

Le pelage du chamois se caractérise par une variation saisonnière importante (Gibert, 2017) : le pelage d'été est dominé par une teinte gris-jaunâtre sur l'ensemble du corps excepté les membres, la raie dorsale, la queue et les bandes jugales qui sont foncées, ainsi que la gorge, le front et le chanfrein (partie dorsal de la tête) de couleur crème (*Figure 7*). Le pelage d'hiver est lui, dominé par une teinte brun foncé à noir, excepté quelques parties claires au niveau de la tête et du pourtour de la queue (*Figure 8*).

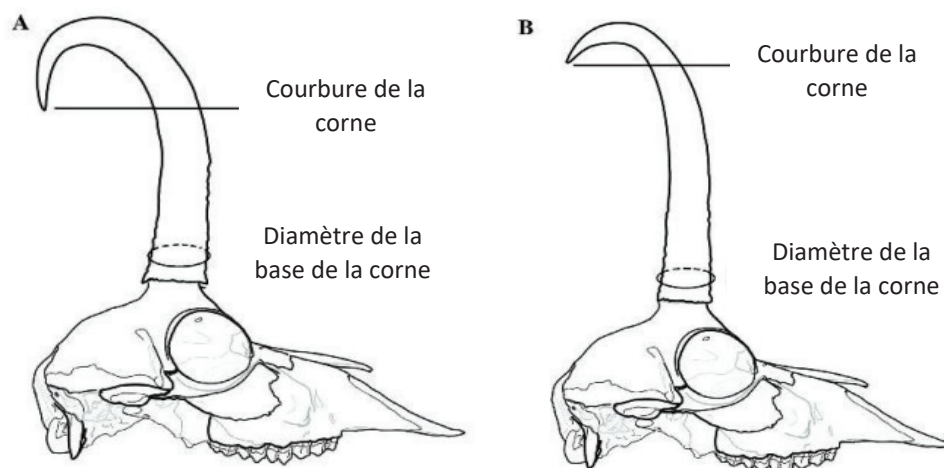


Figure 6 : Différences anatomiques des cornes entre le mâle (A) et la femelle (B) chez le chamois. D'après (Blagojević & Milošević-Zlatanović, 2014).



Figure 7 : Photo d'une éterle et de deux chevreaux avec leur pelage d'été, R. PAPET (Parc National des Ecrins, 2017)



Figure 8 : Photo d'un chamois avec son pelage d'hiver, J-P. TELMON (Parc National des Ecrins, 2017)

Le chamois vit entre 1200m et 2500m d'altitude, majoritairement entre 1500 et 1800 m où l'on trouve les limites forestières et le début des plaines alpines. Pendant l'été et notamment après la période de mise bas, l'altitude moyenne où les chamois sont observés augmente, parfois au-delà de 2500 m. A l'inverse, à partir de septembre on observe une descente vers les forêts de plus basse altitude où le chamois trouve son alimentation (Gibert, 2017 ; Global Biodiversity Information Facility, 2023). Le chamois est un herbivore strict qui consomme beaucoup de plantes basses, mais lorsque la neige est trop dense et que la nourriture se raréfie, il peut manger des aliments plus ligneux (bourgeon, écorces) les chamois peuvent être des proies pour le lynx, le loup et même les renards et les aigles royaux lorsqu'ils sont chevreaux.

En termes de comportement reproducteur, la période de novembre-décembre correspond à la période de rut pour les mâles et d'accouplement. Le temps de gestation oscille entre 160 et 170 jours (Gibert, 2017), ce qui conduit à une période de mise-bas entre mai et juin. Le comportement social et

la composition des groupes changent de manière importante selon le moment de l'année. Hors de la période de reproduction, les femelles sont organisées en grands groupes accompagnés des chevreaux et des éterles/éterlous. Tandis que les mâles ont un comportement beaucoup plus solitaire, même si certains jeunes mâles ont tendance à se regrouper entre eux (Gibert, 2017).

L'effectif de chamois en France est estimé à plus de 100 000 individus (Gibert, 2017), répartis principalement dans les Alpes, les Vosges, le Jura et le Massif central. Au sein du PNE, le nombre d'individus estimé en 2017 est de 15 000 chamois, contre 3000 à la création du parc en 1973. Sa répartition était plus importante sur le nord-ouest du parc en 2010 (Figure 9) (Parc national des Écrins, 2017). Le chamois est classé espèce à « préoccupation mineure » sur la liste rouge de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) (Inventaire National du Patrimoine Naturel, 2022). Le chamois est donc une espèce qui n'est pas menacée actuellement. Cependant, l'intérêt de suivre ses populations, d'un point de vue démographique mais surtout sanitaire, réside dans l'utilisation de son statut d'espèce sentinelle au sein du parc.

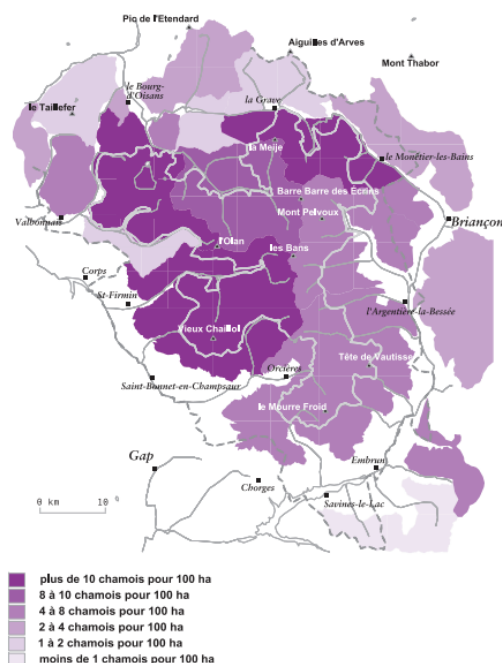


Figure 9 : Estimation de la densité des populations de chamois au sein du PNE, d'après Fiche Chamois 2010 Parc National des Écrins

II.B.2. Le chamois, une espèce sentinelle du PNE

Une espèce sentinelle a d'abord été définie comme une espèce (sauvage ou domestique) pouvant servir d'indicateur de l'exposition de l'homme ou de l'environnement à une substance toxique. Cette fonction repose sur la sensibilité de l'espèce, sa position dans l'écosystème, sa répartition géographique ou encore la taille importante de sa population (Lower & Kendall, 1990). Cependant, depuis le début des années 2000, cette définition a été élargie pour inclure la surveillance des agents pathogènes, en plus des substances toxiques. Ces agents peuvent en effet représenter un risque non seulement pour l'être humain, mais aussi pour la faune domestique et l'environnement (Halliday *et al.*, 2007). Parmi les critères définis par Lower et Kendall (1990) pour qu'une espèce soit considérée comme sentinelle, on trouve :

- Une large répartition géographique, permettant des comparaisons entre différents territoires ;
- Des populations avec une aire de vie bien définie ;
- Une position spécifique dans le biotope ;
- Une espèce facilement identifiable, même par un œil non expert ;
- La possibilité de suivre un ou plusieurs paramètres de santé au sein de la population.

Le chamois répond à plusieurs de ces critères. Présent dans l'ensemble du massif alpin (Inventaire National du Patrimoine Naturel, 2022), il se distingue par son abondance, sa morphologie facilement reconnaissable et son interaction avec de nombreuses autres espèces, tant domestiques que sauvages. Il est ainsi régulièrement décrit comme une espèce sentinelle de ce territoire (Brivio et al., 2015; Parc national des Écrins, 2017; Richomme et al., 2006).

Le Parc national des Écrins est le théâtre d'actions de surveillance qui répondent non seulement à des obligations législatives, mais aussi, plus largement, aux objectifs de protection du patrimoine naturel varié qu'il abrite. Dans ce cadre, le Parc doit sélectionner les espèces faisant l'objet d'un suivi spécifique. Parmi elles, le chamois, considéré comme une espèce sentinelle, a été retenu comme indicateur de l'état de santé de l'écosystème. La surveillance du chamois s'articule autour de trois protocoles complémentaires :

- La surveillance événementielle des cadavres.
- Le suivi sérologique.
- Le suivi visuel.

II.B.3. La surveillance sanitaire du chamois dans le Parc National des Écrins

II.B.3.a. Surveillance événementielle de la mortalité et le liens avec le réseau SAGIR

Le Parc national des Écrins (PNE) organise une collecte événementielle de cadavres afin de rechercher les causes de mortalité de la faune sauvage. Bien que le Parc dispose d'un protocole indépendant, celui-ci présente de nombreuses similarités avec le réseau SAGIR. Ce dernier est un réseau de surveillance épidémiologique à l'échelle nationale, créé en 1986 par l'Office National de la Chasse afin de surveiller la mortalité anormale du gibier (Lamarque *et al.*, 2000). Ayant étendu son champ d'action sur l'ensemble des mammifères terrestres et des oiseaux (Terrier *et al.*, 2006), il repose aujourd'hui sur la collaboration entre l'Office français de la biodiversité (OFB), les fédérations de chasse (départementales, régionales et nationales), ainsi que le réseau des laboratoires vétérinaires départementaux.

Fonctionnant depuis 39 ans, le réseau a vu ses objectifs évoluer au fil du temps (Office Français de la Biodiversité, 2025). Parmi ses missions, la détection précoce des maladies émergentes et l'identification des agents infectieux font partie des plus importantes, et leur réalisation passe par la collecte événementielle de cadavres.

Celle-ci s'organise en plusieurs étapes (*Figure 10*) (Gaillet, 2001; Terrier *et al.*, 2006):

- Étape 1 : Un observateur, généralement un chasseur ou un garde forestier, découvre un cadavre suspect. Il contacte alors les coordinateurs SAGIR du département qui remplissent une feuille contenant les informations sur le cadavre.
- Étape 2 : Les prélèvements sont analysés par le laboratoire vétérinaire départemental de référence, qui peut faire appel à divers laboratoires spécialisés, tels que le laboratoire de toxicologie de VetAgro Sup à Lyon.
- Étape 3 : Les données obtenues sont ensuite transmises à l'AFSSA de Nancy (aujourd'hui ANSES), qui les recueille, les compile et les analyse. Ce laboratoire coordonne le réseau et peut proposer la mise en place d'études complémentaires en cas de résultats suspects. Depuis 2015, le réseau dispose également d'une plateforme dématérialisée pour l'enregistrement des données : « Epifaune » (Office Français de la Biodiversité, 2024).
- Étape 4 : L'ensemble des informations recueillies est ensuite transmis à l'OFB (anciennement ONCFS), qui assure la coordination nationale du réseau et peut décider de la mise en place d'un plan de lutte. En cas de mortalité massive, le coordinateur départemental peut, en plus de suivre la procédure habituelle, contacter directement l'OFB pour signaler l'incident.

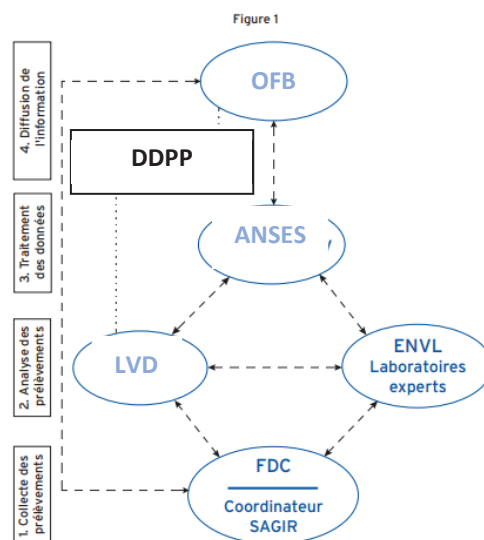


Figure 10 : Organisation entre les différents acteurs du réseau SAGIR.
D'après (Gaillet, 2001)

Dans le Parc national des Écrins, le fonctionnement est similaire mais présente quelques différences : Les fiches commémoratives utilisées sont identiques à celles du réseau SAGIR, mais le numéro d'identification est propre au PNE. Les cadavres signalés ne sont pas systématiquement autopsiés dans leur intégralité, leur traitement suit un logigramme décisionnel précis (*Annexe 1*). Les autopsies sont réalisées par le LVD 05, avec un financement assuré par le Parc. Les résultats d'autopsie sont transmis directement au Parc, et non au réseau SAGIR. Toutefois, la mortalité observée est enregistrée sur Epifaune, bien que les causes de mortalité n'y soient pas renseignées.

II.B.3.b. Surveillance sérologique du chamois

Le protocole de suivi sérologique du chamois, mis en place en collaboration avec les sociétés de chasse, est basé sur la collecte de sang sur des chamois afin de réaliser des analyses sérologiques, c'est-à-dire la détection d'anticorps dirigés contre diverses maladies (Parc National des Écrins, 2022). Contrairement au suivi de la mortalité anormale du réseau SAGIR, les prélèvements sont ici effectués sur des chamois abattus lors des actions de chasse. Un protocole de suivi sérologique est également mené sur le bouquetin, mais uniquement par le biais de captures programmées, puisque cette espèce n'est pas chassable.

Le protocole de suivi sérologique se déroule à l'automne, pendant la période de chasse, exclusivement sur l'aire d'adhésion du parc. Les Associations Communales de Chasse Agréées (ACCA) volontaires d'une implantation réalisent environ dix prélèvements par an sur une période de deux ans. À l'issue de ces deux années, de nouvelles ACCA volontaires, implantées dans une autre zone du parc, prennent le relais. Il y a donc un changement d'implantation tous les deux ans. Ainsi, la réalisation des prélèvements sur les sept implantations du parc s'effectue sur une période totale de 14 ans.

Concernant l'organisation des prélèvements et la réglementation : la présentation physique du grand gibier soumis à plan de chasse est obligatoire. Les ACCA et chasses privées doivent donc prévoir un lieu ouvert au public ainsi que des horaires de permanence pour la présentation des individus prélevés. Dans ce cadre, les agents du Parc National des Écrins (PNE) sont formés aux prélèvements sanguins rétro-orbitaires, et les réalisent immédiatement après la chasse lors de ces permanences. Les échantillons sanguins sont ensuite centrifugés, puis transmis au Laboratoire Départemental Vétérinaire des Hautes-Alpes (LVD 05) pour analyse. Les résultats sont ensuite communiqués au service scientifique du PNE.

II.B.3.c. Le suivi visuel du chamois

> Présentation de signes cliniques observables à distance chez le chamois

Dans le but d'illustrer les observations que les agents de terrain peuvent réaliser lors de l'application du protocole de suivi visuel du chamois, nous proposons ici, une liste de syndromes observables à distance et déjà décrits chez ce dernier dans la littérature.

>> Syndromes généraux

Un chamois affaibli peut présenter une atteinte générale mise en évidence par une faiblesse marquée visible par un changement de comportement, par exemple un abattement, des difficultés de déplacement marquées et une absence de fuite à l'approche de l'humain (Marco *et al.*, 2007). Une cachexie, c'est-à-dire une maigreur extrême, peut aussi accompagner ces autres symptômes (*Figure 11*).

>> Syndromes cutanés

Que ce soit d'origine parasitaire, bactérienne, virale ou encore en raison de carence, les chamois peuvent présenter des lésions visibles au niveau de leur pelage et de leur peau comme une alopecie, présente de manière localisée ou généralisée, qu'on nommera dans ce cas alopecie extensive (*Figure 11*) (Marco *et al.*, 2007). On observe également une peau épaissie (aussi appelée « peau

d'éléphant ») sur une zone plus ou moins grande (*Figure 12*) (Gibert, 2017), ou ulcérée. Pour certaines maladies, les ulcères se situeront sur la muqueuse buccale et les trayons (*Figure 13*). Des nodules peuvent aussi être observés sur l'ensemble du corps du chamois, d'origine inflammatoire (abcès) ou néoplasique.



Figure 11 : Alopécie extensive et cachexie chez un chamois atteint par la Border Disease, d'après (Marco et al. 2007)



Figure 12 : Dépilation et peau d'éléphant chez un chamois atteint par la gale, D'après (Walzer, 2008)



Figure 13 : Ulcères et tuméfactions du tissu labial chez des chamois atteints d'ecthyma contagieux. D'après (Gibert, 2017)

De plus, même si des lésions cutanées ne sont pas toujours visibles, celles-ci peuvent être suspectées lorsqu'on observe un chamois présentant un prurit intense et répété. Tous ces signes visibles à l'œil nu doivent nous faire penser à une maladie au tropisme cutané, ou une maladie systémique en cas d'atteinte générale associée.

>> Syndromes oculaires

Une atteinte oculaire peut avoir plusieurs niveaux de gravité. Le premier symptôme, en cas d'infection oculaire, à apparaître et observable à l'œil nu est un épiphora, aussi appelé « larmier », qui peut être unilatéral ou bilatéral (Gibert, 2017; Mayer *et al.*, 1997). Cet écoulement est fréquemment accompagné d'une conjonctivite, mais ce symptôme est presque impossible à observer sans un examen rapproché (*Figure 14*). Cependant, un blépharospasme⁶ peut être le signe d'une conjonctivite⁷

⁶ Œil fermé de manière prolongé

⁷ Inflammation du tissu conjonctif entourant l'œil

importante. En cas d'atteinte plus importante des yeux, une kératite⁸ peut se traduire par un œil à l'aspect blanc. A ce stade, l'animal a une acuité visuelle presque nulle. Pour finir, le stade terminal d'une affection oculaire correspond à la perte de l'œil par ulcère perforant. Une utilisation importante de l'odorat ou de l'ouïe, ou un changement de comportement, peuvent indiquer une possible perte d'acuité visuelle voire une cécité (Gibert, 2017).

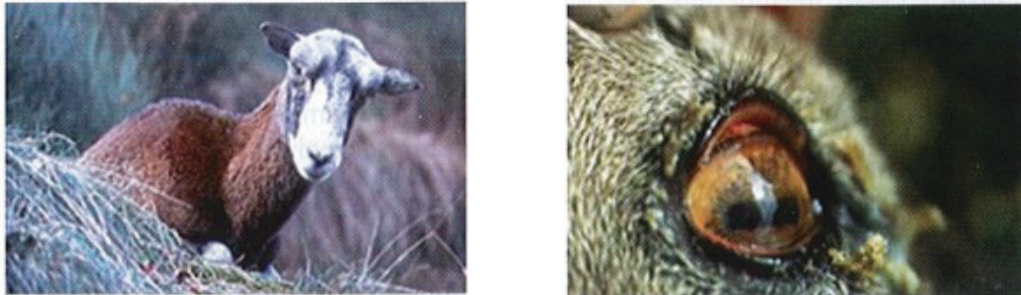


Figure 14 : Photos de chamois présentant un épiphora, associé à une conjonctivite sur la photo de droite, d'après (Gibert, 2017)

>> Syndromes respiratoires

Les maladies respiratoires, d'origine parasitaire (strongles), virales (BRSV...) ou bactérienne (*Mannhemia haemolytica*...) sont décrites comme étant les maladies les plus fréquentes chez les chamois (sur la base de lésions pulmonaires trouvées à l'autopsie) (Walzer, 2008). Les deux signes principaux d'une atteinte respiratoire sont, du jetage nasal ainsi que de la toux, du halètement ou une respiration gueule ouverte.

>> Syndromes digestifs

Des signes de diarrhée importante, comme dans le cas de paratuberculose, peuvent être aperçus à travers un arrière-train souillé (Gibert, 2017). Un ptyalisme⁹ important peut témoigner d'ulcères buccaux, dans le cadre d'un ecthyma contagieux par exemple.

>> Syndromes locomoteurs

De nombreuses maladies provoquent, chez le chamois, de l'inflammation et de la douleur à différents niveaux du membre, que ce soit au niveau du pied ou plutôt des articulations. Il est compliqué d'observer ces signes à distance, excepté un gonflement articulaire ou arthrite (provoqué par une bactérie ou un virus) (*Figure 15*) lorsqu'il est important. On peut cependant apercevoir des signes de douleurs qui se traduisent par une boiterie plus ou moins sévère du ou des membres. Il arrive parfois qu'en cas de boiterie traumatique, on puisse observer une plaie ou une déformation du membre (fracture) qui nous indique l'origine de la boiterie.

L'examen à distance des chamois permet donc d'observer une grande diversité de lésions, fournissant ainsi des informations précieuses sur le statut sanitaire de chaque individu. Cette diversité de syndromes observables permet de faire de ce protocole un outil de suivi à visée générale, s'intéressant aux maladies endémiques comme aux maladies émergentes.

⁸ Inflammation de la cornée, couche externe de l'œil

⁹ Production de salive excessive, souvent dû à des lésions buccales chez les ruminants



Figure 15 : Photos d'un Bouquetin présentant un gonflement du genou de l'antérieur gauche. Ce signe clinique peut aussi être présent chez les chamois. (Gibert, 2017)

> Création et objectifs du protocole de suivi visuel du chamois

Le suivi visuel du chamois est un protocole unique dans la littérature à notre connaissance, axé sur un examen clinique général à distance grâce des observations à la longue-vue de chamois. Il s'agit d'un protocole de surveillance sanitaire syndromique et programmé.

Le suivi visuel du chamois a débuté en 2003, avec pour ligne directrice de considérer le chamois comme une espèce sentinelle et emblématique du Parc. Le protocole a été créé sous l'impulsion de Michel Bouche, vétérinaire de formation et technicien patrimoine dans l'Embrunais jusqu'en 2023. Lors de sa mise en place, les objectifs étaient les suivants (Parc National des Écrins, 2022):

- Quantifier les naissances de chevreaux, leur survie annuelle et le ratio chèvre/chevreau
- Maintenir une vigilance face à toute mortalité suspecte ou tout comportement anormal
- Mettre en place des mesures de suivi spécifiques en cas d'épizootie constatée
- Transmettre et valoriser les connaissances de terrain acquises.

Après chaque année d'observation, un compte rendu est réalisé afin de compiler et analyser l'ensemble des données recueillies. Cependant, de la même manière que le réseau SAGIR, en cas d'observation de lésions suspectes ou de mortalité importante, le coordinateur, Yoann BUNZ, et l'ensemble du service scientifique doivent être immédiatement informés afin de déclencher les procédures adaptées.

> Déroulement du protocole

>> Organisation du planning d'observation :

Le suivi visuel du chamois, réalisé chaque année, se compose de trois sessions d'observation (Parc National des Écrins, 2022) :

- La session de fin d'hiver : Elle se déroule entre mars et avril, au moment du réchauffement printanier et de la fonte des neiges. Le comptage des chevreaux à cette période permet d'évaluer leur survie hivernale.
- La session d'été : Elle a lieu essentiellement en juillet, soit un à deux mois après les mises bas. Elle permet notamment d'estimer la fécondité de la population.
- La session d'automne : Réalisée autour de novembre, cette session correspond à la période de rut des mâles et permet d'observer leur comportement spécifique à cette saison.

Jusqu'en 2011, la session de novembre était divisée en deux temps : une session en octobre et une autre en décembre, portant ainsi le total à quatre sessions annuelles. Toutefois, en raison de difficultés à réaliser les observations dans les délais, ces deux sessions ont été fusionnées en une seule.

Les observations ont lieu exclusivement dans le cœur du Parc National des Écrins (*Figure 5*). Néanmoins, des exceptions peuvent être faites, notamment en hiver, lorsque certaines zones du cœur deviennent difficilement accessibles.

Chaque implantation gère son propre planning d'observation. Il n'existe pas de nombre fixe de sorties à effectuer, mais celles-ci doivent permettre d'atteindre l'objectif de 100 chamois observés par session. Ce qui correspond, à raison de 7 implantations et de 3 sessions par an, à 2100 chamois observés par an.

>> Déroulé d'une session d'observation :

Lors d'une sortie, tout au long du trajet, l'observateur effectue régulièrement un balayage du périmètre visuel à l'aide de jumelles afin de localiser un ou plusieurs groupes de chamois (ce que l'on appelle parfois le « spotting »). Lorsqu'un ou plusieurs chamois sont aperçus, l'observateur utilise une longue-vue (*Figure 16*) pour les observer avec plus de précision. Il doit alors examiner chaque individu aussi attentivement que possible afin d'en noter les caractéristiques.

La longue-vue peut varier selon les secteurs, et son modèle a évolué au fil des années dans chacun d'eux. La distance d'observation doit permettre d'observer les yeux en détail, celle-ci peut donc varier en fonction de la météo.



Figure 16 : Exemple de longue-vue, utilisée dans le Champsaur en 2025. Grossissement min : x 645, max : 1200 (photos personnelles).

L'observation réalisée est notée sur une grille de notation papier (ensuite rentrée dans un tableur Excel). Chaque ligne de la grille correspond à un groupe de chamois observé. Un groupe est défini par le protocole comme un ensemble de chamois séparé au maximum de 50 m les uns des autres et qui se dirige dans la même direction (Parc National des Écrins, 2022). Différentes informations sont précisées en colonnes (*Figure 17*) :

- La date de l'observation

- La commune, précisant l'emplacement géographique des chamois observés
- Le lieu-dit, qui n'est pas un emplacement officiel mais plutôt une indication un peu plus spécifique de la zone d'observation

Les animaux observés :

- La colonne « Male » sert à indiquer le nombre de chamois adultes mâles
- « Femelle » correspond au nombre d'adultes femelles observées
- « Ind » correspond aux adultes dont le sexe n'a pas pu être identifié
- « Chevr » correspond aux nombres de chevreaux observé soit les jeunes de moins d'un an
- « Éterle, éterlou » correspond aux jeunes entre 1 et 2 ans
- « S et A ind » est le nombre de chamois observés dont le sexe et l'âge n'ont pu être définie par l'observateur, cette colonne est très rarement remplie.

Cette première série d'informations permet d'assurer un suivi démographique (mesure du succès reproducteur, du sex-ratio, et de la survie des chevreaux) et contribue également au suivi sanitaire.

La suite de la grille concerne les lésions observées :

- « Identité de l'animal », l'observateur doit, dans cette colonne, renseignée le plus précisément possible l'âge et/ou le sexe de l'animal
- « Longitude » et « Latitude » définissent précisément l'emplacement géographique de l'animal
- « Etat (Vivant, Mort, Agonisant) » correspond à l'état de l'animal trouvé, s'il est mort ou vivant, ou estimé agonisant par l'observateur
- « Lésions ou troubles observés », dans cette dernière colonne l'observateur doit décrire le plus possible ce qu'il observe, voici quelques descriptions en exemples :
 - « Larmier visible bilatéral faible »
 - « Corne droite cassée »
 - « Toux, corne gauche cassée près du crâne »
 - « Boîte patte arrière gauche »

La grille a été modifiée entre 2020 et 2022 en intégrant 7 colonnes correspondant aux classifications de lésions observées : « Faiblesse », « Locomoteur », « Oculaire », « Cutané », « Respiratoire », « Digestif », « génital ».

Une fois la sortie terminée, les grilles de données sont centralisées à la maison du parc de l'implantation concernée, puis informatisées.

> Difficultés identifiées

Le protocole de suivi visuel du chamois, en place depuis 2003 au sein du PNE, s'inscrit, aujourd'hui, dans un contexte où les agents sont de plus en plus sollicités sur des missions diverses, avec une part consacrée aux suivis scientifiques qui se réduit peu à peu. Ce protocole conserve donc un intérêt fort, car il constitue un moment privilégié d'observation de la faune sauvage. Il permet d'actualiser les connaissances sur le chamois et de répondre aux questionnements du public, de plus en plus en demande d'informations sur cette espèce.

Cependant, ce protocole fait aujourd'hui l'objet de questionnements et de réticences quant à sa finalité. Les limites soulevées par les agents de terrain portent sur plusieurs points :

- L'intérêt de réaliser un suivi syndromique est remis en question, notamment en raison de l'absence d'analyses diagnostiques, ce qui empêche la confirmation des maladies suspectées.
- L'impression de n'observer que peu de lésions soulève des doutes quant à l'utilité du protocole.
- Ce protocole demande un investissement conséquent des agents de terrain. Ainsi, dans un contexte de réduction des moyens humains et financiers au sein de l'établissement, il est perçu comme particulièrement chronophage.
- L'impression du manque de liens entre les différents protocoles, et notamment le suivi sérologique réalisé en collaboration avec les sociétés de chasse, au sein des comptes-rendus annuels.

Ainsi, le rapport entre les bénéfices attendus (surveillance sanitaire, détection de maladies ou d'anomalies démographiques) et l'investissement nécessaire est remis en cause. Une analyse globale des résultats obtenus accompagnée d'une réflexion sur un éventuel allègement du protocole a donc été souhaitée par le service scientifique, de manière à disposer d'éléments scientifiques permettant de statuer sur la poursuite du protocole en l'état, son allègement ou bien sa suppression.

PARTIE 2 : LE SUIVI SANITAIRE VISUEL DU CHAMOIS DANS LE PARC NATIONAL DES ÉCRINS

L'objectif de cette première analyse est d'examiner les données recueillies entre 2003 et 2024 dans le cadre du protocole de suivi visuel du chamois, afin d'établir un bilan de l'état de santé de l'espèce sur ces vingt-deux années de suivi. Il s'agit également de mettre en évidence les intérêts que ce protocole apporte pour la connaissance et le suivi de la population de chamois, dans le but d'alimenter le débat autour du rapport bénéfice/coût de celui-ci.

I. Matériels et méthodes

A. Création du fichier de données

I.A.1. Collecte des données auprès du Parc national des Écrins

Le protocole de suivi visuel du chamois est en place depuis 2003. Cette thèse a donc débuté par une phase de recherche et de compilation de l'ensemble des relevés disponibles, dans le but de constituer une base de données aussi complète que possible.

Les données collectées de 2003 à 2017 avaient déjà été centralisées par Camille ORIHEL dans le cadre de sa thèse (Orihel, 2019). Un premier travail a donc consisté à réutiliser ces données tout en intégrant les années manquantes de 2018 à 2024, ainsi qu'en complétant les années partiellement complètes (2011 et 2016). Pour ce faire, Yoann Bunz, chargé de mission faune vertébrée au sein du service scientifique du Parc national des Écrins, a rassemblé, auprès des différentes implantations du parc, les tableurs et fiches papier couvrant la période 2003-2024. Toutes ces données ont été centralisées dans un tableur Excel unique. Puis, elles ont été présentées aux techniciens-patrimoines affectés à chaque implantation, afin qu'ils vérifient les données et remplissent les lignes toujours incomplètes malgré nos recherches :

- Cyril Coursier, technicien patrimoine dans le Briançonnais ;
- Rodolphe Papet, technicien patrimoine dans le Champsaur ;
- Cécile Dubois, technicien patrimoine dans l'Embrunais ;
- François Couilloud, technicien patrimoine dans l'Oisans ;
- Emmanuel Icardo, technicien patrimoine dans le Valbonnais ;
- Régis Jordana, technicien patrimoine dans le Valgaudemar ;
- Thierry Maillet, technicien patrimoine dans la Vallouise.

Leur relecture minutieuse a permis de préciser des données manquantes, telles que les dates d'observation ou le nom des observateurs. Une fois rassemblées et vérifiées, l'ensemble des données a été homogénéisé au sein d'une même base de données, de manière à en faciliter l'analyse par la suite.

I.A.2. Préparation du jeu de données

La préparation des données s'est déroulée en quatre étapes :

Exclusion de certaines variables : Certaines variables, telles que les noms de lieux-dits ou les coordonnées géographiques (latitude/longitude), ont été exclues en raison d'un trop grand nombre de valeurs manquantes ou d'une trop grande hétérogénéité dans leur dénomination selon les années et les observateurs.

Suppression de certaines lignes des fichiers brutes : Certaines lignes issues des fichiers informatiques correspondaient à des sessions d'observation caractérisées par une date, un observateur et une implantation, mais indiquant un effectif observé nul. Lorsque ces enregistrements présentaient un couple "observateur + date" unique, ils ont été conservés afin de notifier les sorties au cours desquelles aucun individu n'a été observé, information pertinente pour l'interprétation de l'effort d'observation. En revanche, lorsque plusieurs lignes partageaient le même couple "observateur + date", les enregistrements à effectif nul ont été supprimés, dans la mesure où la présence d'autres observations le même jour par le même observateur suggérait une erreur de saisie plutôt qu'une absence réelle d'observation. Au total, 18 enregistrements ont été supprimés.

Uniformisation des informations : Les noms des observateurs, des implantations et des communes ont été uniformisés afin de faciliter le traitement des données.

Organisation de la donnée « lésions ou troubles observés » : Les observations des gardes-moniteurs ont été regroupées en grandes catégories de lésions, selon leur nature :

- Traumatismes : Troubles liés à un choc (cornes cassées...) sans autres symptômes cliniques associés tels qu'une boiterie ou un trouble cutané, la lésion est alors rangée dans les cases correspondantes ;
- Boiteries : Troubles de l'appareil locomoteur provoquant une modification de démarche (fractures, membres gonflés...) ;
- Lésions oculaires : Troubles de l'appareil oculaire (épiphora¹⁰, œil blanc, cécité...) ;
- Lésions cutanées : Troubles de l'appareil cutané (alopécie, dépilations, plaies...) ;
- Lésions respiratoires : Troubles de l'appareil respiratoire (toux, jetage, essoufflement...) ;
- Lésions digestives : Troubles de l'appareil digestif (diarrhée, pyalisme...) ;
- Faiblesses : Troubles généralisés (mauvais état général, apathie) ;
- Autres : Troubles ne pouvant être classés dans les catégories précédentes ;
- Mort : Observation d'un cadavre

I.A.3. Création d'un fichier de données exploitable

Le fichier final contient 6 411 lignes. Chaque ligne correspond à un groupe de chamois observé. Le tableau est structuré en 26 colonnes, regroupées comme suit :

Sept colonnes de données d'ordre général :

- « **Observateur** » : L'observateur à l'origine de la ligne de données. Lorsque plusieurs observateurs étaient indiqués sur une même ligne, seul le premier inscrit

¹⁰ Écoulement oculaire important

a été conservé. Si le premier nom ne revenait que rarement dans le jeu de données (observateur occasionnel), alors le nom suivant était gardé. Si aucun observateur n'a été renseigné et n'a pu être retrouvé, le nom « PNE » a été rentré par défaut ;

- « **Secteur** » : L'implantation où l'observation a été effectuée (Briançonnais, Champsaur, Embrunais, Oisans, Valbonnais, Valgaudemar ou Vallouise) ;
- « **Commune** » : la commune de l'observation, unité géographique plus précise que l'implantation ;
- « **Date** » : Date de la réalisation de l'observation ;
- « **DateJulienne** » : Jour et mois de l'observation ;
- « **Année** » : Année de réalisation de l'observation ;
- « **Saison** » : Classée en trois catégories selon la date julienne :
 - *FinHiver : Observations entre le 20/01 et le 02/05 ;*
 - *Été : Observations entre le 20/06 et le 17/08 ;*
 - *Automne : Observations entre le 27/09 et le 31/12.*

Huit colonnes contenant les données démographiques :

- « **AM** » : Nombre d'adultes mâles ;
- « **AF** » : Nombre d'adultes femelles ;
- « **AI** » : Nombre d'adultes dont le sexe est indéterminé ;
- « **Éterle/Éterlou** » : Nombre d'individus de 1 à 2 ans ;
- « **Chevreau** » : Nombre d'individus de moins d'un an ;
- « **SAI** » : Nombre de chamois dont le sexe et l'âge sont indéterminés ;
- « **TailleDuGroupe** » : Somme des individus observés entrée par les observateurs, la correspondance avec la somme des précédentes catégories a été vérifiée, en cas de différence :
 - Si la somme indiquée est plus grande que la somme calculée, alors le groupe a été complété par des individus « SAI » jusqu'à la somme indiquée ;
 - Si la somme indiquée est plus faible que la somme calculée avec les catégories précédentes, alors la somme calculée a été conservée.

Une colonne supplémentaire, générée via R, permet de classer les groupes selon leur composition (proportion de mâles parmi les individus), liée à une ségrégation naturelle du chamois entre les femelles accompagnées des jeunes, et les mâles (Gibert, 2017) :

- Groupe composé en majorité d'adultes mâles (Proportion d'adultes mâles parmi les chamois du groupe supérieure à 50%) ;
- Autres groupes composés à majorité d'individus non adultes mâles (généralement femelles et/ou jeunes).

Les 12 colonnes suivantes comportent les données sanitaires :

- « **NbAnimalVivantLese** » : nombre d'individus vivant présentant au moins une lésion ;
- « **NbLesionSaufMort** » : nombre total de lésions observées, les cadavres ne sont pas comptabilisés dans cette colonne ;
- « **Lesion** » : Type de lésion présent dans le groupe, sous forme de lettres séparées par des « + » ;
- « **Traumatisme** », « **Boiterie** », « **Yeux** », « **Cutané** », « **Respi** », « **Digestif** », « **Faiblesse** », « **Autre** » : Nombre de chaque type de lésion présent dans le groupe ;

- « **Mort** » : nombre de cadavres présents dans le groupe de chamois.

Le fichier final a été analysé en deux parties, tout d'abord via une analyse descriptive des données, puis via une modélisation statistique. Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide de RStudio *version 2025.09.1*, en considérant la valeur de $\alpha = 0,05$ comme seuil de significativité pour les tests d'hypothèse.

B. Analyse des paramètres démographiques

I.B.1. Définition des variables et analyse descriptive

>> Le succès reproducteur

Le succès reproducteur apparent correspond au nombre de chevreaux observés dans une population au cours d'une année de reproduction (entre la session estivale et la fin d'hiver) rapporté au nombre de femelles observées la même année dans la même population. Il permet d'évaluer la capacité d'une population à produire des individus et que ceux-ci survivent jusqu'à la fin de leur première année. C'est un paramètre majeur, témoignant de l'état démographique d'une population mais aussi de son état sanitaire : une population en mauvais état sanitaire peut présenter des difficultés à maintenir sa dynamique.

Les chevreaux et femelles comptés lors de la session de fin d'hiver de l'année n , ont été pris en compte pour le calcul du succès reproducteur relatif à l'année $n-1$, car il s'agit en effet des chevreaux nés durant l'année $n-1$. Les observations de fin d'hiver 2003 (correspondant au succès reproducteur pour les naissances de 2002) n'ont pas été conservées pour cette partie car trop peu nombreuses et sans aucune autre donnée en 2002. Cela entraîne la suppression de 19 lignes de données.

Le succès reproducteur a été décrit et représenté graphiquement en fonction de l'année, de la saison et de l'implantation. Les intervalles de confiance à 95 % ont été calculés à l'aide de la fonction *binom.test*.

>> Le taux de survie des chevreaux

Afin d'estimer la mortalité des chevreaux pendant leur première année, nous avons étudié le taux de survie des chevreaux qui peut être estimé par le rapport entre le nombre de chevreaux rapporté au nombre de femelles en fin d'hiver de l'année $(n+1)$ et le nombre de chevreaux rapporté au nombre de femelles en été de l'année (n) . Le taux de survie des chevreaux moyen a été estimé et ses variations en fonction de l'année ont été représentées graphiquement.

>> Le taux de recrutement

Le recrutement en étude des populations est défini comme l'ajout de nouveaux individus à une population par différents procédés (naissance, immigration...) (Merriam-Webster Dictionnaire, 2025). Dans notre étude, nous porterons notre regard sur les naissances. Le taux de recrutement est défini dans les comptes rendus de Michel Bouche comme le rapport entre le nombre de chevreaux observés en fin d'hiver et le nombre total d'individus observés à cette même période. Cette mesure repose sur

l'hypothèse que les chevreaux présents en fin d'hiver, et donc ayant survécu à leur premier hiver, parviendront jusqu'à l'âge adulte et participeront au renouvellement de la population.

Le taux de recrutement a été estimé et ses variations en fonction de l'année ont été représentées graphiquement. Les intervalles de confiance à 95 % ont été calculés à l'aide de la fonction *binom.test*.

>> La proportion de mâles parmi les adultes

Pour finir d'analyser la composition de la population, nous utiliserons la proportion de mâles parmi les adultes identifiés (mâles ou femelles). Contrairement au sex-ratio, la proportion de mâles est bornée entre 0 et 1, ce qui permet, par la suite, de la modéliser selon une loi binomiale, facilitant le calcul des intervalles de confiance ainsi que l'analyse statistique qui va suivre.

La proportion de mâles a été estimée et ses variations en fonction de l'année, de la saison et de l'implantation ont été représentées graphiquement. Les intervalles de confiance à 95 % ont été calculés à l'aide de la fonction *binom.test*.

I.B.2. Modélisation

L'objectif de cette seconde partie d'analyse est de tester les hypothèses issues de l'analyse descriptive.

Pour l'analyse du succès reproducteur, le nombre de chevreaux observés est rapporté au nombre de femelles observées. Lorsque le nombre de chevreaux dépassait le nombre de femelles, nous avons supposé que toutes les femelles n'avaient pas pu être observées ou identifiées (absente ou comptée parmi les Adultes indifférenciés (AI)), nous avons alors considéré que le nombre de femelles était égal au nombre de chevreaux. Pour l'analyse de la proportion de mâles, nous rapportons le nombre de mâles observés par rapport au nombre d'adultes totaux observés.

Ces deux variables (succès reproducteur et proportion de mâles parmi les adultes) ont ensuite été analysées à l'aide d'un modèle linéaire généralisé (GLM) de type binomial, afin de prendre en compte plusieurs variables explicatives :

- **L'année**, en tant que variable continue entre 2003 et 2024, pour détecter des effets linéaires, en particulier une décroissance ;
- **La saison**, en tant que variable qualitative à trois modalités (« fin d'hiver », « été » et « automne »), pour détecter les variations d'effectifs observées entre les années ;
- **L'implantation**, en tant que variable qualitative à 7 modalités (« Briançonnais », « Champsaur », « Embrunais », « Oisans », « Valbonnais », « Valgaudemar » et « Vallouise »), pour tester les variations d'effectif observées entre implantations ;

Si l'année présente un effet significatif sur les variables étudiées, deux interactions ont été explorées :

- **L'interaction entre l'année et l'implantation**, pour explorer l'hypothèse d'une tendance annuelle différente selon l'implantation d'observation ;
- **L'interaction entre l'année et la saison**, pour explorer l'hypothèse selon laquelle la variation annuelle détectée varie en intensité selon la saison d'observation.

La construction du modèle a été réalisée à l'aide de la fonction *glm()* dans R. La pertinence des modèles a été évaluée à l'aide du Critère d'Information d'Akaike corrigé (AICc) et classés à l'aide de la fonction *dredge*, par souci d'homogénéité avec les méthodes utilisées pour les données sanitaires. Le modèle sélectionné est celui ayant l'AICc le plus faible. Lorsque plusieurs modèles présentaient des AICc comparables (différence inférieure à 2), le plus simple a été sélectionné.

La présentation des résultats du modèle sélectionné s'articule en deux parties :

- Interprétation des Odds Ratios (OR) issus du modèle sélectionné, mettant en évidence la significativité de chaque modalité des variables, et permettant de quantifier leur effet ; Un OR est significatif ($P\text{-value} < 0,05$) si la valeur 1 n'est pas comprise dans son intervalle de confiance à 95% ;
- Représentation graphique, lorsque cela est pertinent, de la prédiction du modèle sélectionné.

Pour le taux de survie, seul un modèle linéaire en fonction de l'année a été testé afin de vérifier tester son évolution au cours du temps.

Enfin, le taux de recrutement, étant étroitement lié au succès reproducteur apparent en fin d'hiver, n'a pas fait l'objet d'une analyse statistique spécifique.

C. Analyse des paramètres sanitaires

I.C.1. Définition et description des variables

>> Fréquence de cadavres observés

Le nombre de cadavres, déterminé par la colonne « mort », est rapporté au nombre de chamois observés. Cette variable sera décrite et représentée en fonction de l'année d'observation, de la saison et de l'implantation. Les intervalles de confiance ont été calculés à l'aide de la fonction *binom.test*.

>> Fréquence d'observation d'une lésion

Pour étudier les données relevant des observations des lésions et symptômes observés par les gardes moniteurs, nous comptabilisons le nombre d'individus porteurs de chaque type de symptôme et nous le rapportons au nombre total de chamois observés dans le même groupe. La fréquence d'observation de chaque type de lésion est estimée et représentée graphiquement en fonction de l'année, de la saison, de l'implantation, du type de groupe et de la taille de groupe. Les intervalles de confiance à 95 % ont été calculés à l'aide de la fonction *binom.test*.

I.C.2. Modélisation de la probabilité d'observer une lésion

I.C.2.a. Démarche de modélisation

L'analyse statistique des lésions observées a été réalisée à l'aide de Modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM), de type binomial sur données groupées, qui présentent l'avantage de pouvoir tester plusieurs variables explicatives, en prenant en compte un ou plusieurs effets aléatoires.

La variable à expliquer est le nombre d'animaux porteurs d'une lésion donné, pondéré par le nombre d'animaux observés dans le groupe. Les observations de zéro chamois sont éliminées (quatre observations au total), cinq variables explicatives ont ensuite été intégrées à notre analyse :

- **L'année**, en tant que variable continue entre 2003 et 2024 pour évaluer et détecter des effets linéaires ;
- **La saison**, en tant que variable qualitative à trois modalités (« fin d'hiver », « été » et « automne ») pour détecter la ou les saisons où la probabilité d'observer une lésion est plus importante ;
- **L'implantation**, en tant que variable qualitative à 7 modalités (« Briançonnais », « Champsaur », « Embrunais », « Oisans », « Valbonnais », « Valgaudemar » et « Vallouise »), pour voir si les probabilités d'observer les différents types de lésions varient en fonction de l'implantation ;
- **Le type de groupe**, en tant que variable qualitative, a deux modalités : « Groupe mâle » et « Groupe femelle » (groupe composé à moins de 50% d'adultes mâles identifiés), afin de tester si la probabilité d'observer une lésion est plus importante dans un groupe composé en majorité de mâles ou plutôt de femelles et de jeunes ;
- **La taille de groupe**, en tant que variable quantitative continue entre 1 et 162 (plus grand groupe observé), pour tester si la probabilité d'observer une lésion dépend de la taille du groupe observé.

De plus, un effet aléatoire « observateur » a été intégré au modèle, afin de prendre en compte les différences inter-observateurs.

Le choix du modèle GLMM a été réalisé selon la méthode qui suit :

- Plusieurs modèles, incluant l'ensemble ou une combinaison des variables explicatives, ainsi que tous les sous-modèles (incluant une partie seulement des variables explicatives) ont été ajustés et classés sur la base du critère d'Akaike corrigé (AICc) à l'aide des fonctions *glmer* et *dredge* de R ;
- Le modèle présentant le plus faible AICc a été retenu. Lorsque plusieurs modèles présentaient des AICc comparables (différence inférieure à 2), le plus simple a été sélectionné ;
- Le modèle sélectionné a été ajusté puis les Odds-Ratios (OR) et les p-values associées ont été extraits, afin d'évaluer la force et la significativité statistique des effets.

I.C.2.b. Interprétation des odds-ratios (OR)

Les odds ratios (OR) permettent de quantifier le lien entre les variables explicatives et la probabilité d'observer une lésion. Un OR met en évidence une variation significative quand la valeur 1 n'est pas comprise dans son intervalle de confiance à 95%.

Leur traitement et interprétation dépend du type de variable :

- **Variables quantitatives (Année et taille du groupe) :**
 - $OR > 1$ → augmentation de la probabilité d'observer une lésion avec l'augmentation d'une unité de la variable (augmentation d'une année ou augmentation d'un chamois de la taille du groupe observé)
 - $OR < 1$ → diminution de la probabilité d'observer une lésion avec l'augmentation de la variable.
- **Variables qualitatives :**
- **Type de groupe** (deux modalités possibles : mâle ou femelle) : les groupes à majorité de femelles sont considérées comme le groupe de référence, donc :
 - $OR > 1$ → les groupes à majorité de mâles présentent une probabilité plus élevée de lésions que les groupes à majorité de femelles et jeunes.
 - $OR < 1$ → Réciproquement.

Pour les variables suivantes (saison et implantation), à plus de deux modalités, la comparaison de chacune des modalités entre elles peut conduire à estimer une multitude d'OR. Dans le texte, les OR par comparaison avec une modalité de référence sont donnés. L'ensemble des OR possibles est donné en *annexe 2*.

- **Saison** (trois modalités possibles : fin d'hiver, été ou automne) : l'automne est la saison de référence, donc :
 - $OR > 1$ (pour fin d'hiver ou été) → La probabilité d'observer une lésion est plus élevée lorsque l'observation a lieu pendant la saison indiquée que pendant l'automne.
 - $OR < 1$ → La probabilité d'observer une lésion est plus faible lorsque l'observation a lieu pendant la saison indiquée que pendant l'automne.
- **Implantation** (sept modalités possibles : *Briançonnais*, *Champsaur*, *Embrunais*, *Oisans*, *Valbonnais*, *Valgaudemar* ou *Vallouise*) : l'implantation de référence est la Vallouise, donc :
 - $OR > 1$ (Pour les autres implantations) → La probabilité d'observer une lésion sur un chamois est plus élevée lorsque l'observation a lieu dans l'implantation indiquée qu'en Vallouise.
 - $OR < 1$ → La probabilité d'observer une lésion sur un chamois est plus faible lorsque l'observation a lieu dans l'implantation indiquée qu'en Vallouise.

II. Résultats

A. Description de l'échantillon

Après 22 années de réalisation du protocole, 6 411 lignes d'observation ont été analysées, pour un total de 52 449 chamois observés.

II.A.1. Effectif annuel observé

L'objectif de 2 100 chamois observés par an a été atteint de manière quasi systématique jusqu'en 2019 (*Figure 18*). Cependant, depuis cette date, on constate des difficultés à atteindre cet objectif, avec une moyenne d'environ 1 800 chamois observés chaque année. La forte diminution du nombre de chamois observés sur la *Figure 18* après 2012 pourrait être liée au changement de protocole, qui était auparavant réalisé en 4 sessions, puis réduit à 3 sessions à partir de 2012.

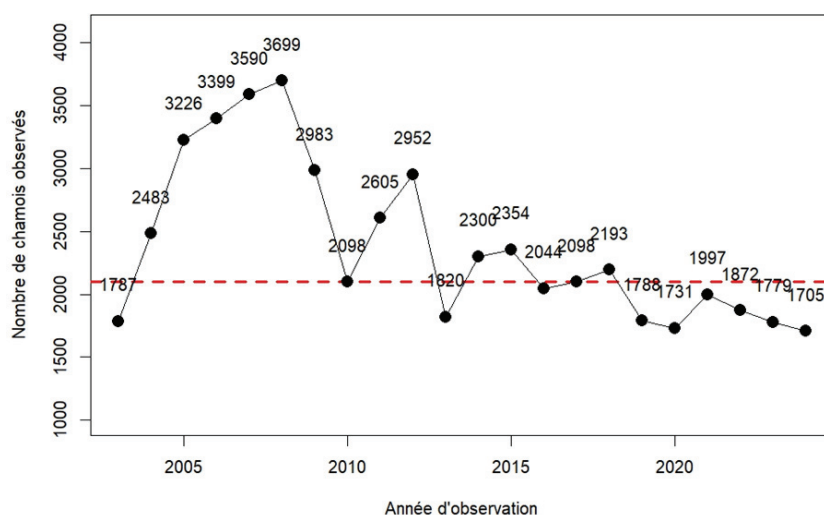


Figure 18 : Nombre de chamois observés chaque année dans le Parc National des Écrins dans le cadre du protocole de suivi visuel.

La ligne rouge en pointillés représente l'objectif de 2100 chamois observés par an.

Cette diminution du nombre de chamois observés varie fortement selon les implantations (*Figure 19*) :

- Dans le secteur du Briançonnais, le nombre d'observation est systématiquement supérieur à celui requis par le protocole (excepté en 2010 et 2011 où le protocole n'a pas, ou que partiellement, été réalisé), avec environ 400 chamois observés par an depuis 2012 ;
- Dans Champsaur, en moyenne 150 chamois sont observés par an entre 2012 et 2016. Puis, mise à part l'année 2021, le protocole a été arrêté de 2017 jusqu'en 2024, par manque de motivation et de temps à consacrer à ce protocole.
- Les effectifs observés dans le Valgaudemar et la Vallouise sont légèrement inférieurs l'objectif fixé des 300 chamois à observer par an ;

- Dans les autres implantations les observations sont conformes aux objectif.

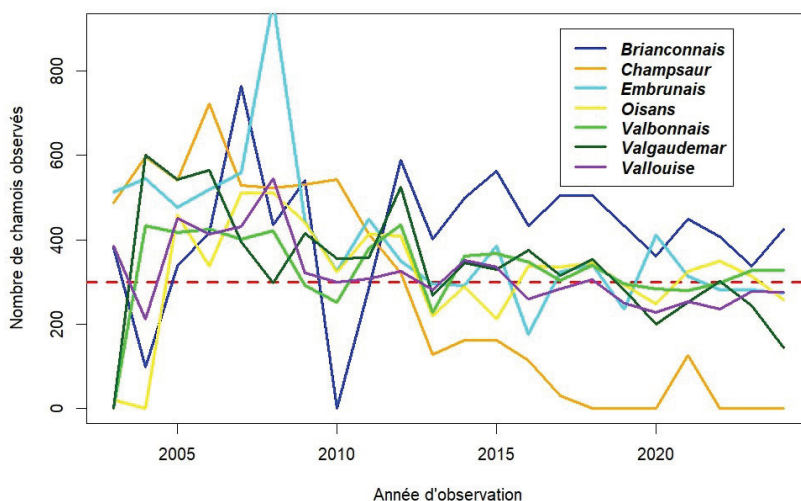


Figure 19 : Nombre de chamois observés par an selon les implantations.

La ligne rouge en pointillé représente l'objectif de 300 chamois par an au sein d'une implantation.

II.A.1.a. Effectif moyen par sortie

Le nombre moyen de chamois observés par sortie a diminué au fil du temps. Si on excepte l'année 2003 qui semble exceptionnelle (45 animaux/sortie), le nombre a diminué entre 2004 et 2015 (*Figure 20*), passant d'environ 28,52 [22,90 ; 34,16] à 15,00 [12,78 ; 17,21] individus. Après 2015, ce chiffre est resté globalement stable autour de 15, avec un minimum de 11 chamois observés par sortie en 2021.

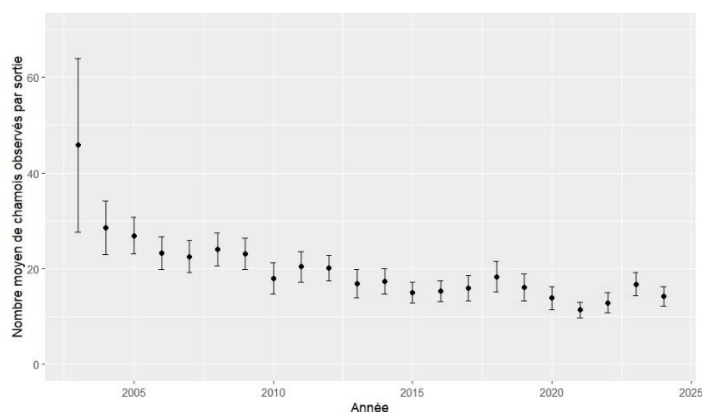


Figure 20 : Nombre moyen de chamois observés par sortie en fonction de l'année d'observation.

Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne

II.A.1.b. Distribution temporelle des observations dans l'année

Au cours des 22 années de suivi, les observations de fin d'hiver se sont déroulées principalement en mars (*Figure 21*), avec quelques relevés complémentaires en avril. Les observations estivales ont été réalisées essentiellement en juillet, avec quelques données supplémentaires fin juin et début août. Enfin, les observations d'automne sont bien plus étalées, de fin septembre à fin décembre, avec une concentration plus marquée des relevés entre fin octobre et début novembre.

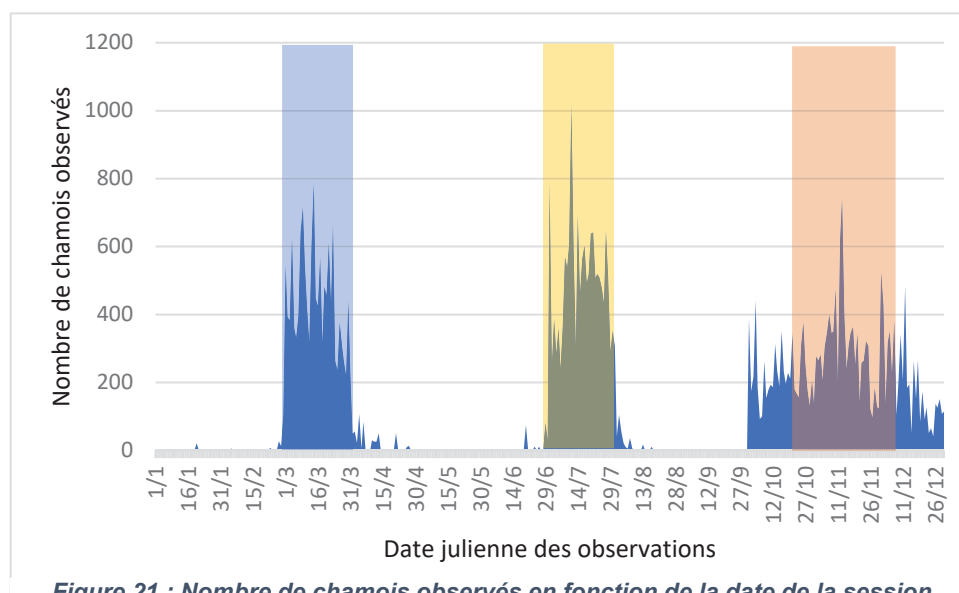


Figure 21 : Nombre de chamois observés en fonction de la date de la session d'observation au sein de l'année

Les rectangles colorés correspondent aux dates où le protocole doit être effectué. Fin d'hiver : zone bleu, Eté : zone jaune, Automne : zone orange.

II.A.1.c. Effectif en fonction de l'âge et du sexe

Sur les 22 années d'exécution du protocole, 40% des individus observés étaient des femelles adultes, 21 % des mâles adultes, et 11 % des éterles ou éterlous (Figure 22). Les chevreaux représentent quant à eux 24 % des individus observés. Deux autres catégories regroupent les chamois dont l'identification est incomplète, probablement lié à une distance d'observation de ces individus plus grande :

- Les adultes dont le sexe n'a pas pu être déterminé (3 %) ;
- Ceux pour lesquels ni l'âge ni le sexe n'ont pu être précisés (1 %).

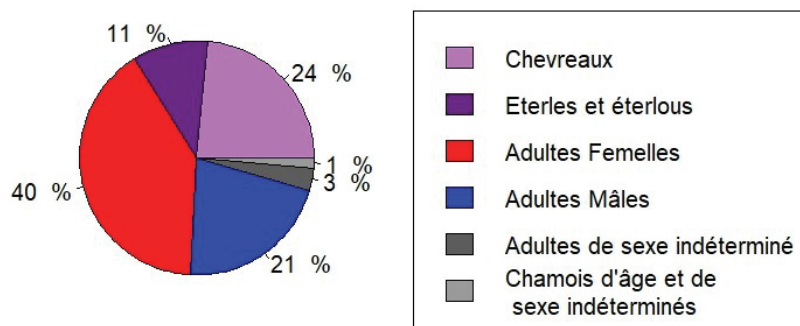


Figure 22 : Proportion des chamois observées depuis le début du protocole en fonction de leur sexe et de leur classe d'âge, toutes implantations confondues

Ces dernières catégories peuvent affecter les calculs de certains indicateurs, tels que le succès reproducteur ou la proportion de mâles. Au fil des 22 années du protocole, excepté en 2008 où le sexe des adultes n'a pas été identifié dans l'Embrunais (entraînant plus de 10% de chamois non identifiés au global), la proportion d'observations incomplètes concernant l'âge et le sexe des individus est restée faible (Figure 23).

Pour la suite des analyses, on suppose que ce type de mesure n'influence pas les paramètres étudiés, en considérant que la répartition par âge et par sexe de ces individus non identifiés est similaire à celle du reste de la population.

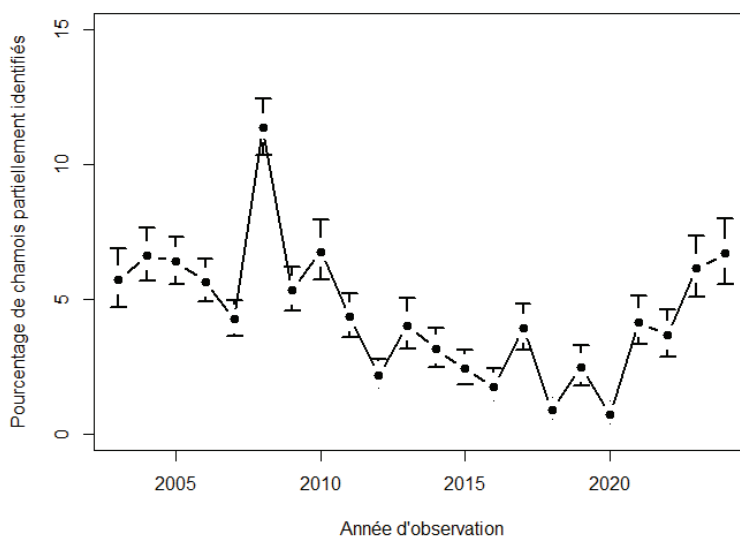


Figure 23 : Pourcentage d'observations incomplètes concernant le sexe et/ou l'âge en fonction de l'année d'observation.

B. Paramètres démographiques

II.B.1. Le succès reproducteur

II.B.1.a. Description

Le succès reproducteur, rapport entre le nombre de chevreaux observés et le nombre de femelles, est en moyenne de 0,58 [0,57 ; 0,58] (c'est-à-dire 58 chevreaux observés pour 100 femelles observées), est en légère diminution depuis le début du protocole mais d'apparence stable depuis 2017 (Figure 24).

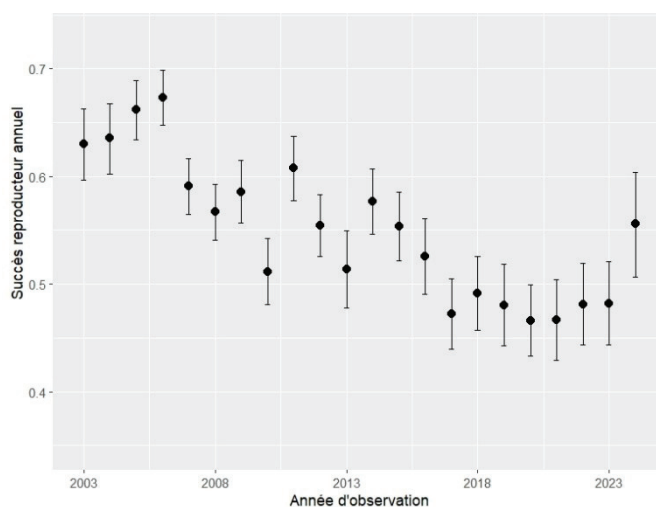


Figure 24 : Succès reproducteur annuel apparent en fonction du temps.

Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard d'une loi binomiale où le nombre de femelles correspond au nombre d'essai et le nombre de chevreaux correspond au nombre de succès

Le rapport entre le nombre de chevreaux et le nombre de femelles peut également être calculé pour chaque saison d'observation. On observe une variation saisonnière marquée (*Figure 25*). Le rapport entre le nombre de chevreaux et le nombre de femelles atteint un maximum lors de la session estivale, correspondant à la période immédiatement post-partum (les mises-bas ayant lieu en juin). En supposant que la mortalité prématurée des chevreaux est faible à ce moment-là, cette valeur peut fournir une estimation du taux de fécondité des femelles. Elle se situe autour de 0,75, soit 75 chevreaux pour 100 femelles adultes au début de l'exécution du protocole puis plus autour de 0,60 en fin de protocole. Entre les saisons d'automne et d'hiver, on observe une diminution importante du rapport entre le nombre de chevreaux et le nombre de femelles. L'hiver, ce rapport est d'environ 30 chevreaux pour 100 femelles.

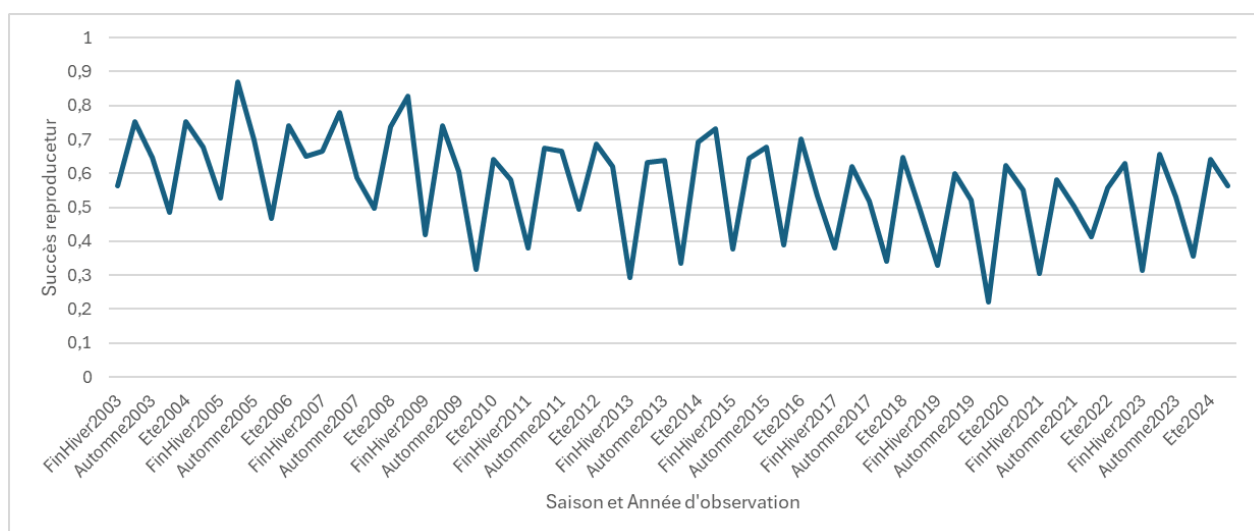


Figure 25 : Rapport du nombre de chevreaux par rapport au nombre de femelles observées en cours des sessions d'observation.

Les points bas correspondent aux hivers et les points hauts aux périodes d'été.

Le succès reproducteur moyen varie de manière importante entre les implantations (*Figure 26*). Il est maximal dans le Champsaur avec 63,8% [61,8 ; 65,8] et minimal dans l'Oisans avec 52,6% [50,8 ; 54,4].

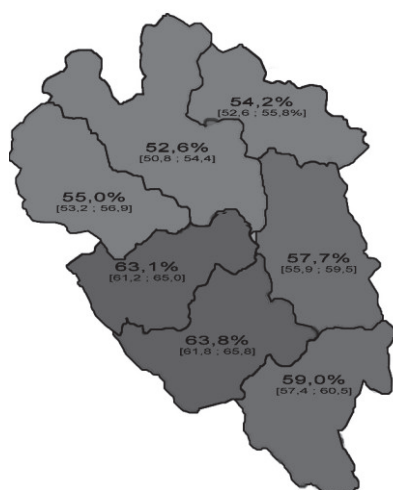


Figure 26 : Succès reproducteur moyen selon l'implantation

Les intervalles correspondent à l'erreur standard dans l'hypothèse où le succès reproducteur suit la loi binomiale où un chevreau est défini comme un succès

II.B.1.b. Modélisation

L'année, la saison ou l'implantation, sont retenues dans le modèle sur le succès reproducteur apparent (*Tableau 3*).

Annee	Saison	Implantation	df	DeltaAICc	Weight
-0,0356	+	+	10	0	1
-0,037	+		4	26.16	0
	+	+	9	198.31	0

Tableau 3 : Ensemble des modèles les plus parcimonieux ($\Delta AICc < 200$) expliquant les variations de probabilité d'observer une femelle suivée.

Le tableau indique les variables explicatives, le degré de liberté (df), $\Delta AICc$ (différence entre l'AIC spécifique au modèle et l'AIC le plus bas) et le poids du modèle.

>> Effet de l'année

Le modèle met en évidence une diminution significative du succès reproducteur au cours du temps (OR = 0,963 [0,959 ; 0,968]), ce qui signifie que chaque année le succès reproducteur perd 3,7% [3,2 ; 4,1] de sa valeur de l'année précédente (*Figure 27*). Cela motive la réalisation d'un modèle GLMM avec interactions par la suite.

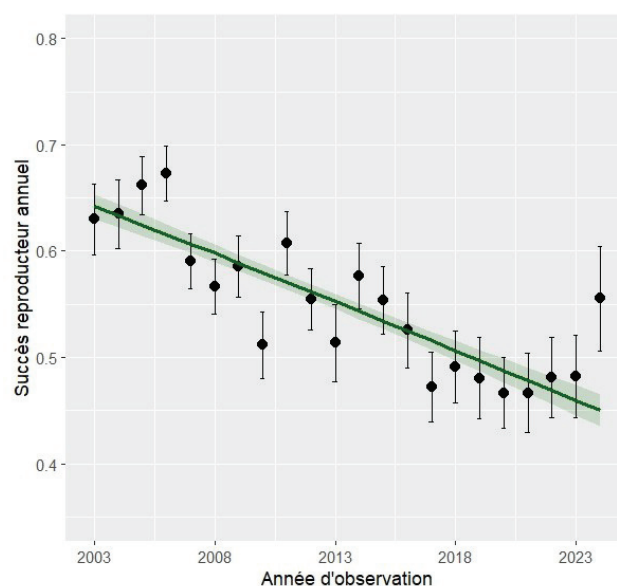


Figure 27 : Succès reproducteur apparent au cours du temps, toutes implantations et toutes saisons confondues

(Les points représentent les valeurs observées annuellement et la ligne verte les valeurs moyennes prédites par le modèle, avec son intervalle de confiance.)

>> Effet saison

Comme observé sur la *Figure 25*, la probabilité moyenne d'observer une femelle suivée varie en fonction de la saison d'observation. Lorsque la saison de référence du modèle est l'automne, la probabilité d'observer une femelle suivée est significativement plus forte en été (OR = 1,41 [1,31 ; 1,51]) et significativement plus faible en fin d'hiver (OR = 0,42 [0,40 ; 0,45]) qu'en automne.

>> Effet implantation

Si on prend le Briançonnais comme implantation de référence, la probabilité d'observer une femelle suivée est significativement plus élevée dans le Valgaudemar (OR = 1,33 [1,20 ; 1,48]), l'Embrunais (OR = 1,20 [1,09 ; 1,32]) et la Vallouise (OR = 1,13 [1,02 ; 1,25]) par rapport au Briançonnais, tandis qu'il n'y a pas de différence significative sur cette probabilité entre dans le Briançonnais et dans les trois dernières implantations : le Champsaur (OR = 1,10 [0,99 ; 1,23]), le Valbonnais (OR = 1,06 [0,95 ; 1,17]) et l'Oisans (OR = 0,99 [0,89 ; 1,09]). (Figure 28).

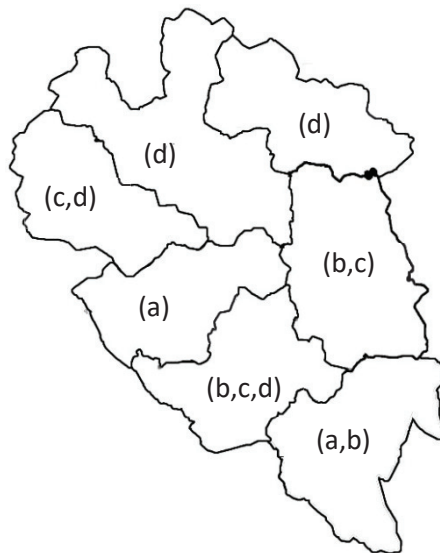


Figure 28 : Différence significative sur la probabilité moyenne d'observer une femelle suivée entre les différentes implantations, d'après le modèle GLM sélectionné

Une lettre identique indique l'absence de différence significative entre ces implantations.

Nous nous focaliserons maintenant sur cette décroissance annuelle, afin de déterminer si celle-ci est aussi intense entre les différentes saisons et implantations.

II.B.1.c. Effets des interactions

En rajoutant les interactions aux modèles, le meilleur modèle est celui avec toutes les variables et les interactions : année/saison ainsi qu'année/implantation (Tableau 4).

Annee	Saison	Implantation	Année x Saison	Année x Implantation	df	DeltaAICc	Weight
0,0023	+	+	+	+	18	0	1
-0,0083	+	+		+	16	14,05	0
-0,0254	+	+	+		12	72,08	0

Tableau 4 : Ensemble des modèles avec interactions les plus parcimonieux (AICc < 200) expliquant les variations de probabilité d'observer une femelle suivée.

Le tableau indique les variables explicatives, le degré de liberté (df), deltaAICc (différence entre l'AIC spécifique au modèle et l'AIC le plus bas) et le poids du modèle.

>> Interaction année-saisons

Si l'automne est la saison de référence, la probabilité d'observer une femelle suivée diminue significativement plus rapidement en été (OR = 0,982 [0,971 ; 0,993]) et en fin d'hiver (OR = 0,988 [0,976 ; 0,999]) par rapport à l'automne (Figure 29). Ces différences ne sont pas très marquées, en effet la borne supérieure de l'intervalle de confiance est proche de 1.

>> Interaction année-implantation

La probabilité d'observer une femelle suitée évolue de manière différenciée selon les secteurs (Figure 30). Si on prend le Briançonnais comme implantation de référence, cette probabilité diminue au cours du temps de manière significativement plus marquée dans l'Oisans (OR = 0,94 [0,92 ; 0,95]), dans l'Embrunais (OR = 0,96 [0,94 ; 0,97]), dans le Champsaur (OR = 0,96 [0,94 ; 0,97]) et dans la Vallouise (OR = 0,95 [0,93 ; 0,97]) que dans le Briançonnais. La probabilité d'observer une femelle suitée varie de manière non significative entre le Valbonnais (OR = 0,99 [0,97 ; 1,00]) et le Valgaudemar (OR = 0,99 [0,97 ; 1,00]) par rapport au Briançonnais.

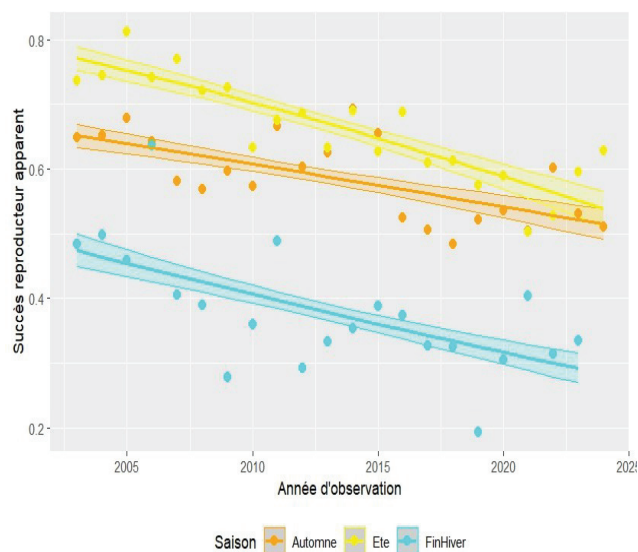


Figure 29 : Évolution de la probabilité d'observer une femelle suitée au cours du temps selon la saison d'observation.

Les points indiquent les valeurs des observations. Les lignes indiquent les valeurs moyennes prédites par le modèle, accompagnées de leur intervalle de confiance à 95 %.

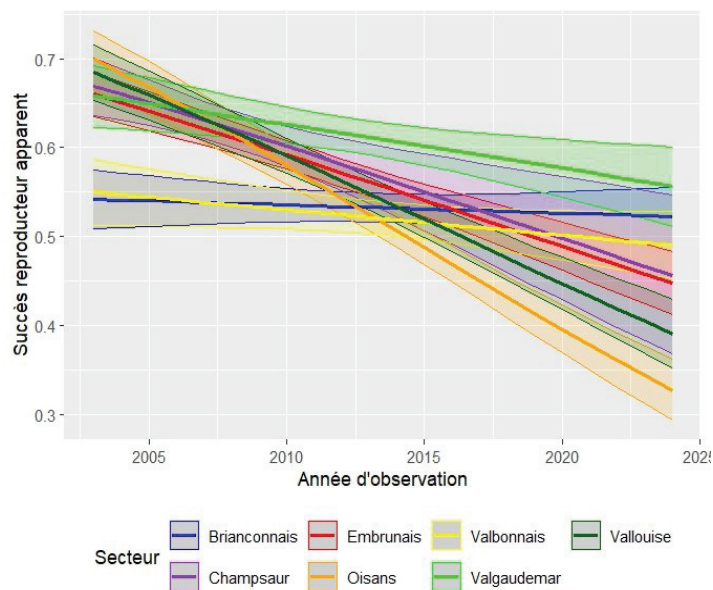


Figure 30 : Évolution de la probabilité d'observer une femelle suitée au cours du temps selon les implantations d'observation.

Les lignes indiquent les valeurs moyennes prédites par le modèle, accompagnées de leur intervalle de confiance à 95 %.

II.B.1.d. Bilan

L'analyse du succès reproducteur permet de mettre en évidence plusieurs effets :

- Le succès reproducteur, entre 2003 et 2024 a diminué significativement avec une perte estimée à environ 3,7 % de sa valeur par an. On observe cependant une valeur stable depuis 2017, ce qui implique de notre modèle GLM n'est pas forcément le plus adapté ;
- Cette diminution est d'avantage marquée dans les implantations du sud-est du parc (Vallouise, Embrunais et Champsaur) ainsi que dans l'Oisans ;
- Une diminution du succès reproducteur de même intensité entre l'été et la fin d'hiver, mais légèrement moins forte sur l'automne.

II.B.2. Survie des chevreux

Nous avons vu que la mortalité des chevreaux au cours de leur premier hiver est importante. Ce taux de survie semble globalement stable sur les 22 années d'analyse et vaut environ 0,6 (*Figure 31*). Ceci signifie qu'en moyenne, environ 0,59 % des chevreaux observés en juillet survivent à leur premier hiver. Le graphique montre des amplitude de variation importante de ce taux, probablement lié aux conditions météorologique de chaque année. L'analyse statistique linéaire du taux de survie des chevreaux en fonction du temps montre un effet significatif de l'année sur ce taux (coefficient = $-0,008$ [$-0,016$; $-0,000$]). Toutefois, cet effet reste très faible, la borne supérieure de l'intervalle de confiance étant très proche de zéro. Ainsi, il semble peu probable que le résultat influence la diminution du succès reproducteur annuel.

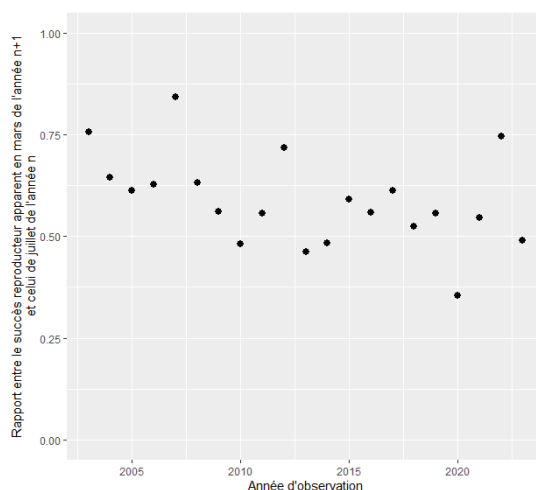


Figure 31 : Taux de survie des chevreaux en fonction de leur année de naissance

II.B.3. Taux de recrutement

En moyenne, le taux de recrutement est de 0,18, ce qui signifie qu'en fin d'hiver, 18 % de l'effectif observé est constitué de chevreaux (*Figure 32*). Tout comme le succès reproducteur apparent, ce taux de recrutement présente une tendance à la baisse au fil du temps.

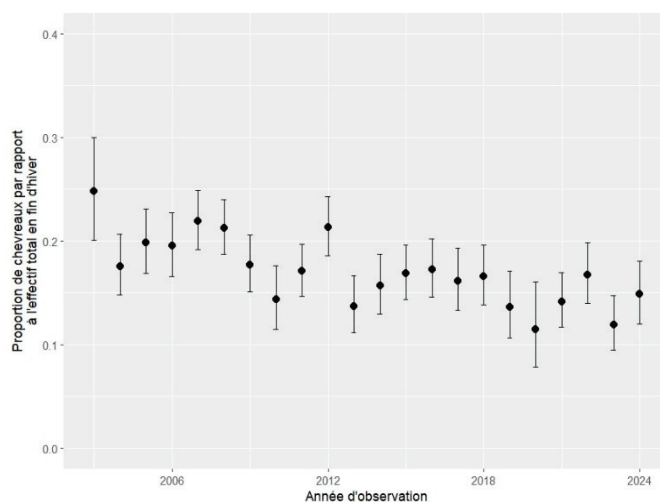


Figure 32 : Taux de recrutement de la population de chamois dans l'ensemble du Parc national des Ecrins selon l'année, entre 2003 et 2023.

Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard dans l'hypothèse où le taux de recrutement suit la loi binomiale où un chevreau est défini comme un succès

II.B.4. La proportion de mâles parmi les adultes

II.B.4.a. Description

La proportion de mâles parmi les adultes est en moyenne de 35 %. Bien qu'elle reste globalement stable dans le temps, on note une augmentation notable entre 2018 et 2020, où il passe de 33% à 45% (Figure 33)

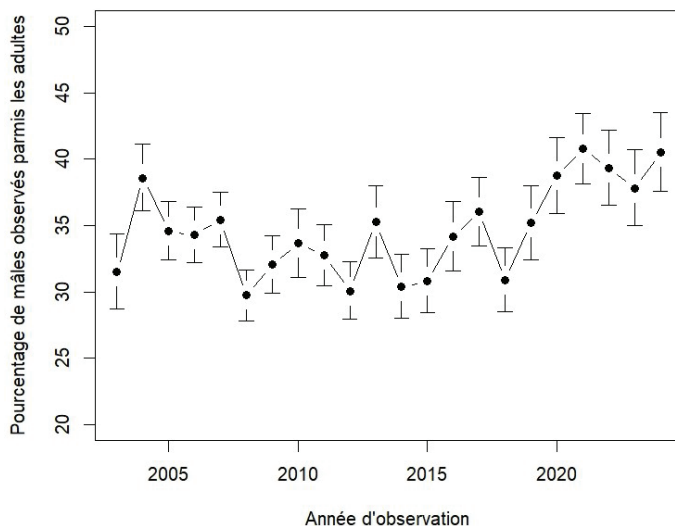


Figure 33 : Proportion de mâles observés parmi les adultes chaque année au sein de l'ensemble du Parc national des Écrins.

Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard dans l'hypothèse où la proportion de mâles suit la loi binomiale où un mâle observé est défini comme un succès

La proportion de mâles observés varie beaucoup selon l'implantation, mais elle ne passe jamais au-dessus de 50 % (seuil à partir duquel il y a plus de mâles adultes que de femelles adultes observées) (Figure 34). La proportion de mâles est maximale dans le Valgaudemar avec 47,1% [45,7 ; 48,5] des adultes observés et minimale dans l'Embrunais où 22,8% [21,7 ; 24,0] des adultes observés sont des mâles.

Bien que la proportion de mâles soit, en moyenne similaire entre l'automne et la fin de l'hiver, elle diminue d'un quart pendant la saison estivale, atteignant une valeur de 26,8% [25,9 ; 27,8] (Figure 35). Cela traduit une baisse du nombre de mâles observés en été, comparativement aux femelles. Cette tendance pourrait être liée à la période de mise bas, durant laquelle les femelles ont tendance à se regrouper, ce qui les rend plus détectables que les mâles.

Figure 34 : Proportion de mâles parmi les adultes en fonction de l'implantation toutes années confondues

Les intervalles correspondent à l'erreur standard dans l'hypothèse où la proportion de mâles suit la loi binomiale où un mâle observé est défini comme un succès

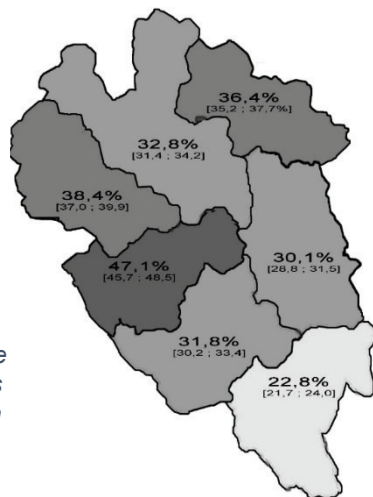
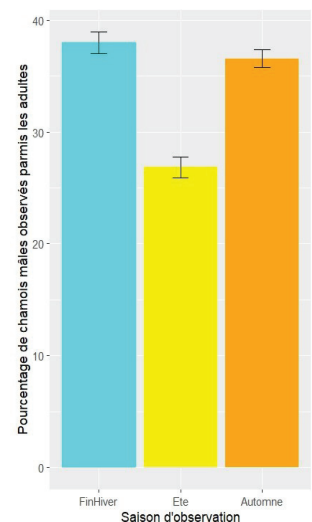


Figure 35 : Proportion de mâles parmi les adultes entre les différentes saisons d'observations.

Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard dans l'hypothèse où la proportion de mâles suit la loi binomiale où un mâle observé est défini comme un succès



II.B.4.b. Modélisation

> Effets simples

Selon le modèle GLM le plus parcimonieux, la probabilité d'observer un mâle parmi les adultes est influencée de manière significative par les trois facteurs : l'année, la saison et l'implantation. (Tableau 5).

Annee	Saison	Implantation	df	DeltaAICc	Weight
0,008	+	+	10	0	1
	+	+	9	15,89	0
0,008		+	8	301,05	0

Tableau 5 : Ensemble des modèles les plus parcimonieux (AICc < 200) expliquant les variations de probabilité d'observer un mâle.

Le tableau indique les variables explicatives, le degré de liberté (df), deltaAICc (différence entre l'AIC spécifique au modèle et l'AIC le plus bas) et le poids du modèle.

La probabilité d'observer un mâle parmi les adultes augmente significativement au cours du temps entre 2003 et 2024 (OR = 1,008 [1,004 ; 1,012]), ce pourquoi un GLM avec interactions a été réalisé par la suite.

Comme observé sur la Figure 35, pour l'interprétation de l'effet saison, si l'automne est la saison de référence alors la probabilité d'observer un mâle en été est significativement plus faible (OR = 0,63 [0,59 ; 0,66]) qu'en automne. Il n'y a pas de différence significative entre la fin d'hiver et l'automne (OR = 1,04 ; 0,98]).

Contrairement à la probabilité d'observer une femelle suitée, la probabilité d'observer un mâle présente de nombreuses différences significatives selon l'implantation où l'observation s'effectue. Si l'on choisit le Briançonnais comme implantation de référence, alors la proportion de mâles est significativement différente dans le Valgaudemar (OR = 1,57 [1,45 ; 1,70]), le Champsaur (OR = 0,86 [0,78 ; 0,94]), l'Oisans (OR = 0,84 [0,77 ; 0,91]), la Vallouise (OR = 0,75 [0,69 ; 0,81]) et l'Embrunais (OR = 0,56 [0,51 ; 0,61]). Seules les observations dans le valbonnais présentent une probabilité d'observer un mâle sans différence significative avec le Briançonnais (OR = 1,07 [0,98 ; 1,15]). \$=

II.B.4.c. Effets des interactions

En ajoutant les interactions au modèle, la probabilité d'observer un mâle parmi les adultes est influencée de manière significative par les deux interactions : année x saison et année x implantation, selon le modèle le plus parcimonieux (Tableau 6).

Annee	Saison	Implantation	Année x Saison	Année x Implantation	df	DeltaAICc	Weight
-0,005	+	+	+	+	18	0	1
0,005	+	+		+	16	17,23	0
-0,003	+	+	+		12	167,95	0

Tableau 6 : Ensemble des modèles avec interactions les plus parcimonieux (AICc < 200) expliquant les variations de probabilité d'observer un mâle

Le tableau indique les variables explicatives, le degré de liberté (df), deltaAICc (différence entre l'AIC spécifique au modèle et l'AIC le plus bas) et le poids du modèle.

>> Interaction année - saison

Si l'automne est la saison de référence, alors la probabilité d'observer un mâle augmente significativement plus rapidement en été qu'en automne ($OR = 1,016 [1,006 ; 1,026]$). La fin d'hiver présente ne présente pas de différence significative avec l'automne ($OR = 0,992 [0,983 ; 1,001]$) (Figure 36).

>> Interaction année - implantation

L'évolution temporelle de la probabilité d'observer un mâle varie également selon les implantations. C'est particulièrement le cas de l'Embrunais où la probabilité d'y observer un mâle a augmenté de manière significativement plus importante ($OR = 1,06 [1,05 ; 1,07]$) par rapport au Briançonnais (Figure 37).

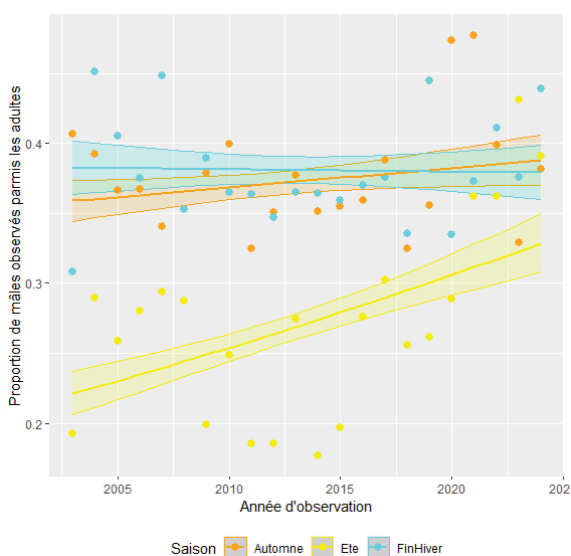


Figure 36 : Évolution de la probabilité d'observer un mâle au cours du temps selon la saison d'observation.

Les points correspondent aux valeurs observées, tandis que les lignes représentent les valeurs moyennes prédites par le modèle, accompagnées de leur intervalle de confiance à 95 %.

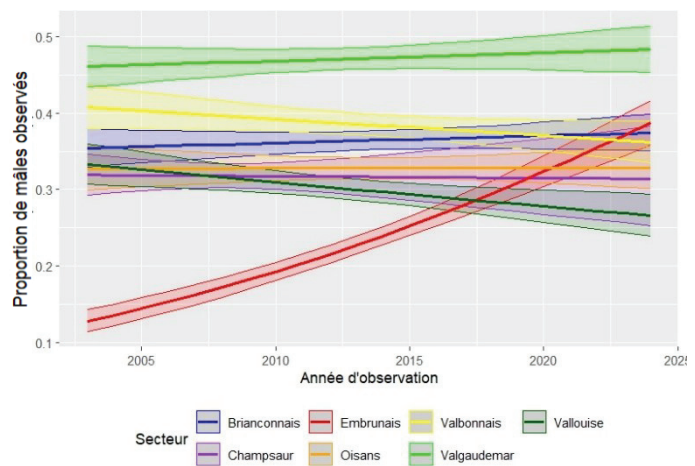


Figure 37 : Évolution de la probabilité d'observer un mâle au cours du temps selon les implantations d'observation.

Les lignes indiquent les valeurs moyennes prédites par le modèle, accompagnées de leur intervalle de confiance à 95 %.

II.B.4.d. Bilan

La modélisation de la probabilité d'observer un mâle met en évidence plusieurs points clés :

- La probabilité d'observer un mâle augmente significativement au cours du temps. Il s'agit d'une évolution non linéaire, marquée par une augmentation brutale entre 2018 et 2020.
- Les observations en été et dans l'Embrunais semblent peser particulièrement sur cette augmentation au cours du temps.
- D'importantes disparités entre implantations sur la proportion moyenne de mâles sont observées.

C. Description des données sanitaires

II.C.1. Description de la mortalité

Le nombre de cadavres observés pour 100 chamois est resté relativement stable au cours du temps (*Figure 38*), avec une valeur moyenne de 0,23 % [0,19 ; 0,28]. Une valeur élevée a toutefois été enregistrée en 2010, année durant laquelle ce taux a atteint plus de 1,19 % [0,77 ; 1,75], soit le quintuple de la moyenne habituelle. Cela correspond, d'après les indications des gardes-moniteurs, au résultat d'une avalanche ayant eu lieu l'hiver 2009-2010 dans le Champsaur.

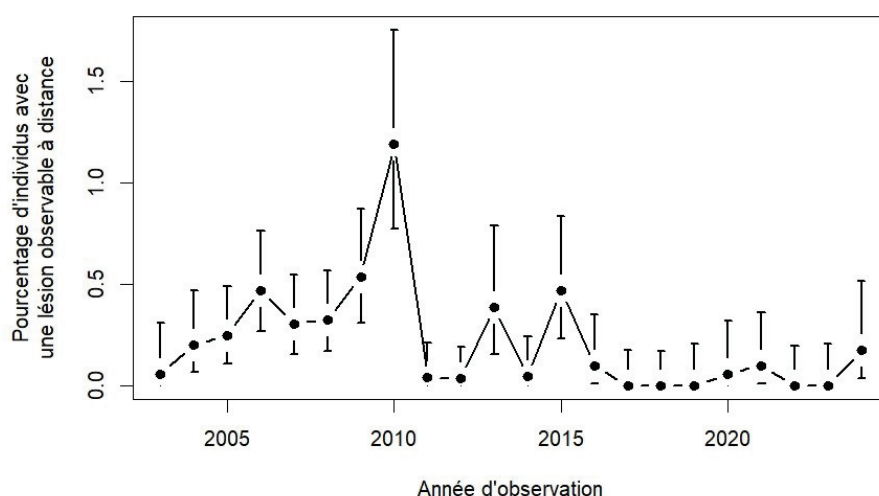


Figure 38 : Nombre de cadavres observés pour 100 chamois observés en fonction de l'année d'observation.

Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard dans l'hypothèse où l'observation de cadavre suit la loi binomiale où un cadavre est défini comme un succès

En analysant les graphiques, les observations de cadavres sont nettement plus fréquentes en hiver (0,59 % [0,47 ; 0,73]) (*Figure 39*), avec une occurrence environ six fois supérieure à celle des autres saisons. Cela est probablement dû, en partie, à l'avalanche de 2010, mais aussi au fait que les chamois sont plus faibles à cette saison.

Le Champsaur présente une moyenne plus élevée, avec 1,01 % [0,77 ; 1,29] de cadavres observés (*Figure 40*), le Briançonnais montre un taux inférieur, estimé à 0,37 % [0,26 ; 0,52], et enfin les autres implantations présentent des valeurs généralement plus faibles.

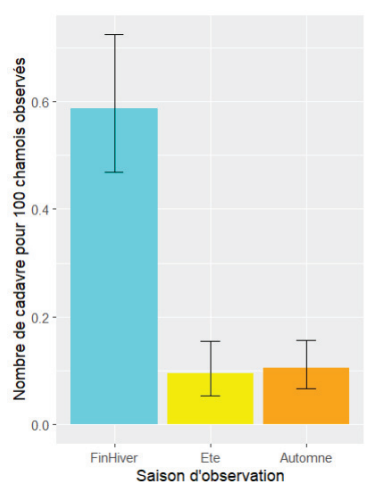


Figure 39 : Nombre de cadavres pour 100 chamois observés en fonction de la saison d'observation

Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard dans l'hypothèse où l'observation de cadavre suit la loi binomiale où un cadavre est défini comme un succès

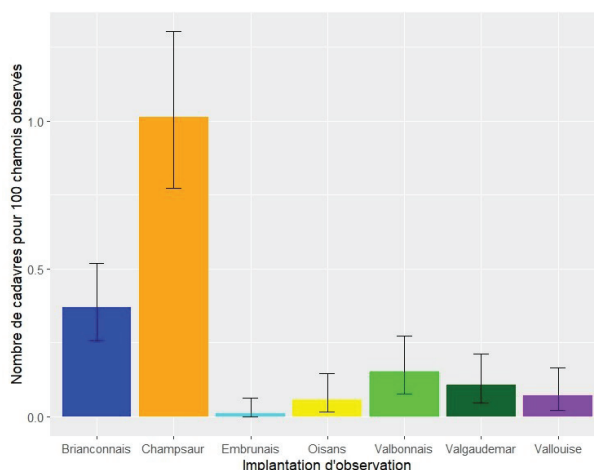


Figure 40 : Nombre de cadavres pour 100 chamois observés en fonction de l'implantation de l'observation

Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard dans l'hypothèse où l'observation de cadavre suit la loi binomiale où un cadavre est défini comme un succès

II.C.2. Description de de la probabilité d'observer une lésion

Sur les 52 503 chamois observés, 2,09 % présentaient au moins une lésion visible à distance (Figure 41), soit un total de 1098 chamois avec au moins un type de lésions recensées et 1 145 lésions notées. La moitié des lésions observées sont des traumatismes, 15,8% sont des boiteries, 10,6% des lésions oculaires, 9,3% des lésions respiratoires, 8,5 des faiblesses généralisées, 5,2% des lésions cutanées et 0,7% des lésions digestives. Les 0,2% restant correspondent aux lésions non classées.

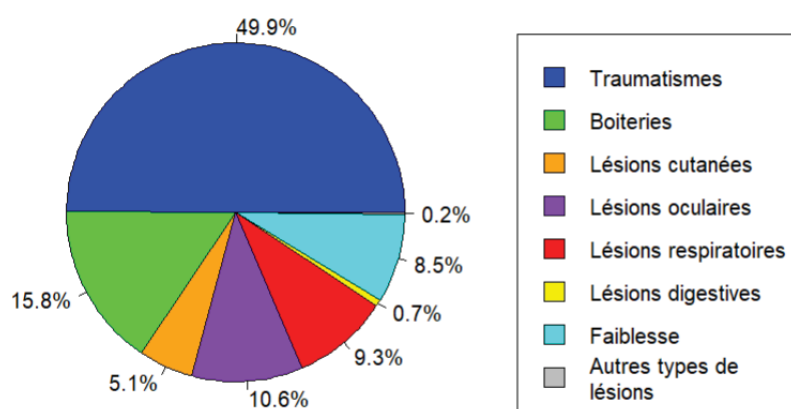


Figure 41 : Poids de chaque type de lésions dans les observations réalisées sur 1 104 lésions recensées

II.C.2.a. Variations de la probabilité d'observer un chamois avec une lésion

>> En fonction de l'année

Au cours des 22 années de mise en œuvre du protocole, le pourcentage de chamois observé avec une lésion a globalement augmenté (*Figure 42*), passant de 0,9 % [0,5 ; 1,5] en 2003 à 3,3 % [2,5 ; 4,3] en 2024, avec un maximum en 2017, année durant laquelle 3,6% [2,8 ; 4,5] des chamois observés présentaient une lésion identifiable à distance.

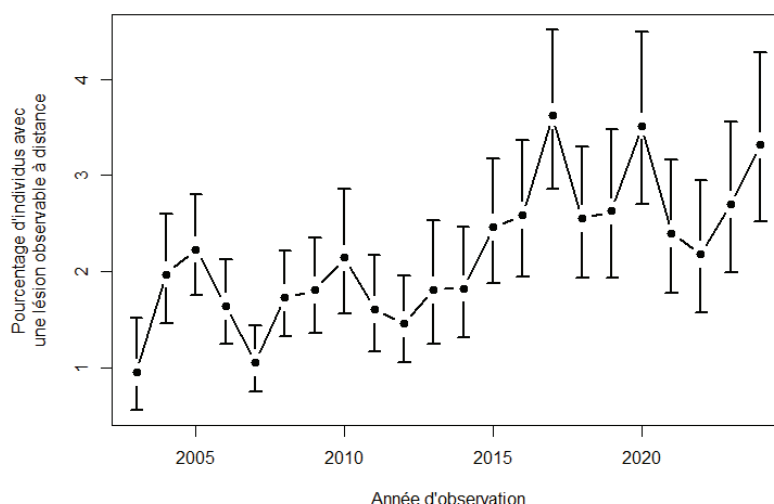


Figure 42 : Pourcentage d'individus observés avec une lésion (de tout type) en fonction de l'année d'observation.

Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard dans l'hypothèse où la probabilité d'observer une lésion suit la loi binomiale où une lésion observée est définie comme un succès

>> En fonction de la saison d'observation

Les lésions visibles à distance ne sont pas observées avec la même fréquence selon la saison d'observation (*Figure 43 A*). Elles sont moins fréquemment détectées en été, avec 1,7 % [1,5 ; 1,9] des individus observés présentant une lésion, contre 2,2 % [2,0 ; 2,4] en automne et 2,4 % [2,2 ; 2,7] en fin d'hiver.

>> En fonction de l'implantation d'observation

On observe une forte disparité dans la fréquence d'observation d'une lésion entre le nord-ouest et l'est du Parc (*Figure 43 B*). Cette différence est particulièrement marquée entre l'implantation de la Vallouise et d'autres implantations du nord-ouest du Parc, comme le Valgaudemar, où la proportion de chamois présentant une lésion varie du simple au double. Par exemple, seulement 1,34 % [1,08 ; 1,63] des chamois observés en Vallouise présentaient une lésion quelconque, contre 2,77 % [2,40 ; 3,17] dans le Valgaudemar.

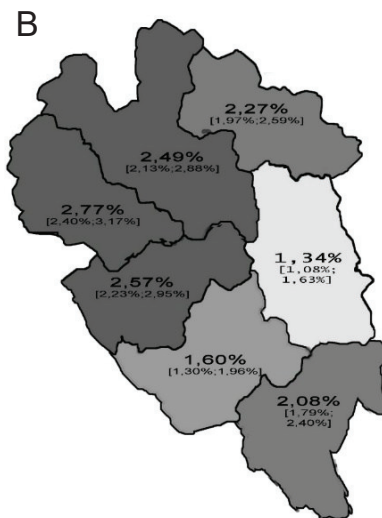
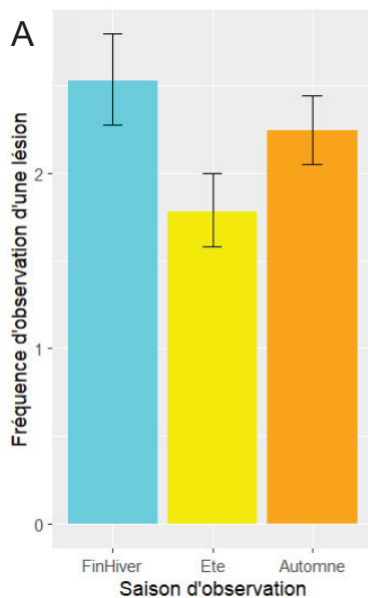


Figure 43 : Fréquence, en pourcentage d'observation d'une lésion sur un chamois en fonction de la saison d'observation (A) ou de l'implantation (B)

Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard dans l'hypothèse où l'observation d'une lésion suit la loi binomiale où un cadavre est défini comme un succès

>> En fonction du type de groupe et de la taille du groupe

Les chamois sont observés en groupes de tailles très variables, allant d'individus isolés jusqu'à des rassemblements de plus de 100 individus. La fréquence moyenne d'individus présentant une lésion visible à distance décroît avec la taille du groupe (Figure 44). Ainsi, parmi les chamois solitaires, environ 12 % présentent une lésion. En revanche, dans les groupes de plus de 50 individus, le pourcentage moyen de lésion observé est régulièrement proche de 0. Cependant plus la taille du groupe augmente, plus le nombre de groupes observés de cette taille diminue, ce qui accroît l'incertitude des estimations et peut conduire à des valeurs extrêmes. C'est notamment le cas pour le groupe composé de 56 chamois, pour lequel une seule observation a été réalisée, avec plus de 12 % d'individus présentant une lésion.

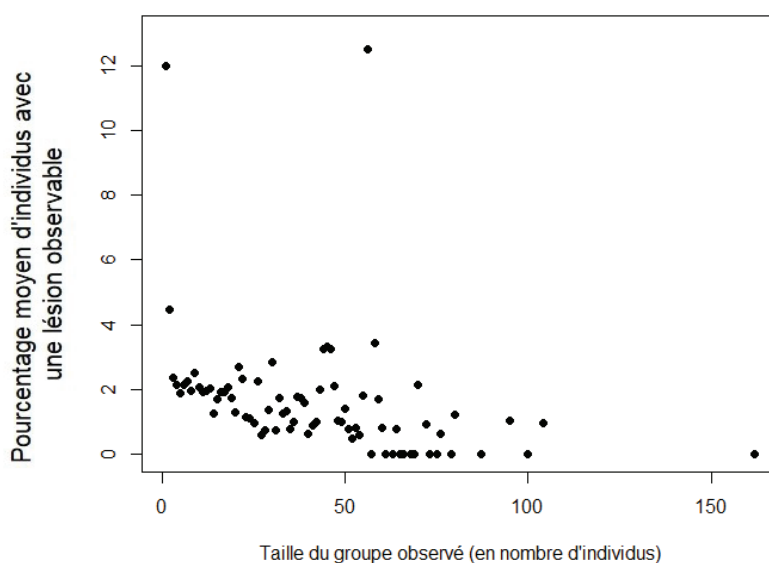


Figure 44 : Pourcentage moyen d'individus présentant une lésion observable à distance en fonction de la taille du groupe observé

Le pourcentage de chamois présentant une lésion observable à distance varie en fonction de la composition du groupe (*Figure 45*) : 4,92 % [4,32 ; 5,58] des chamois appartenant à des groupes composés en majorité de mâles adultes présentent une lésion, contre seulement 2 % dans les groupes à majorité de femelles adultes. Ces données suggèrent que les mâles sont plus fréquemment atteints par des lésions visibles que les femelles.

Cependant, cette interprétation doit être nuancée par la taille des groupes (*Figure 46*) : 75 % des groupes à majorité de mâles sont composés de moins de 3 individus, à l'inverse, 75 % des groupes à majorité de femelles sont composés de plus de 3 individus. Ainsi, la plus forte fréquence de lésions observée chez les mâles pourrait être liée au fait qu'ils évoluent plus souvent en petits groupes, où l'observation individuelle est plus précise, ce qui peut augmenter la probabilité de détecter une lésion.

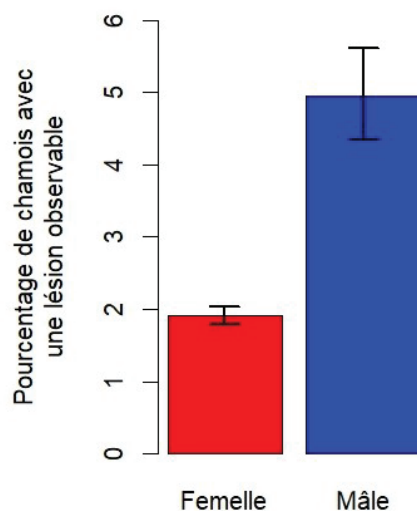


Figure 45 : Pourcentage d'individus observés avec une lésion au sein des deux types de groupes : Groupes à majorité d'adultes mâles (« Mâle ») et groupes à majorité de femelles (« Femelle »).

Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard dans l'hypothèse où la probabilité d'observer une lésion suit la loi binomiale où une lésion observée est définie comme un succès

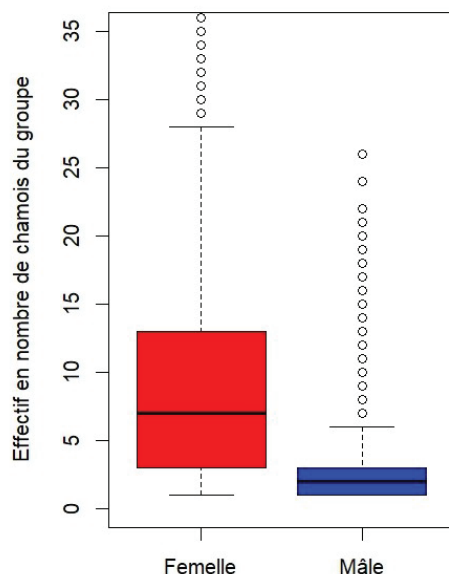


Figure 46 : Diagramme en boîte de la taille des différents groupes de chamois composés en majorité de mâles (« Mâle ») et de femelles (« Femelle »)

Par souci de lisibilité du diagramme, les valeurs au-dessus de 35 ne sont pas affichées

II.C.2.b. Modélisation de la probabilité d'observer une lésion

Le modèle le plus parcimonieux (avec l'AICc le plus faible) inclut l'ensemble des 5 variables explicatives (*Tableau 7*). Cela signifie que l'année, la saison, le secteur, le type de groupe et la taille du groupe ont un effet significatif sur la probabilité d'observer une lésion chez un chamois.

Annee	Saison	Implantation	Type de groupe	Taille de groupe	df	DeltaAICc	Weight
0,022	+	+	+	-0,0254	13	0	0,977
	+	+	+	-0,0264	12	7,54	0,023
0,021		+	+	-0,0261	11	14,42	0,001
		+	+	-0,2701	10	20,88	0

Tableau 7 : Ensemble des modèles les plus parcimonieux (AICc < 20) expliquant les variations de probabilité d'observer une lésion selon les observations.

Le tableau indique les variables explicatives, le degré de liberté (df), deltaAICc (différence entre l'AIC spécifique au modèle et l'AIC le plus bas) et le poids du modèle.

Les résultats du modèle sélectionné, avec les effets de chaque variable explicative, sont résumés ici et présentés dans l'*Annexe 2.1*.

- Effet « année » : La probabilité d'observer un chamois avec une lésion augmente significativement dans le temps (OR = 1,023 [1,021 ; 1,024]). Ce qui signifie que chaque année, la probabilité d'observer un chamois avec une lésion est 1,023 fois plus importante que celle de l'année précédente.
- Effet « saison » : La probabilité relative d'observer un chamois avec une lésion en été est plus faible par rapport à la saison de référence en automne (OR = 0,74 [0,63 ; 0,87]. Il n'y a pas de différence significative entre la fin d'hiver et l'automne (OR = 0,99 [0,87 ; 1,15]).
- Effet « implantation » : La probabilité d'observer une lésion varie beaucoup entre implantations. Elle est plus faible en Vallouise que dans toutes les autres implantations. Si on prend cette implantation comme référence, alors la probabilité d'observer un chamois avec une lésion est significativement plus importante dans le Valbonnais (OR = 4,06 [2,69 ; 6,14]), dans le Valgaudemar (OR = 3,18 [2,28 ; 4,44]), dans le Briançonnais (OR = 2,74 [1,82 ; 4,13]), dans le Champsaur (OR = 2,29 [1,42 ; 3,68]), dans l'Embrunais (OR = 2,10 [1,33 ; 3,30]) et dans l'Oisans (OR = 1,93 [1,24 ; 2,99]).
- Effet « type de groupe » et « taille de groupe » : La probabilité d'observer un chamois avec une lésion est significativement plus importante dans un groupe « mâles » que dans un groupe « femelles » (OR = 1,94 [1,64 ; 2,29]). Cette probabilité se réduit lorsque la taille du groupe d'où le chamois est observé augmente (OR = 0,975 [0,969 ; 0,980]).

Cela confirme les observations mentionnées lors de l'analyse descriptive. Les deux derniers effets étant, très probablement corrélés ensemble et liés, nous le verrons par la suite, à un biais observateur, ils ne seront plus mentionnés par la suite car presque systématiquement présents sur chaque type de lésion.

II.C.3. Modélisation de la probabilité d'observer chaque type de lésion

L'analyse réalisée ci-dessus a donc été réitérée pour chaque type de lésions. Nous dressons ici un résumé des analyses réalisées, mais la totalité des valeurs des analyses statistiques (Odds-Ratio) sont présentes en *Annexe 2*.

II.C.3.a. Traumatismes

Le modèle sélectionné selon le critère d'AICc inclut 4 variables explicatives : la saison, l'implantation, le type de groupe et la taille du groupe. L'absence de l'effet année indique qu'il n'y a pas de variation significative de cette probabilité au cours du temps. L'ensemble des ORs entre chacune des valeurs de ces 4 variables explicatives sont présentés dans *l'Annexe 2.2*.

- Effet « saison » (*Figure 47 A*) : Si on utilise l'automne comme saison de référence, la probabilité d'observer un traumatisme est significativement plus faible en été par rapport à l'automne (OR = 0,71 [0,57 ; 0,88]) et en fin d'hiver. Il n'y a pas de différence significative entre l'automne et la fin d'hiver (OR = 1,06 [0,88 ; 1,29]).
- Effet « implantation » (*Figure 47 B*) : La probabilité d'observer un traumatisme dans la Vallouise est relativement faible. Si on utilise cette implantation comme implantation de référence, alors la probabilité d'observer un traumatisme est significativement plus forte dans le Valbonnais (OR = 3,23 [1,92 ; 5,43]) et le Valgaudemar (OR = 2,64 [1,74 ; 4,00]). Par rapport à la Vallouise, il n'y a pas de différence significative sur cette probabilité avec l'Oisans (OR = 1,72 [0,99 ; 2,98]), le Champsaur (OR = 1,38 [0,76 ; 2,53]), le Briançonnais (OR = 1,27 [0,69 ; 2,36]) et l'Embrunais (OR = 0,83 [0,44 ; 1,56]).

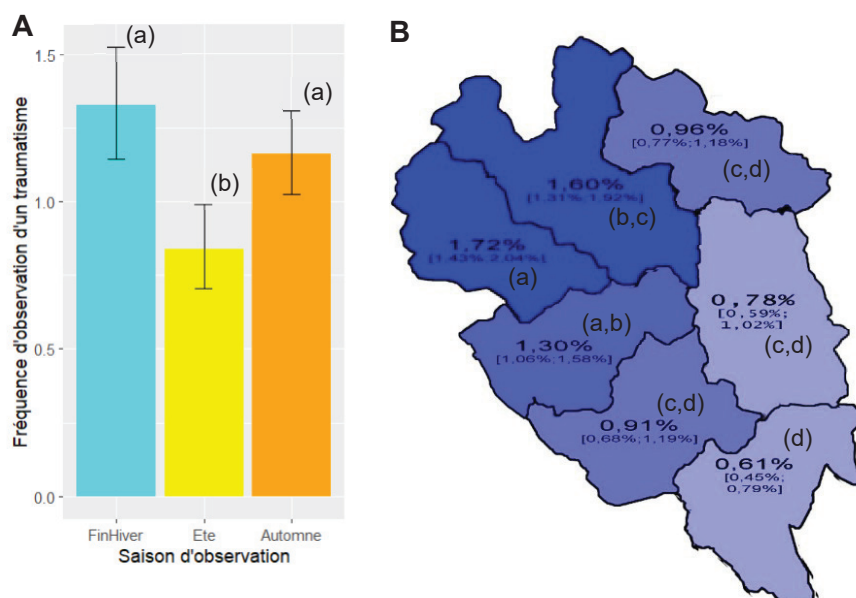


Figure 47 : Pourcentage moyen de chamois observés avec un traumatisme en fonction de la saison (A) ou de l'implantation (B)

Les barres du diagramme et les valeurs chiffrées de la carte correspondent à la fréquence d'observation, accompagnées de leur incertitude à 95%. Les lettres indiquent les différences significatives entre saisons et implantations selon le modèle GLMM sélectionné

II.C.3.b. Boiteries

Le modèle sélectionné inclut 3 variables explicatives : l'implantation, le type de groupe et la taille du groupe. L'ensemble des ORs entre chacune des valeurs de ces 3 variables explicatives sont présentés dans *l'Annexe 2.3*

- Effet « implantation » (Figure 48) : La probabilité d'observer une boiterie est la plus faible dans la Vallouise. Si on utilise cette implantation comme implantation de référence, alors la probabilité d'observer une boiterie est significativement dans le l'Embrunais (OR = 2,59 [2,34 ; 5,02]), le Valbonnais (OR = 2,14 [1,07 ; 4,29]). Cependant au sein du Briançonnais (OR = 1,99 [0,998 ; 3,96]), du Champsaur (OR = 1,49 [0,70 ; 3,14]), de l'Oisans (OR = 1,37 [0,69 ; 2,72]) et du Valgaudemar (OR = 1,29 [0,67 ; 2,48]), il n'y pas de différence significative avec la Vallouise sur la probabilité d'observer une boiterie chez un chamois.

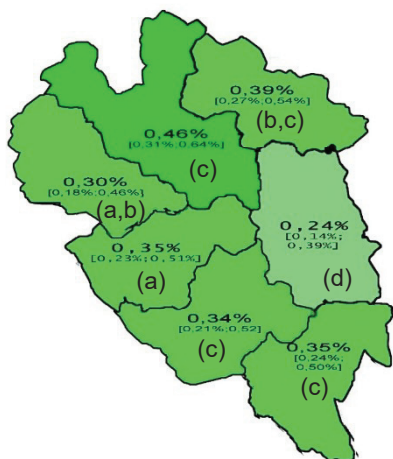


Figure 48 : Pourcentage moyen de chamois observés avec une boiterie en fonction de l'implantation

Les valeurs chiffrées de la carte correspondent à la fréquence d'observation, accompagnées de leur incertitude à 95%. Les lettres indiquent les différences significatives entre saisons et implantations selon le modèle GLMM sélectionné

II.C.3.c. Lésions oculaires

Le modèle retenu inclut l'ensemble des cinq variables explicatives : l'année, la saison, l'implantation, le type de groupe et la taille du groupe. L'ensemble des ORs entre chacune des valeurs de ces 5 variables explicatives sont présentés dans l'Annexe 2.4

- Effet « année » : La probabilité d'observer une lésion oculaire augmente significativement dans le temps (OR = 1,051 [1,049 ; 1,054]) (Figure 49). Cette augmentation significative ne semble néanmoins pas linéaire et semble présenter plutôt deux pics (2008-2009 et 2020-2021).

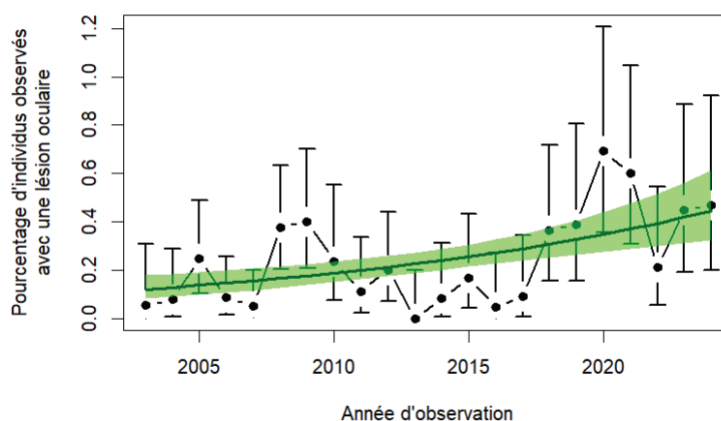


Figure 49 : Pourcentage d'individus observés avec une lésion oculaire en fonction de l'année d'observation.

Les points correspondent à la fréquence d'observation, accompagnés de leur incertitude à 95%. La ligne verte indique la prédiction du modèle GLMM, accompagnée de son intervalle de confiance à 95%.

- Effet « saison » (Figure 50 A) : Si on prend l'automne comme saison de référence. La probabilité d'observer une lésion oculaire est significativement plus faible en été (OR = 0,36

[0,21 ; 0,62]. Il n'y a pas de différence significative entre l'automne et la fin d'hiver (OR = 0,72 [0,48 ; 1,07]).

- Effet « implantation » (*Figure 50 B*) : Comme pour les boiteries, la probabilité d'observer une lésion oculaire est plus faible en Vallouise que dans toutes les autres implantations. Si on prend cette implantation comme référence, la différence sur la probabilité d'observer une lésion oculaire par rapport à cette implantation est significative avec l'Embrunais (OR = 23,18 [5,24 ; 102,52]), le Valbonnais (OR = 11,14 [2,60 ; 47,71]), le Champsaur (OR = 7,93 [1,51 ; 41,74]), le Valgaudemar (OR = 5,34 [1,24 ; 23,10]) et le Briançonnais (OR = 4,97 [1,16 ; 21,28]) Tandis qu'il n'y a pas de différence significative entre l'Oisans et la Vallouise (OR = 4,36 [0,89 ; 21,22]).

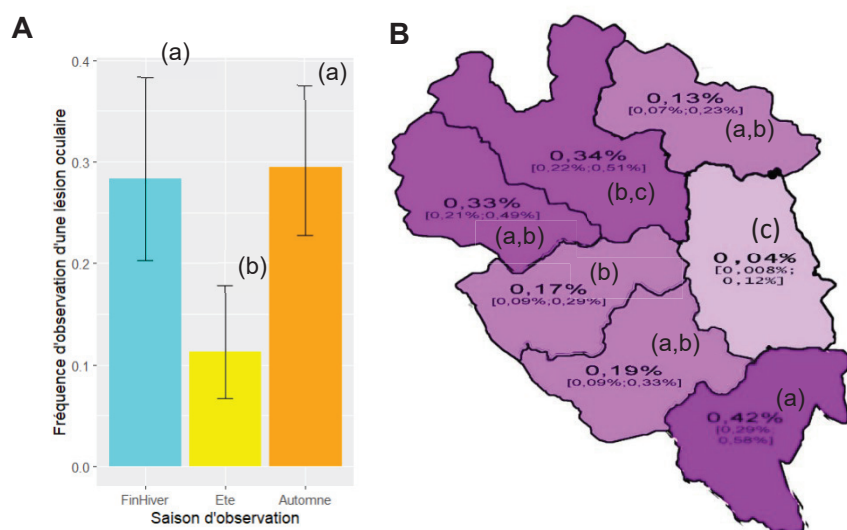


Figure 50 : Pourcentage moyen de chamois observés avec une lésion oculaire en fonction de la saison (A) ou de l'implantation (B)

Les barres du diagramme et les valeurs chiffrées de la carte correspondent à la fréquence d'observation, accompagnées de leur incertitude à 95%. Les lettres indiquent les différences significatives entre saisons et implantations selon le modèle GLMM sélectionné

Lorsqu'on regarde en détail l'évolution temporelle de la fréquence d'observation d'une lésion oculaire en cours du temps dans l'Oisans et l'Embrunais (deux implantations où la fréquence d'observation moyenne de ce type de lésion est la plus élevée (*Figure 51*), les courbes semblent marquer deux pics, observés aux mêmes dates que sur la *Figure 49* : le pic de 2008-2009 pour l'Oisans et le pic de 2019-2021 pour l'Embrunais. L'interaction entre l'année et l'implantation a été testée. En utilisant de nouveau la Vallouise comme implantation de référence, on ne note pas de différence significative avec l'ensemble des implantations, même l'Embrunais (OR = 3,06 [0,84 ; 11,12]) ou encore l'Oisans (OR = 0,39 [0,11 ; 1,42]).

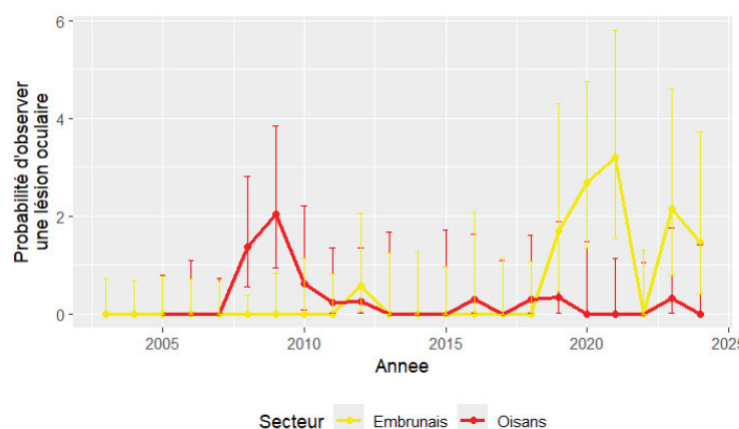


Figure 51 : Pourcentage d'individus observés avec une lésion oculaire en fonction de l'année d'observation dans l'Oisans et l'Embrunais.

Les points correspondent à la fréquence d'observation, accompagnés de leur incertitude à 95%.

II.C.3.d. Lésions cutanées

Le modèle sélectionné inclut 4 variables explicatives : l'année, la saison, l'implantation et la taille du groupe. L'ensemble des ORs entre chacune des valeurs de ces 4 variables explicatives sont présentés dans l'Annexe 2.5.

- Effet « année » (Figure 52) : La probabilité d'observer une lésion cutanée augmente significativement dans le temps (OR = 1,13 [1,07 ; 1,21]), Comme pour les lésions oculaires, l'augmentation de cette probabilité ne semble pas linéaire au cours du temps mais marque une augmentation importante depuis 2022.

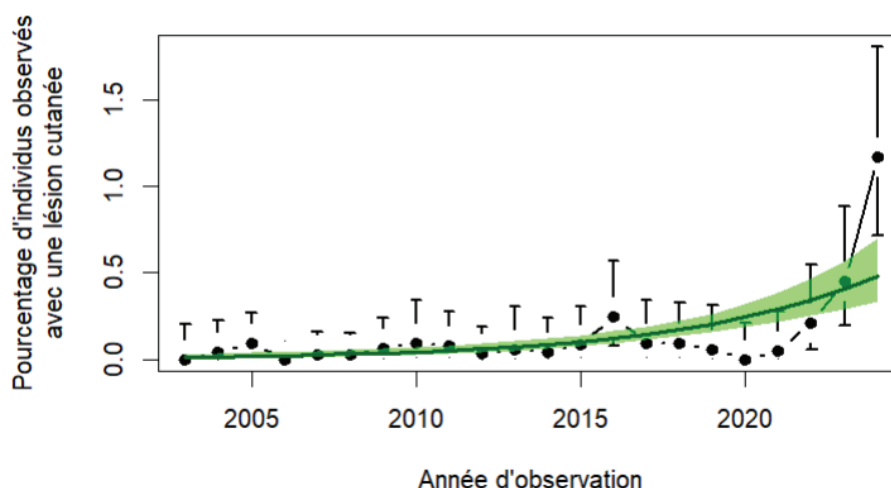


Figure 52 : Fréquence en pourcentage d'observation d'une lésion cutanée en fonction du temps

Les points correspondent à la fréquence d'observation, accompagnés de leur incertitude à 95%. La ligne verte indique la prédiction du modèle GLMM, accompagnée de son intervalle de confiance à 95%.

- Effet « saison » (Figure 53 A) : Si l'on utilise l'Automne comme implantation de référence. La probabilité d'observer une lésion cutanée est significativement plus forte en été (OR = 3,19 [1,45 ; 7,04]) et en fin d'hiver (OR = 2,41 [1,06 ; 5,49]) par rapport à l'automne.
- Effet « implantation » (Figure 53 B) : Si on prend la Vallouise comme implantation de référence, la différence par rapport à cette implantation est significative avec l'Embrunais (OR = 15,84 [3,02 ; 83,05]) et le Valgaudemar (OR = 7,96 [1,63 ; 38,82]), Tandis qu'il n'y a pas de différence significative avec l'Oisans (OR = 3,02 [0,50 ; 18,30]), le Champsaur (OR = 2,80 [0,28 ; 27,76]), le Briançonnais (OR = 2,37 [0,36 ; 15,57]) et le Valbonnais (OR non estimable.)

Nous avons souhaité tester si la variation annuelle différait significativement entre les implantations en testant l'interaction entre l'année et l'implantation. Si l'on choisit la Vallouise comme implantation de référence, la variation est significativement plus importante dans l'Embrunais (OR = 4,35 [1,08 ; 1,75]) mais dans aucune autre implantation. L'Embrunais présente donc un poids important sur l'augmentation de la fréquence de lésions cutanées détectées sur la Figure 52.

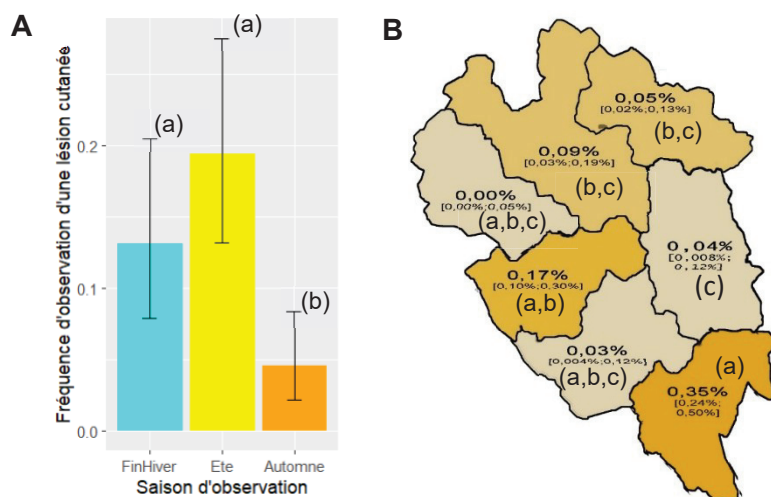


Figure 53 : Pourcentage moyen de chamois observés avec une lésion cutanée en fonction de la saison (A) ou de l'implantation (B)

Les barres du diagramme et les valeurs chiffrées de la carte correspondent à la fréquence d'observation, accompagnées de leur incertitude à 95%. Les lettres indiquent les différences significatives entre saisons et implantations selon le modèle GLMM sélectionné

II.C.3.e. Lésions respiratoires

Le modèle sélectionné selon le critère d'AICc inclut 3 variables explicatives : la saison, l'implantation et la taille du groupe. L'ensemble des ORs entre chacune des valeurs de ces 3 variables explicatives sont présentés dans l'Annexe 2.6

- Effet « saison » (Figure 54 A) : Si on prend l'automne comme saison de référence, la probabilité d'observer une lésion respiratoire en automne est significativement plus forte qu'en été (OR = 0,53 [0,32 ; 0,87]) ou en de fin d'hiver (OR = 0,57 [0,35 ; 0,90]).
- Effet « Implantation » (Figure 54 B) : Si on utilise la Vallouise comme implantation de référence, alors on note que la différence avec les autres implantations est significative pour le Briançonnais (OR = 9,63 [4,06 ; 22,89], différence la plus importante), l'Embrunais (OR = 5,78 [1,91 ; 17,52]) et le Valgaudemar (OR = 3,99 [1,45 ; 10,93]). Tandis qu'il n'y a pas de différence significative entre le Valbonnais (OR = 1,56 [0,42 ; 5,80]), le Champsaur (OR = 1,25 [0,29 ; 5,31]) et l'Oisans (OR = 0,31 [0,03 ; 2,88]) par rapport à la Vallouise.

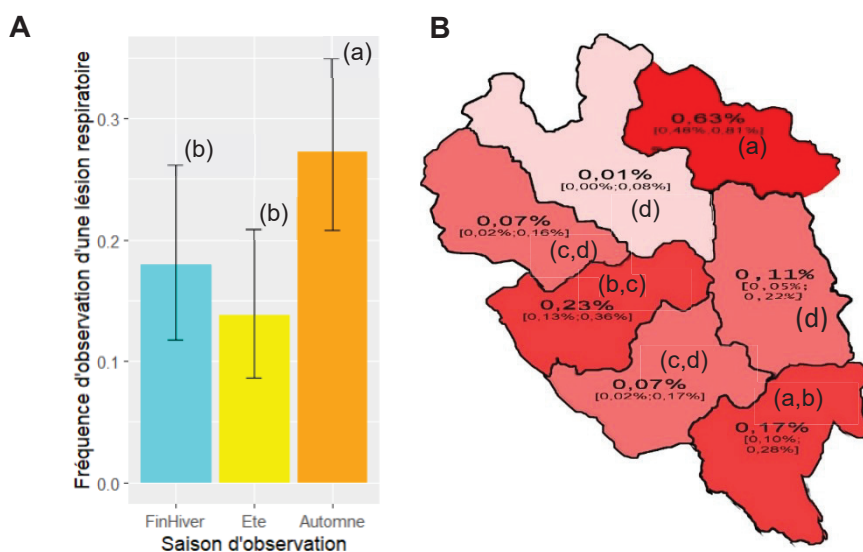


Figure 54 : Pourcentage moyen de chamois observés avec une lésion respiratoire en fonction de la saison (A) ou de l'implantation (B)

Les barres du diagramme et les valeurs chiffrées de la carte correspondent à la fréquence d'observation, accompagnées de leur incertitude à 95%. Les lettres indiquent les différences significatives entre saisons et implantations selon le modèle GLMM sélectionné

II.C.3.f. Lésions digestives

Le modèle sélectionné selon le critère d'AICc inclut seulement 2 variables explicatives. Seuls le type de groupe et la saison ont un effet significatif sur la probabilité d'observer une lésion digestive chez un chamois. L'ensemble des ORs entre chacune des valeurs de ces 2 variables explicatives sont présentés dans l'*Annexe 2.7*

- Effet « saison » : La probabilité d'observer une lésion digestive n'est pas significativement différente si on observe les chamois en été (OR = 2,34 [0,42 ; 13,05] ou en fin d'hiver (OR non estimable) par rapport à l'automne

II.C.3.g. Faiblesses

Le modèle le plus parcimonieux inclut 3 variables explicatives : la saison, l'implantation et la taille du groupe. L'ensemble des ORs entre chacune des valeurs de ces 3 variables explicatives sont présentés dans l'*Annexe 2.8*

- Effet « saison » (*Figure 55 A*) : Lorsque l'on prend l'automne comme saison de référence, la probabilité d'observer une faiblesse est significativement plus élevée en fin d'hiver qu'en automne (OR = 2,32 [1,41 ; 3,82]) tandis qu'il n'y a pas de différence significative entre l'été et l'automne (OR = 1,36 [0,79 ; 2,35]) ;
- Effet « implantation » (*Figure 55 B*) : La Vallouise présente une probabilité d'observer une faiblesse plus faible que presque toutes les autres implantations. Si on prend cette zone comme implantation de référence, la différence avec les autres implantations est significative avec le Valgaudemar (OR = 10,68 [3,21 ; 35,48], différence la plus marquée), le Valbonnais OR = 7,60 [2,14 ; 26,98], l'Embrunais (OR = 4,85 [1,20 ; 1,96]), l'Oisans OR = 4,68 [1,20 ; 19,60], et le Briançonnais OR = 3,86 [1,004 ; 14,83]. Cependant il n'y a pas de différence significative avec le Champsaur (OR = 3,07 [0,67 ; 14,04]).

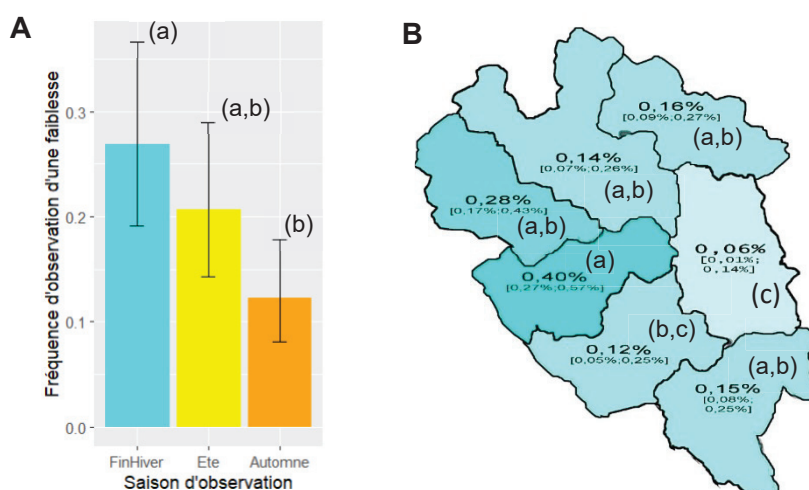


Figure 55 : Pourcentage moyen de chamois observés avec une faiblesse en fonction de la saison (A) ou de l'implantation (B)

Les barres du diagramme et les valeurs chiffrées de la carte correspondent à la fréquence d'observation, accompagnées de leur incertitude à 95%. Les lettres indiquent les différences significatives entre saisons et implantations selon le modèle GLMM sélectionné

III. Discussion

A. Méthode de travail

III.A.1. Méthode de collecte et qualité des données recueillies

La première étape de ce travail a consisté à récolter, rassembler et homogénéiser les données issues du suivi visuel des chamois. Cette tâche a nécessité la compilation de plusieurs types de fichiers : des documents papiers et informatiques contenant des données brutes de terrain pour une année et implantation, et des données informatiques compilant plusieurs années ou implantations.

Entre 2003 et 2017, les données avaient déjà été rassemblées dans le cadre d'un travail de thèse précédent (Orihel, 2019). Toutefois, grâce à l'aide précieuse de Yoann Bunz, il a été possible de retrouver les fiches papier correspondant à cette période. Ceci a permis de lever plusieurs incertitudes, de rajouter des observations manquantes et de compléter certaines informations, telles que les identités des observateurs ou encore de corriger des erreurs de structuration des groupes.

Un exemple particulièrement marquant est celui des observations réalisées dans le Champsaur en juillet 2010. Dans le fichier informatique, une seule ligne de données figurait pour cette session, regroupant toutes les observations en un seul enregistrement de 275 chamois. Or, l'examen des fiches papier a révélé qu'il s'agissait en réalité de 38 groupes distincts, et ces données ont donc été réparties sur 38 lignes d'observation.

Ainsi, il est apparu essentiel de se référer autant que possible aux données d'origine. Cependant, toutes les données papier n'étaient pas disponibles pour l'ensemble des années. Il subsiste donc potentiellement des erreurs ou imprécisions, notamment concernant la taille des groupes.

Pour limiter ces biais, une vérification a été effectuée avec l'aide de l'ensemble des techniciens patrimoine actuellement en poste. Leur contribution a permis de compléter ou corriger environ une centaine de lignes. Néanmoins, pour les données datant de plus de 10 ans, peu de membres de l'équipe actuelle étaient déjà présents à l'époque. Ainsi, lorsque les fiches papier manquaient, certaines informations n'ont pas pu être retrouvées, en particulier concernant les identités des observateurs, absentes pour 661 lignes de données.

Ces constats soulignent l'importance d'une certaine rigueur dans la saisie des informations de terrain, en particulier lors du passage du format papier au format numérique. Le tableau, compilé par nos soins, pourrait servir de base d'analyse pour les données entre 2003 et 2024 pour des travaux ultérieurs.

III.A.2. Le biais d'observation

Dans ce protocole, les gardes-moniteurs du Parc national des Écrins jouent un rôle essentiel en tant qu'observateurs de terrain. Contrairement aux méthodes basées sur le piégeage photographique, où les images peuvent être consultées et réanalysées (Lenglin, 2024), la qualité de l'observation repose entièrement sur les compétences et l'interprétation de ces agents.

Le PNE comprend 7 implantations composées d'un technicien patrimoine et d'environ 5 gardes-moniteurs, soit environ une trentaine d'observateurs potentiels. De plus, au cours des 22 ans de protocoles, ceux-ci ont changé. Cette diversité d'observateurs soulève la question de la fiabilité des données collectées, en particulier en ce qui concerne l'homogénéité des observations. Plusieurs biais potentiels peuvent être identifiés. Le temps passé à observer chaque animal peut varier selon les observateurs, tout comme l'intérêt personnel pour l'espèce suivie ou pour la méthode. Cette hétérogénéité peut influencer la détection des lésions ou symptômes. Pour aider à garder une motivation et un intérêt constant pour l'espèce, des retours réguliers en interne sur les résultats issus des données collectées pourraient renforcer l'implication des agents et la rigueur des observations.

Il existe aussi une marge d'interprétation individuelle concernant la nature pathologique ou non d'un symptôme. Par exemple, « à partir de quel degré de perte de poils considère-t-on qu'il s'agit d'une lésion cutanée et non d'une simple mue physiologique ? ». Plusieurs solutions peuvent limiter ce biais :

- Demander aux observateurs de noter systématiquement toutes les anomalies, même mineures, et faire évaluer les anomalies par une seule personne ou par un groupe au moment de la centralisation des données (comme dans les travaux de Dhondt *et al.*, (1998)). Ce travail a en partie été réalisé dans le cadre de cette étude, via une relecture de tous les commentaires associés aux données pour statuer sur leur caractère pathologique ou non, et certains commentaires ont donné lieu à une absence de lésion comptabilisée. Cependant tous les chamois ne sont pas décrits, ainsi une lésion mineure, interprétée comme non pathologique par l'observateur, ne sera pas renseignée.
- Définir les seuils et critères de détection des symptômes. Par exemple, « Si un chamois tousse deux fois ou plus dans un laps de temps donné, il doit être noté comme présentant un problème respiratoire. », ou encore « Si plus de 30 % de la surface corporelle présente un poil dégradé ou hirsute, la lésion est considérée comme pathologique. ». Ces critères standardisés devraient être accessibles à tous les agents (sous forme de fiche ou guide de terrain).
- Former régulièrement les agents à l'identification des lésions observables, en complément de l'utilisation d'un guide de terrain, notamment à l'occasion des bilans annuels sur le protocole.
- Adapter les grilles d'observation sur le terrain en détaillant les symptômes. Par exemple, dans la rubrique « problèmes respiratoires », inclure des sous-colonnes : toux, jetage, éternuement, essoufflement... Cela facilite la saisie et réduit l'interprétation personnelle.
- Prendre des images, en particulier des observations douteuses, à l'aide d'appareils pouvant s'adapter à la longue vue utilisée. Cela permettrait un visionnage de l'observation et potentiellement avoir l'avis d'un référent.

Un biais spatial pourrait survenir si chaque garde-moniteur se rend toujours dans les mêmes zones qu'il choisit, risquant ainsi de manquer des symptômes présents ailleurs. Le choix des zones d'observation doit se faire en amont pour diversifier l'exploration, tout en prenant en compte l'avis des garde-moniteurs sur les emplacements des chamois pour limiter les sorties avec un faible nombre d'individus observés et une topographie de terrain compliquée ce qui peut décourager. Certaines autres peuvent être aussi complètement inaccessibles, ce qui alimente ce biais également.

III.A.3. Choix des variables analysées et de la méthode d'analyse

III.A.3.a. Variables analysées pour le suivi démographique

Pour évaluer la dynamique de population du chamois, nous avons choisi d'analyser en détail deux indicateurs : le succès reproducteur et la proportion de mâles. Ces deux variables permettent de fournir une image des variations dans la composition démographique d'une population, notamment les rapports entre chevreaux, femelles et mâles.

Nous avons également exploré le taux de survie et le « taux de recrutement ». Cependant, ces deux variables n'ont pas été approfondies. Le taux de survie s'est révélé relativement stable en fonction du temps. Le « taux de recrutement », étant directement lié au succès reproducteur, nous avons préféré concentrer nos analyses sur ce dernier.

Certaines autres variables démographiques non analysées dans cette étude, par manque de données fiables, pourraient être pertinentes. La taille des groupes aurait pu être une variable intéressante à analyser, notamment en lien avec les notions de dépendance à la densité ou de pression de prédation (loup), comme le suggèrent plusieurs études (Orazi et al., 2025; Vander Wal et al., 2013). Par ailleurs, plusieurs gardes-moniteurs ont mentionné avoir l'impression que les groupes observés étaient de plus en plus petits, ce qui rendrait plus difficile l'atteinte de l'objectif des 100 individus observés par session. Toutefois, la fiabilité de cette variable est remise en question par les incertitudes liées au traitement des données. Lors du passage des fiches papier aux formats numériques, certains groupes ont été fusionnés artificiellement, ce qui fausse la distribution réelle des tailles de groupe. Des échanges autour des pratiques de terrain ont montré que certains observateurs regroupent des individus pourtant isolés et distants de plus de 100 m en un seul groupe sur la feuille papier.

De même, l'altitude moyenne des chamois observés pourrait être une variable intéressante. Plusieurs gardes ont également mentionné une hausse apparente de l'altitude des groupes de chamois observés, rendant leur approche plus difficile. Ce phénomène a été décrit dans d'autres contextes comme une réponse soit à la présence de prédateurs, notamment du loup (Orazi *et al.*, 2025), soit à l'augmentation des températures (Mason et al., 2014). Dans les Écrins, où le loup est présent sporadiquement depuis 1997 puis de manière plus régulière depuis 2010 (Parc National des Écrins, 2025), et où le réchauffement climatique est présent, une telle analyse aurait été pertinente. Cependant, en l'absence d'information précise sur l'altitude (les données ne mentionnent que les lieux-dits, sans altitude exacte), cette analyse n'a pas pu être menée de manière fiable.

Ces deux variables pourraient être analysées à l'avenir moyennant une prise en compte de l'altitude de l'observation et une saisie des groupes par les agents plus rigoureuse.

III.A.3.b. Choix des variables analysées pour le suivi sanitaire

Dans cette étude, nous avons analysé la fréquence des lésions observées par rapport au nombre total d'individus scrutés. Les lésions ont été classées en huit catégories : « Traumatismes », « Boiteries », « Lésions oculaires », « Lésions cutanées », « Lésions respiratoires », « Lésions digestives », « Faiblesses », « Autres ». Ce classement s'appuie à la fois sur la thèse de Camille Orihel, (2019), qui avait déjà réalisé un classement des lésions observées par les gardes moniteurs, mais également sur celle de Laura Lenglin (2025), où une classification similaire chez le lynx a été définie, parfois à

partir d'analyses photographiques. Elle propose également d'autres catégories telles que : « Troubles comportementaux », « Troubles de l'état corporel », « Troubles génitaux » et « Troubles neurologiques ». Dans notre travail, nous avons choisi de regrouper les troubles d'état corporel et nerveux dans la catégorie « Faiblesse », décrivant des animaux en mauvais état général, présentant par exemple des signes d'ataxie. Cela semble compliqué à distance de distinguer l'ataxie induite par un trouble nerveux ou par une faiblesse marquée.

La catégorie « Autre » de notre étude regroupe les observations non classables dans les catégories précédentes. Seulement deux cas y figurent :

- Une surdité probable, caractérisée par l'absence de réaction aux stimuli sonores/au bruit mais une fuite à la vue ;
- Une masse sous-mandibulaire, semblant composée de tissu, suspectée d'être une tumeur. Cette lésion aurait pu être incluse dans les lésions cutanées.

En raison du faible nombre de lésions observées mais non classées, le choix des catégories proposées nous semble pertinent. Certaines catégories pourraient être ajoutées à l'avenir (troubles génitaux, troubles nerveux), si ces lésions tendent à se développer. Ceci étant, cela nécessiterait qu'une formation spécifique pour ce type de lésion soit réalisée par les observateurs.

III.A.3.c. Variables explicatives

Nous avons observé l'effet de plusieurs variables sur les données démographiques et sanitaires. Ces variables incluent l'année, la saison et l'implantation. Pour les données d'ordre sanitaire, les effets « taille de groupe » et « type de groupe » ont également été considérés. L'année est une variable particulièrement intéressante du fait de la longue série de données disponible, permettant ainsi d'observer une évolution sur le long terme.

La saison présente également un intérêt particulier, car elle illustre la cyclicité de certaines données démographiques ou les variations saisonnières de prévalence des lésions. Dans notre étude, les modalités de la variable « saison » ont varié : avant 2012, quatre saisons étaient prises en compte, contre trois après 2012. Nous avons fusionné les saisons d'octobre et de décembre en une seule afin de ne garder que 3 saisons sur l'ensemble des années d'observation. Il convient de noter que, tandis que nos variables « fin d'hiver » et « été » couvrent une période d'un ou deux mois, celle de l'automne s'étend sur trois à quatre mois, pour les années avant 2011 (*Figure 21*). Cela peut entraîner d'importantes variations, notamment dans la proportion de chevreaux par rapport au nombre de femelles, selon les années, en fonction de la période (octobre ou décembre) à laquelle les observations ont véritablement été effectuées.

L'implantation est une notion permettant d'évaluer les disparités géographiques. Les implantations sont délimitées par des vallées, ce qui sépare physiquement, du moins en partie, les populations de chamois. Notre analyse spatiale aurait pu être approfondie en utilisant les noms des communes, qui sont renseignés pour presque toutes les observations. Cela n'a pas été fait dans le cadre de cette étude, mais pourrait l'être dans le futur, notamment pour explorer plus en détail les résultats faisant ressortir une implantation en particulier, afin d'étudier l'évolution intra-implantation. Mais il faudra garder en tête que la superficie des communes peut être importante. Pour permettre une analyse spatialisée de ce protocole, les coordonnées GPS (latitude et longitude) seraient idéales, mais elles sont malheureusement très rarement renseignées, ce qui rend leur utilisation impossible dans notre cas. En termes d'améliorations possibles du protocole, il pourrait être intéressant de demander

aux observateurs de renseigner les coordonnées des différents groupes observés (ou bien de le placer sur une carte, à l'aide de l'application « Geonature » par exemple).

Le type de groupe a été défini en fonction de la proportion de mâles adultes présents dans le groupe : si cette proportion est supérieure à 50 %, le groupe est classé comme « mâle » ; sinon, il est classé comme « femelle ». Cette distinction repose sur le comportement socio-spatial du chamois. La prise en compte de cette variable avait pour but de déterminer si les mâles étaient plus fréquemment observés avec des lésions que les femelles, mais, dans nos données, le type de groupe est fortement lié à la taille du groupe, si bien que les deux analyses apportent les mêmes informations.

La taille du groupe avait initialement pour objectif de déterminer si les lésions étaient plus fréquentes dans des populations denses comparées à des populations plus dispersées. Cependant, après échanges avec les gardes-moniteurs et à la lumière de l'analyse des données, nous avons constaté que les groupes de grande taille sont souvent associés à une moindre détection des lésions, probablement en raison de la difficulté à observer individuellement les chamois dans ces conditions. Par ailleurs, la taille des groupes peut être biaisée par des erreurs lors de l'enregistrement des données, notamment lorsque des individus appartenant à des groupes distincts sont comptabilisés comme un seul groupe.

Dans le cadre de notre analyse des données sanitaires, un effet observateur aléatoire a été introduit afin de pondérer les observations en fonction de la variabilité entre observateurs. Cette approche repose sur l'hypothèse que les observateurs, en fonction de leur formation, de leur expérience et de leur rigueur, peuvent détecter les lésions avec des niveaux de précision variables. En revanche, nous avons supposé que ces différences n'influencent pas significativement la détermination de l'âge et du sexe des individus, ces critères nécessitant une expérience moins poussée.

Par ailleurs, 661 enregistrements ne comportaient pas d'information sur l'identité de l'observateur. Afin de pouvoir les inclure dans l'analyse, un observateur générique nommé « PNE » leur a été attribué. Cette décision permet de conserver un maximum de données, au prix toutefois d'une légère diminution de la rigueur dans l'attribution précise des observations. Un autre point important concerne les observations effectuées par des groupes d'observateurs. Dans ces cas, seul le premier nom renseigné était conservé. Il n'est cependant pas possible de confirmer que cette personne était effectivement l'observateur principal lors de chaque session.

B. Résultats du suivi visuel

III.B.1. Description de l'échantillon

La puissance de ce protocole repose en grande partie sur la taille de l'échantillon : l'objectif fixé à 100 chamois observés par session et par an permet d'atteindre un total d'environ 2 100 observations annuelles. Cet effectif est particulièrement intéressant pour l'étude des lésions, qui, bien que rares (moins de 2,5 % des chamois observés), permettent de mettre en évidence des effets significatifs importants.

Cependant, cet objectif est difficile à atteindre dans certaines implantations du parc, notamment dans le Champsaur et le Valgaudemar. Après discussion avec les techniciens-patrimoine et les gardes-moniteurs, ces disparités entre implantations peuvent s'expliquer par deux facteurs principaux : Des différences de topographie entre implantations, rendant l'observation des chamois plus ou moins difficile

selon la distance et la visibilité. Cela semble particulièrement vrai pour les secteurs du Champsaur et du Valgaudemar. Mais aussi une baisse de motivation au sein des équipes, rendant la mise en œuvre du protocole plus compliquée (moins de personnel disponible et volontaire). Ce constat est surtout marqué dans le Champsaur, où le protocole a même été interrompu pendant quelques années, jugé peu pertinent.

Pour évaluer la difficulté de mise en œuvre du protocole, nous avons examiné l'évolution du nombre moyen de chamois observés par sortie. Celui-ci a globalement diminué depuis le début du suivi, rendant plus difficile l'atteinte de l'objectif fixé et contribuant à la baisse de motivation des observateurs. Si les sorties sont toujours organisées de manière comparable, cette diminution peut traduire soit une baisse d'abondance réelle des animaux, soit une modification de leur répartition spatiale dans le secteur étudié (altitude plus élevée, dispersion plus importante). Les gardes-moniteurs évoquent notamment une diminution de la taille des groupes, ce qui peut justement induire cet effet.

III.B.2. Démographie de la population

III.B.2.a. Succès reproducteur

Le succès reproducteur, que nous avons défini comme le rapport entre le nombre de chevreaux observés et le nombre de femelles observées au cours d'une année, est en moyenne de 0,58. Celui-ci diminue significativement au cours du temps, avec une baisse estimée à environ 3,7 % [3,2 ; 4,2] de sa valeur par an. Cette tendance a déjà été évoquée dans les comptes rendus annuels de Michel Bouche et reprise par le Parc (Parc national des Écrins, 2023b).

Pour comparer ce taux avec d'autres sources, il faut noter que sa définition varie souvent dans la littérature. Cependant, nous pouvons comparer, par exemple, le rapport entre les chevreaux et les femelles sur les observations estivales, ce qui fournit une approximation du taux de fécondité, un paramètre lui plus couramment défini dans les études. Ce taux de fécondité est également en diminution, comme le succès reproducteur global, passant de 0,75 [0,69 ; 0,80] en 2004 à 0,63 [0,55 ; 0,71] en 2024. Morin et al. (2016) mentionnent une fécondité, calculée à partir de captures sur plusieurs femelles entre 2007 et 2013, variant entre 0,6 et 0,8. Ainsi malgré cette diminution, la fécondité apparente dans le PNE reste dans des valeurs déjà observées sur d'autres populations.

Bien que cette tendance à la diminution varie légèrement selon les saisons, elle reste globalement identique. Toutefois, des différences importantes apparaissent selon les implantations : la décroissance est importante dans l'Oisans, la Vallouise, l'Embrunais et le Champsaur tandis qu'elle est modérée voire absente dans le Valgaudemar, le Valbonnais et le Briançonnais.

Ces variations peuvent être expliquées par des différences climatiques, en particulier entre secteurs, et des changements des conditions météorologiques liées au dérèglement climatique. En effet, le changement climatique se manifeste fortement en montagne (Dumont et al., 2025). Des conditions hivernales rigoureuses, peuvent affecter ponctuellement le succès reproducteur des chamois. En effet, un hiver difficile peut entraîner une surmortalité des jeunes, une baisse de la condition corporelle des femelles, ou encore retarder les mises-bas. Au fil des années, les différents secteurs peuvent avoir connu des changements distincts des conditions météorologiques. La solution serait d'analyser les données météorologiques locales pour tester cette hypothèse.

La prédation peut indirectement entraîner une baisse du succès reproducteur, non seulement via la prédation directe des chevreaux, mais également par l'augmentation du stress chez les femelles,

susceptible de réduire leurs performances reproductives (Orazi et al., 2025). La survie des chevreaux ne semble pas avoir évolué au fil du temps, ce qui pourrait indiquer une absence d'augmentation de la prédation sur ces derniers. Cependant, la population croissante de loups au sein du parc pourrait jouer un rôle dans ce phénomène.

En dehors des conditions météorologiques ou de la prédation, deux grandes hypothèses peuvent expliquer ce résultat. La première est qu'il existe un lien entre succès reproducteur et densité de population, qu'on nomme « densité dépendance ». Cette hypothèse suggère que la baisse du succès reproducteur pourrait être liée à une augmentation de la densité de population. Des études ont montré une réduction de la fécondité, notamment chez les jeunes femelles, lorsque la densité augmente (Bonenfant et al., 2009; Pioz et al., 2008). Cette baisse peut s'expliquer par une plus grande difficulté d'accès aux ressources et une diminution du poids corporel, ce qui diminue l'apport énergétique alloué à la reproduction chez les femelles.

Pour explorer cette piste, nous avons étudié les variations de la densité dans les secteurs où le succès reproducteur diminue le plus rapidement. Nous avons utilisé les indices d'abondance pédestre (IPA) issus des suivis estivaux coordonnés par la Fédération Départementale des Chasseurs des Hautes-Alpes (FDC 05), en collaboration avec le Parc National des Écrins. Ces données ont été transmises par Dominique GUILLET (Technicien Supérieur « Grande Faune » à la FDC 05) (*Annexe 3*). Ces IPA sont basés sur des parcours fixes répétés chaque année, permettant d'estimer une abondance relative à partir du nombre moyen de chamois observés par sortie. Aucune variation significative de l'abondance n'a été détectée sur la période étudiée, ce qui semble indiquer que la population des chamois est stable et cela devrait se traduire par un succès reproducteur constant.

La seconde hypothèse envisageable pour expliquer la baisse du succès reproducteur repose sur le fait que des **maladies infectieuses** (virales, bactériennes ou parasitaires) susceptibles d'affecter la fertilité, de provoquer des avortements ou de réduire la survie des jeunes seraient de plus en plus fréquentes. Plusieurs agents pathogènes peuvent jouer un rôle dans cette dynamique :

- *Chlamydia spp*, *Coxiella burnetii* (fièvre Q) et *Salmonella spp* ont déjà été associés à une diminution du succès reproducteur chez le chamois (Pioz et al., 2008). L'effet de ces agents pathogènes semble renforcé en contexte de forte densité.
- Les pestivirus (Border Disease Virus, BVD), chez l'isard, semble provoquer une diminution de la reproduction et de la survie juvénile, même en l'absence de signes cliniques ou de mortalité de masse (Martin et al., 2013; Pioz et al., 2008).

Une baisse de reproduction liée à un agent pathogène pourrait passer totalement inaperçue, avec le protocole de suivi visuel (avortement, mortalité chez les jeunes). D'après les données sérologiques récoltées sur les chamois depuis 2009, environ 20 % des individus testés sont séropositifs aux pestivirus, ce qui indique un passage ancien ou un portage du virus dans la population. Toutefois, aucune augmentation de la prévalence n'a été observée au cours du temps, ce qui ne suggère pas une dynamique épidémique en cours. En revanche, on observe une augmentation progressive de la séroprévalence de la fièvre Q chez les chamois, passant de moins de 5% en 2019 à 20% en 2024 (*Document interne au parc non publié*) Cette évolution pourrait avoir un impact sur le succès reproducteur calculé via notre protocole.

Pour confirmer ou écarter cette hypothèse sanitaire, il serait nécessaire d'étudier les relations entre le suivi visuel et le suivi sérologique réalisé chez les chamois chassés. On peut s'attendre notamment à

ce que les agents pathogènes affectant la reproduction (fièvre Q, salmonellose, chlamydie, border disease) soient de plus en plus présents dans le sud-est du Parc, où des déclin reproducteurs marqués ont été observés.

Pour conclure, actuellement la population de chamois dans le parc national ne semble pas menacée. Cependant, la présence de la fièvre Q dans les résultats sérologiques impose une vigilance particulière, afin de suivre l'évolution du succès reproducteur au cours des prochaines années et d'évaluer d'éventuelles corrélations avec la maladie.

III.B.2.b. Proportion de mâles

Depuis 2018, on observe une augmentation significative de la proportion de mâles parmi les adultes observés, en particulier dans le secteur de l'Embrunais et lors des observations estivales. Chez le chamois, les études antérieures estiment que le sex-ratio est généralement légèrement en faveur des femelles. Par exemple, dans les Alpes maritimes italiennes, Bocci *et al.* (2010) rapportent un sex-ratio variant entre 1:1,1 et 1:1,3, ce qui correspond à une proportion de mâles d'environ 45%.

Ce déséquilibre en faveur des femelles est courant chez les chamois, mais aussi plus largement chez les ongulés sauvages. Il est généralement expliqué par une survie plus faible des mâles (Loison *et al.*, 1999; Wittmer, 2008), en raison d'un coût énergétique plus élevé lié à leur taille corporelle plus importante et d'une dépense énergétique accrue pendant le rut, ce qui entraîne une mortalité plus importante chez les jeunes (Bocci *et al.*, 2010).

Pour expliquer l'augmentation significative de la proportion de mâles, il se pourrait que la survie des mâles ait augmenté ou, inversement, que celle des femelles ait diminué. Un facteur environnemental important à considérer est une augmentation importante du nombre de loups dans le parc à partir de 2018, soit la même période que le changement observé (Parc National des Écrins, 2025). Cependant, le loup s'attaque plus fréquemment aux mâles, qui seraient moins craintifs (Palmegiani *et al.*, 2013), cette hypothèse est donc peu probable.

Une autre explication possible serait une modification de la détectabilité entre les sexes, liée à des changements comportementaux induits par la présence du loup et/ou par les changements de conditions météorologiques et de phénologie de la végétation. Les mâles sont moins craintifs et ont tendance à rester plus visibles face à un danger. Les femelles, surtout si elles sont accompagnées de chevreaux, adoptent un comportement de fuite plus rapide, grimpent en altitude et deviennent plus difficiles à détecter (Baruzzi *et al.*, 2017). L'hypothèse pourrait être que, depuis l'augmentation de l'abondance des loups dans le parc, le comportement des femelles a changé, les rendant moins détectables. Cette hypothèse entre dans le contexte du cadre conceptuel du « paysage de la peur », qui stipule que, au-delà de leur effet sur les proies tuées, les prédateurs ont un effet plus large sur l'écologie de leurs proies, réduisant leur fécondité, leur survie et leur abondance. Ces changements passent par des ajustements comportementaux et physiologiques nécessaires pour les proies pour éviter la prédation (Zanette & Clinchy, 2019). Dans ce contexte, l'arrivée du loup pourrait avoir entraîné une baisse de visibilité des femelles, conduisant à une surestimation relative des mâles dans les données issues des observations estivales.

Il est important de considérer un éventuel biais lié à l'observateur, notamment dans l'identification du dimorphisme sexuel. Celui-ci repose en partie sur des différences de gabarit, mais aussi sur la taille et la forme des cornes, des critères parfois difficiles à distinguer à distance. Afin de tester l'influence de ce biais, nous avons ajouté un effet aléatoire « observateur » dans notre modèle généralisé. L'inclusion de

ce terme n'a pas modifié la significativité des effets fixes. Ainsi, même si un biais d'observation ne peut être totalement exclu, son influence est *a priori* limitée pour l'analyse de la proportion de mâle.

III.B.3. Situation sanitaire

III.B.3.a. Evolution temporelle (2003-2024)

Une des forces de ce protocole réside dans sa durée dans le temps. Or, on remarque que la probabilité d'observer une lésion chez le chamois augmente significativement au fil des années. Cette tendance peut s'expliquer de deux manières : soit la fréquence réelle des lésions a augmenté, soit leur détection s'est améliorée au fil des années. Toutefois, cette seconde hypothèse a été écartée pour plusieurs raisons :

- Comme dans l'étude de Dhondt *et al.* (1998), à notre connaissance, les gardes-moniteurs n'ont pas reçu de formation spécifique à la reconnaissance des signes cliniques visibles à distance chez le chamois, depuis le lancement du protocole en 2003. De plus, les effets liés aux changements d'observateurs ont été pris en compte à travers une variable aléatoire intégrée dans les tests statistiques.
- L'augmentation observée n'est ni globale ni systématique pour tous les types de lésions : seules les lésions cutanées et oculaires montrent une augmentation significative au cours du temps.

On observe donc bien une hausse de la fréquence des lésions. Cependant, cette augmentation n'est pas constante : les syndromes oculaires, par exemple, semblent évoluer par vagues, quant aux lésions cutanées, un pic marqué apparaît sur deux années. La signification de ces résultats sera discutée plus en détail dans la suite de la discussion consacrée aux lésions.

III.B.3.b. Variations saisonnières

La probabilité d'observer une lésion apparaît significativement plus faible en été. L'hypothèse principale pour expliquer cette tendance, appuyée par les retours des agents de terrain, repose sur une moindre détectabilité des chamois durant cette saison. En effet, les chamois montent en altitude en été (Gibert, 2017), rendant leur observation plus difficile. De plus, ils deviennent plus farouches, notamment les femelles accompagnées de jeunes, ce qui complique l'examen visuel à distance. Cette diminution de la détection est particulièrement marquée pour les lésions oculaires et les traumatismes.

À l'inverse, les lésions cutanées et digestives ne suivent pas cette tendance : elles sont davantage observées en été, potentiellement liées au changement de qualité de l'herbe en été. Cependant, ces résultats doivent être interprétés avec prudence, en raison du faible nombre de cas recensés, notamment pour les lésions digestives, ce qui limite la portée statistique de cette observation.

III.B.3.c. Variations entre secteurs

L'analyse de l'effet « implantation » met en évidence une probabilité plus élevée d'observer des lésions dans les implantations situées au nord-ouest du parc, notamment dans les implantations du Valgaudemar, du Valbonnais, de l'Oisans et du Briançonnais par rapport à celles du sud-est, comme le Champsaur, l'Embrunais et la Vallouise. Toutefois, cet effet varie fortement selon le type de lésion considéré. L'effet implantation révèle une fragmentation spatiale du territoire, avec certaines lésions localisées de manière marquée. Par exemple, la vague de lésions oculaires observée en 2020 semble

avoir été cantonnée à l'Embrunais, tandis que les lésions respiratoires sont quasiment exclusives au Briançonnais, avec des probabilités bien plus faibles dans les implantations voisines.

Ces observations suggèrent une sectorisation importante des populations de chamois, du moins dans ces zones et pourraient justifier la mise en place de plans d'action ciblés à l'échelle de l'implantation en cas d'épizootie.

Toutefois, l'effet implantation est aussi l'un des plus sensibles aux biais liés aux observateurs, ceux-ci étant en grande majorité affectés à une implantation fixe. Cela renforce la nécessité d'une concertation entre les équipes de chaque implantation, afin d'harmoniser les manières d'observer et de partager les résultats.

III.B.3.d. Effet taille de groupe

La probabilité d'observer une lésion diminue avec l'augmentation de la taille du groupe de chamois observé, et ce pour l'ensemble des types de lésions, à l'exception des lésions digestives. Ce résultat va à l'encontre de certaines études qui rapportent au contraire une augmentation des lésions dans les groupes plus denses (Filipe *et al.*, 2025).

Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cet effet contraire.

Les chamois en petits groupes, voire isolés, pourraient présenter un risque plus élevé de lésions. En effet, certains individus fortement lésés peuvent être incapables de suivre le groupe, ce qui expliquerait leur isolement. Ainsi, la présence de lésions pourrait être une cause, et non une conséquence, de la taille réduite du groupe.

La détection des lésions est plus difficile dans les grands groupes. Ce biais est très probable, comme en témoigne la description faite par plusieurs gardes-moniteurs ayant participé au protocole d'observation. La première étape consiste à compter les individus, puis à déterminer leur âge et leur sexe, une tâche longue et complexe, notamment lorsque les animaux se déplacent. Ce n'est qu'ensuite que les observateurs examinent les individus un par un pour détecter d'éventuelles lésions. Ce type de biais d'observation a déjà été souligné dans d'autres études, notamment sur les oiseaux observés aux mangeoires (Dhondt *et al.*, 1998).

Pour limiter ce biais d'échantillonnage, on pourrait envisager d'encourager les observateurs à examiner attentivement chaque individu, quitte à ne pas couvrir l'ensemble du groupe. Toutefois, cette stratégie présente plusieurs inconvénients :

- Les tailles de groupe inscrites ne seraient alors plus du tout représentatives de la réalité.
- La structure démographique (âge et sexe) de la population ne serait plus exploitable, car les femelles et les jeunes, plus fréquents dans les grands groupes, risqueraient d'être sous-comptés.
- Se concentrer uniquement sur les petits groupes induirait un autre biais de sélection, en excluant une partie significative de la population.

Ce biais semble difficile à réduire. Si des analyses sont réalisées à l'avenir, il conviendra de le prendre systématiquement en compte dans l'interprétation des résultats.

III.B.3.e. Effet type de groupe

L'effet « type de groupe » est significatif pour plusieurs types de lésions : oculaires, digestives, boiteries et traumatismes. Cet effet est systématiquement orienté dans le même sens : la probabilité d'observer une lésion est plus élevée dans les groupes de mâles que dans ceux de femelles.

Cela pourrait indiquer que les mâles présentent une prévalence plus élevée de lésions que les autres classes d'âge et de sexe. Ce constat est en accord avec le comportement général des mâles qui montrent que ceux-ci sont plus exposés à des facteurs de stress, à des interactions agressives, ou encore à des conditions physiologiques pouvant favoriser l'apparition de lésions. De plus, les mâles sont souvent surreprésentés parmi les cadavres analysés, ce qui suggère également une mortalité plus élevée (Vengušt et al., 2022).

Toutefois, cette interprétation doit être nuancée, car deux facteurs peuvent également augmenter la probabilité de détecter des lésions chez les mâles :

- Les mâles se regroupent en effectifs plus réduits, comme évoqué précédemment, ce qui facilite une observation individuelle plus précise.
- Les mâles réagiraient différemment face à une menace, en adoptant d'abord une attitude d'observation plutôt que de fuite immédiate, contrairement aux femelles (Baruzzi *et al.*, 2017). Cela pourrait permettre de s'approcher davantage et de laisser davantage de temps et par rapport aux observateurs pour examiner leur état de santé.

Ainsi, l'effet « type de groupe » est probablement le résultat combiné d'une véritable prévalence plus élevée de certaines lésions chez les mâles et d'un biais d'observation lié aux conditions dans lesquelles ils sont observés.

C. Lésions observées et hypothèses

III.C.1. Les traumatismes

Les traumatismes représentent 50 % des lésions observées, et leur fréquence reste stable dans le temps. La majorité des cas recensés par les observateurs concernent des cornes cassées ou absentes. Ces lésions sont observées chez des animaux en bon état général, ne présentant pas d'autres signes apparents de blessure ou de détresse. Nous avons exclu les cas de traumatismes susceptibles de provoquer d'autres signes cliniques (tels qu'une boiterie ou une lésion cutanée), afin d'éviter le biais d'interprétation concernant l'étiologie du symptôme. Par exemple, il est difficile de déterminer si une plaie cutanée résulte d'une chute ou d'un prurit intense.

Par ailleurs, bien que les traumatismes constituent une cause de mortalité importante chez le chamois, représentant environ 10 % des cas de mortalité selon Vengušt *et al.* (2022), 8 % dans la thèse de Camille Orihel (2019), ils ne semblent pas constituer pour le cœur du parc une menace, puisque les traumatismes mortels recensés dans ces études sont dans la majorité des cas liés à des accidents de la voie publique. Il faut cependant noter que des accidents peuvent survenir, comme ça a été le cas en 2010 avec l'avalanche dans le Champsaur, mais ces événements sont ponctuels dans notre étude.

D'un point de vue géographique, les traumatismes sont significativement relevés de manière plus fréquente dans le Valgaudemar et le Valbonnais. Cette répartition pourrait être liée à des différences de topographie entre les implantations. En effet, certaines études montrent que, chez le bouquetin, les lésions traumatiques telles que les cornes cassées sont plus souvent observées dans des massifs escarpés (Hars & Gauthier, Dominique, 1994). On peut logiquement imaginer que cette hypothèse puisse également s'appliquer au chamois, ce qui pourrait participer à expliquer la fréquence de détection de lésion traumatiques dans ces secteurs particulièrement accidentés du parc national.

III.C.2. Les boiteries

D'après notre analyse, les cas de boiteries sont détectés de manière constante au fil des saisons et des années. Leur prévalence est plus marquée dans les implantations du nord-ouest du parc, notamment dans les secteurs du Valgaudemar, du Valbonnais et de l'Oisans.

Les boiteries sont signalées par les agents de terrain comme des animaux présentant des difficultés de déplacement : démarche raide, dos voussé¹¹, voire appui sur trois pattes uniquement. Dans certains cas, la lésion est localisée grâce à une déformation visible du membre touché. Sur deux observations, une fracture est spécifiquement mentionnée, entraînant une modification manifeste de la démarche. Les causes des boiteries peuvent être diverses :

- **D'origine traumatique** : la répartition géographique des cas de boiteries recoupe largement celle des traumatismes (notamment dans les secteurs du Valgaudemar et du Valbonnais), ce qui suggère un lien possible entre ces deux types de lésions.
- **D'origine infectieuse** : certaines infections peuvent provoquer des arthrites, bien que ces signes puissent rester discrets et peu visibles à distance (Gibert, 2017). En cas d'infection, d'autres signes cliniques associés peuvent être observés, tels qu'une altération de l'état général (Lavin et al., 1998).

Pour approfondir les causes des boiteries, un examen clinique rapproché est indispensable. Cela pourrait inclure une prise de sang ou un prélèvement de liquide synovial en vue d'une analyse, bien que cette procédure soit invasive. Le protocole actuellement mis en place permet toutefois la détection d'un nombre significatif de cas de boiteries, ce qui pourrait justifier ce type de procédure afin de rechercher la cause de celles-ci.

III.C.3. Lésions oculaires

Les lésions oculaires observées par les agents de terrain se manifestent principalement par des larmolements (épiphora), des opacifications (« yeux blancs »), des perforations de l'œil, ou encore des cas de cécité. Ces symptômes apparaissent de manière épisodique, sous forme de vagues qui pourraient être de nature épizootiques, avec une première concentration des cas dans l'Oisans en 2008, ainsi que qu'une autre plus importante dans l'Embrunais autour de 2020.

Les lésions oculaires sont moins fréquemment observées en été, et plus souvent à la fin de l'hiver ou à l'automne. Ce schéma a déjà été décrit dans plusieurs études, qui soulignent le rôle important du regroupement des individus pendant le rut (Degiorgis et al., 2000; Gelormini et al., 2016). Cependant, Degiorgis *et al.*, (2000) mentionnent également des cas importants en été sur des cadavres, notamment

¹¹ Posture d'un animal présentant une courbure du dos, avec un report de poids sur les membres antérieurs

en lien avec la présence d'estives. Cela suggère que les observations estivales pourraient être sous-estimées, en raison des limites du protocole actuel déjà évoqué, qui ne permet pas toujours une observation précise des symptômes à cette période.

L'une des maladies les plus fréquemment associées à ce type de symptôme est la kérato-conjonctivite infectieuse, principalement causée par *Mycoplasma conjunctivae* (Gelormini *et al.*, 2016). Cette maladie est connue pour toucher à la fois les ongulés sauvages et les ruminants domestiques et peut entraîner une mortalité importante : jusqu'à 27 % de mortalité chez les chamois dans les Alpes suisses entre 1997 et 1999 (Degiorgis *et al.*, 2000), 10 à 15 % de mortalité chez les bouquetins en Vanoise (Hars & Gauthier, Dominique, 1994). Cette maladie, souvent latente chez les animaux domestiques, peut également être à l'origine de pertes de production. Les estives sont parfois mises en cause dans la résurgence de foyers dans la faune sauvage. Cependant, il a également été démontré que des porteurs asymptomatiques peuvent exister au sein même de la faune sauvage, entretenant le pathogène de manière endémique (Mavrot *et al.*, 2012). Entre 2006 et 2010, plusieurs cas sporadiques de kératite à mycoplasmes ont été signalés dans la Vanoise et dans la partie nord du Parc National des Écrins. Cela pourrait correspondre au pic observé en 2008 dans l'Oisans (Gelormini *et al.*, 2016). Le pic enregistré dans l'Embrunais, en revanche, bien que plus important, ne semble lié à aucun cas connu dans les massifs voisins.

Bien que la maladie puisse entraîner une mortalité non négligeable, une immunité de groupe se met généralement en place assez rapidement (Hars & Gauthier, Dominique, 1994). La stratégie actuelle du Parc National des Écrins repose donc principalement sur ce phénomène (Parc national des Ecrins, 2019), sans intervention directe.

Il pourrait cependant être pertinent de se renseigner auprès des éleveurs dont les troupeaux fréquentent les mêmes zones que les chamois, afin de déterminer ceux atteints de kérato-conjonctivite infectieuse et de renforcer la communication autour de la maladie. Ces actions permettraient de limiter l'arrivée de troupeaux en estive dans les secteurs où des cas ont été détectés chez le chamois et d'éviter la propagation de la maladie du compartiment domestique vers la faune sauvage, en empêchant l'introduction de troupeaux infectés.

III.C.4. Lésions cutanées

Les lésions cutanées observées chez le chamois se traduisent majoritairement par un pelage altéré (pelade, poil hirsute ou terne, mue importante ou incomplète) et parfois des comportements de prurit ininterrompus. Ces observations sont principalement recensées en été, une période relativement tardive pour une mue normale, ce qui retient l'attention de l'observateur. La majorité des cas sont localisés dans l'Embrunais et on constate une augmentation marquée du nombre de cas détectés au cours des deux dernières années.

Plusieurs causes peuvent être envisagées pour expliquer ces lésions :

- La date de mue chez les ongulés sauvages peut varier en fonction de nombreux facteurs intrinsèques (âge, statut physiologique) et extrinsèques (climat, nutrition, stress) (Déry *et al.*, 2019).
- La gale est une maladie bien connue chez les ongulés sauvages, provoquant des lésions cutanées sévères pouvant aller jusqu'à la mort de l'animal. Contrairement aux cas observés ici (seulement dépilation), la gale entraîne souvent une atteinte étendue, avec croûtes,

alopécie marquée et amaigrissement. Elle peut avoir un impact important sur les populations : 42 % des chamois morts en Slovaquie entre 2000 et 2020 étaient atteints de gale (Vengušt *et al.*, 2022). Des épisodes atteignant jusqu'à 80 % de mortalité ont été rapportés dans les Alpes orientales (Rossi *et al.*, 1995). Le bouquetin est également particulièrement sensible à cette maladie (Hars & Gauthier, Dominique, 1994). Dans la zone du PNE, les signes cutanés observés (dépilation essentiellement) semblent peu probablement liés à la gale.

- L'ecthyma contagieux, transmissible entre la faune sauvage et domestique, a été diagnostiqué sur environ 3 % des chamois morts qui ont été analysés dans le cadre de l'étude de Vengušt *et al.* (2022) et il est présent par exemple dans le massif de la Vanoise (Habermacher 2024). Toutefois, les lésions provoquées sont en général localisées au niveau buccal (ulcérations, croûtes), et ne correspondent pas aux signes décrits ici (Gibert, 2017), cette hypothèse est donc peu probable.

Étant donné la hausse rapide du nombre de lésions cutanées observées au cours des toutes dernières années notamment dans l'Embrunais, il semblerait pertinent de mettre en place une investigation approfondie, à l'aide d'un examen clinique rapproché grâce à une capture ciblée des animaux présentant les signes décrits par les agents de terrain, accompagné de la réalisation éventuelle de prélèvements cutanés. Cela permettrait de déterminer si l'origine des lésions observées est infectieuse ou due à une mue retardée.

III.C.5. Lésions respiratoires

Les lésions respiratoires observées par les agents de terrain se manifestent majoritairement par de la toux, parfois par une respiration rapide ou haletante, et rarement par du jetage. Ces symptômes ne montrent pas de variation significative dans le temps, mais sont plus fréquemment rapportés en automne, comparativement à l'été et à l'hiver. La majorité des cas sont recensés dans le Briançonnais, ainsi que dans l'Embrunais.

Les maladies respiratoires sont considérées comme les affections les plus fréquentes chez le chamois. Bien que généralement peu graves, elles peuvent, sous certaines conditions, évoluer en épizooties sévères avec des taux de mortalité élevés (Walzer, 2008). Les origines de ces affections respiratoires sont multiples, incluant des causes parasitaires, bactériennes et virales.

Les parasites pulmonaires (*Dictyocaulus filaria*, *Protostrongylus...*) occupent une place importante dans la pathologie du chamois (Bullone *et al.*, 2024). Ce sont les agents pathogènes les plus fréquemment retrouvés lors des autopsies réalisées par le Parc (Orihel, 2019).

Les bactéries, notamment *Mannheimia haemolytica*, sont régulièrement isolées chez le chamois malade (Walzer, 2008). Cette bactérie, parfois présente dans la flore commensale, peut devenir pathogène en cas de stress ou de co-infection, et provoquer des surinfections pulmonaires sévères, souvent létales (Bullone *et al.*, 2024).

Plusieurs virus respiratoires ont été identifiés chez le chamois. Le Bovine Respiratory Syncytial Virus (BRSV) a été détecté en Italie entre 1998 et 2001 (Citterio *et al.*, 2003), détecté aussi chez les bouquetins du parc chaque année (*document interne*). Plus récemment, un Caprine Respiratory Virus a été identifié chez des chamois italiens (Filipe *et al.*, 2025). Le BRSV, l'adenovirus et le virus

parainfluenza 3 ont aussi été observés sur les bouquetins du PNE (Filipe *et al.*, 2025 ; Orihel, 2019). Filipe *et al.* (2025) rapportent plusieurs observations qui peuvent éclairer nos résultats :

- Transmission depuis la faune domestique : la présence du virus, détectée également chez les petits ruminants domestiques, ce qui pourrait suggérer un rôle des estives dans la diffusion de ces pathogènes.
- Distribution géographique inégale : dans l'étude de Filipe *et al.* (2025) certains virus montrent une prévalence forte dans une zone mais sont absents dans d'autres, ce qui est en accord avec nos observations montrant une concentration des lésions respiratoires dans le Briançonnais. Ce cantonnement est probablement lié à la modalité de transmission des virus nécessitant un contact rapproché.
- Lien avec la taille des groupes : Filipe *et al.* (2025) montrent une augmentation de la prévalence virale avec la taille des troupeaux (contamination plus facile intra-groupe que inter-groupe), tandis que nos données montrent l'inverse. Cette contradiction pourrait s'expliquer par un biais d'observation ou d'échantillonnage, déjà évoqué précédemment.
- Les interactions entre groupes : Plus celles-ci sont élevées plus le virus circule (Filipe *et al.*, 2025). Dans nos résultats, la plus grande fréquence de signes respiratoires à l'automne pourrait être liée à ce phénomène.

Les maladies respiratoires semblent présentes de manière endémique dans les populations de chamois, mais des épizooties localisées peuvent survenir, notamment en lien avec les interactions avec la faune domestique. Étant donnée la concentration de cas dans le Briançonnais, il pourrait être pertinent d'étudier spécifiquement la présence de virus à tropisme respiratoire dans cette zone, et/ou d'évaluer leur présence dans la faune domestique circulant sur ce territoire.

III.C.6. Faiblesses généralisées

Les faiblesses sont caractérisées, dans les observations de terrain, par des individus présentant une apparence amaigrie, apathiques ou en mauvais état corporel général. Ces signes cliniques ne présentent pas de variation significative au cours du temps. À l'échelle du territoire, ces observations sont réparties de manière homogène - à l'exception de la Vallouise, où elles sont moins fréquemment signalées.

Les cas de faiblesses sont cependant plus souvent observés en fin d'hiver, ce qui peut traduire un impact physiologique non négligeable de cette période où les ressources disponibles sont particulièrement limitées.

Chez le chamois, la masse corporelle, qui peut être utilisée comme indicateur général de l'état de santé, est influencée par des facteurs environnementaux : elle est négativement corrélée à l'épaisseur de neige hivernale, qui limite l'accès à la ressource alimentaire. À l'inverse, la masse corporelle est positivement corrélée à des températures clémentes au printemps, qui permettent un accès plus précoce à la végétation. Ces relations peuvent induire des variations ponctuelles de la masse corporelle (Reiner *et al.*, 2021).

Dans le cadre de notre étude, aucune variation annuelle significative n'a été mise en évidence concernant la fréquence des individus faibles. Cela suggère que la difficulté des chamois à subvenir à leurs besoins n'a pas varié au fil des années.

III.C.7. Lésions digestives

Les lésions digestives ne représentent que 0,7 % des lésions observées. Le faible nombre de cas ne permet pas de réaliser d'analyses statistiques pertinentes ni de tirer de conclusions solides. Les deux principales lésions identifiées sont la diarrhée et les abcès buccaux (situés à proximité de la bouche).

Parmi les hypothèses envisageables pour expliquer les cas de diarrhée, les endoparasites constituent une cause fréquente de troubles digestifs. Ils sont régulièrement mis en évidence lors d'autopsies et peuvent affaiblir les animaux jusqu'à provoquer leur mort. Ainsi, 15 % des 284 chamois autopsiés en Slovaquie entre 2000 et 2020 présentaient une charge parasitaire élevée (Vengušt et al., 2022). De plus, les jeunes chamois semblent particulièrement vulnérables, un constat également rapporté chez le bouquetin, où les individus jeunes sont plus sensibles aux infestations parasitaires (Hars & Gauthier, 1994). Enfin, des virus ou des bactéries peuvent également être à l'origine de troubles digestifs et de lésions buccales, tout comme certains traumatismes (corps étrangers). Un examen rapproché serait nécessaire pour déterminer avec certitude l'origine de ces lésions.

D. Discussion sur les objectifs du protocole

Grâce à l'analyse des données issues du protocole de suivi, il est possible d'évaluer dans quelle mesure les différents objectifs initiaux sont atteints.

Le premier objectif, celui de quantifier les naissances, la survie des chevreaux et le ratio chevreau/femelle, est pleinement atteint. En effet, le protocole permet une excellente détermination de l'âge et du sexe des individus, comme en témoigne le faible taux d'individus non identifiés, ce qui garantit la fiabilité des données collectées. Compte-tenu du grand jeu de données disponible, il est possible d'estimer les variations spatiales et temporelles du succès reproducteur, mais il serait possible également d'étudier d'autres paramètres comme la taille des groupes.

Le deuxième objectif, celui d'assurer une vigilance face à tout épisode de mortalité suspecte (massive en particulier) ou comportement anormal est également rempli. Un épisode a été détecté en 2010 dans le Champsaur, attribué à une avalanche. En dehors de cet événement, les observations suggèrent une stabilité du nombre de cadavres retrouvés au fil des années.

Le troisième objectif correspond à mettre en place des mesures spécifiques en cas d'épizootie. C'est à cet objectif que tend à répondre principalement l'observation des lésions. L'analyse montre une augmentation globale du nombre de lésions observées au fil du temps. Cependant, cette hausse est progressive et insuffisamment brutale pour indiquer une épidémie généralisée. Néanmoins, deux types de lésions présentent des pics d'observation en laps de temps court, compatibles avec une épizootie localisée :

- Lésions oculaires : une augmentation soudaine et marquée a été détectée dans l'Embrunais dès 2019, ce qui a donné lieu à une communication spécifique par le Parc (Parc national des Ecrins, 2019). Ces communications ont pu augmenter l'attention des observateurs à ce type de lésion, cela entraînera une augmentation artificielle de la fréquence de lésions oculaires observées.
- Lésions cutanées : depuis 2022, une hausse importante est observée, marquée par de nombreux cas de pelades et de prurit. Cette tendance pourrait indiquer une épizootie

dermatologique émergente ou un changement de la phénologie de la mue, une investigation complémentaire serait nécessaire.

Ces observations confirment l'utilité du protocole pour détecter précocement des signaux d'alerte sanitaire.

Le dernier objectif, celui de transmettre et valoriser les connaissances acquises, semble en partie rempli, tant en interne qu'en l'externe. En interne, la communication entre les équipes et la diffusion des comptes rendus, notamment ceux rédigés par Michel Bouche, ont assuré un bon partage d'informations. Cependant, celui-ci peut être encore amélioré, puisque certains agents relevaient un manque de retour du protocole, peut-être un point annuel avec un format papier pourrait aider à cette tâche. En externe, les résultats sont valorisés via des publications en ligne (Parc national des Écrins, 2017), ou dans la presse local (*Hautes-Alpes. Les chamois surveillés de près par le parc national des Écrins*, 2023 ; *Le chamois : Un ongulé suivi de près - Radio Oxygène*, 2023) , mais aussi par des échanges directs entre les gardes-moniteurs et le public, ce qui renforce le lien entre la science et la sensibilisation du grand public. La présente thèse contribue également à transmettre et valoriser les données recueillies.

E. Bilan sur le protocole

Le protocole de suivi sanitaire visuel du chamois, en tant que suivi syndromique non spécifique, permet la prise en compte d'une multitude d'informations différentes. D'une part, il permet d'obtenir des données démographiques qui, analysées sur le long terme, peuvent traduire l'impact de facteurs environnementaux et sanitaires sur la population. D'autre part, le protocole repose sur une surveillance systématique des signes cliniques apparents, enrichissant une base de données variée sur l'état de santé « visuel » des chamois. Ces informations peuvent permettre plusieurs objectifs :

- La détection de signaux anormaux : par exemple, l'augmentation marquée des lésions cutanées observées dans l'Embrunais a justifié de s'interroger sur l'émergence potentielle d'un agent infectieux ou parasitaire.
- La surveillance sur l'évolution d'épizooties : le protocole a permis de suivre la régression de la kérato-conjonctivite infectieuse au sein des populations de l'Embrunais et de l'Oisans.
- Identification de zones à contraintes élevées : des zones comme le Valgaudemar et le Valbonnais se démarquent par une fréquence plus importante de traumatismes, boiteries et états de faiblesse, suggérant une pression environnementale ou topographique plus forte.

Un des autres points forts de ce protocole réside dans le fait que l'ensemble de ces données est collecté et traité en interne par le personnel du Parc National des Écrins, sans recourir à des prestataires extérieurs, ce qui garantit une autonomie et une indépendance vis-à-vis des aléas des prestataires extérieurs (rupture dans les tests sérologiques, manque de personnel pour les autopsies...)

Cependant, le protocole fait face à certaines limites, que ce soit le manque de diagnostic clinique, la charge de travail importante à fournir par les gardes-moniteurs (clé de voute de ce protocole), ou encore la nécessité de centralisation et d'homogénéisation des données.

À notre échelle, nous proposons d'explorer des pistes de simplification et d'optimisation, visant à réduire la charge du protocole, tout en mesurant les pertes potentielles d'informations engendrées.

PARTIE 3 : MODÉLISATION DE MODIFICATIONS DU PROTOCOLE DE SUIVI VISUEL DU CHAMOIS DANS LE PNE

I. Propositions de protocoles alternatifs

A. Objectif

L'objectif de cette partie est d'identifier des solutions permettant de pallier aux difficultés rencontrées dans la mise en œuvre du protocole, tant par les agents de terrain que par l'établissement du Parc.

Les protocoles alternatifs impliquent une réduction du temps des agents consacré à la mise en œuvre du protocole. À la suite de différentes réunions, avec Pr. Emmanuelle Gilot-Fromont, Dr. Julie Merlin et Yoann Bunz, ainsi qu'avec les techniciens patrimoines du parc, trois axes potentiels de modification du protocole ont été identifiés :

- La réduction de la fréquence de répétition du protocole d'observation ;
- La réduction du nombre de saisons d'observation par an ;
- La réduction du nombre de chamois observés par session.

B. Protocoles étudiés

I.B.1. Protocole « une année sur deux »

Le protocole actuel prévoit que toutes les implantations mettent en œuvre, chaque année, ce protocole de suivi. Afin de réduire le temps consacré à ce dernier, nous avons envisagé une version allégée du protocole, dans laquelle les observations seraient réalisées une année sur deux.

Pour simuler ce scénario, nous avons sélectionné uniquement les années paires du protocole actuel (car elles comportaient plus de lignes de données que les années impaires). Cela nous a permis de construire une base de données simulant le protocole « une année sur deux », avec des données collectées les années paires entre 2004 et 2024.

I.B.2. Protocole « sans l'été »

Une autre possibilité envisagée serait de conserver un protocole annuel, mais avec moins de saison d'observations par an (3 actuellement). Par ailleurs, les échanges avec les différents opérateurs de terrain ont mis en évidence une difficulté particulière à appliquer le protocole en été, notamment en raison d'emplois du temps très chargés, avec des missions spécifiques à cette période (accueil du public, surveillance...) et d'une approche des chamois plus difficile à cette période.

Nous avons donc envisagé un protocole avec des observations limitées à la fin de l'hiver (mars-avril) et à l'automne (octobre-novembre), en supprimant les observations estivales. Pour simuler ce scénario,

nous avons extrait de notre base de données uniquement les observations réalisées en fin d'hiver et en automne.

I.B.3. Protocole « 50 chamois »

La troisième modélisation porte sur le nombre de chamois à observer par session. Actuellement, le protocole prévoit l'observation de 100 chamois par session, par implantation et par an, soit un total de 2 100 chamois par an. Dans cette version allégée, nous avons imaginé réduire cet objectif à 50 chamois, soit un total de 1 050 chamois par an.

Pour construire cette base de données simulée, nous avons, pour chaque année, session et implantation :

- Trié les observations par ordre chronologique croissant,
- Conservé les observations jusqu'à atteindre un total de 50 chamois ou plus (sans tronquer les observations, c'est-à-dire qu'une observation complète est conservée même si elle fait dépasser le seuil de 50). Les observations dépassant ce seuil ne sont pas conservées.

II. Méthode

A. Comparaison des données démographiques

Pour mesurer l'impact des trois protocoles simulés sur l'étude des paramètres démographiques, nous avons réalisé des graphiques afin d'évaluer visuellement les différences, ainsi qu'une approche par modélisation, qui repose sur un modèle linéaire généralisé (GLM), utilisant les mêmes variables et méthodes que celles décrites dans la section *PARTIE 2 Erreur ! Source du renvoi introuvable*.

Variables à analyser :

- Le succès reproducteur, défini comme le nombre de chevreaux rapporté au nombre de femelles.
- La proportion de mâles parmi les adultes, c'est-à-dire le nombre de mâles observés rapporté au nombre total d'adultes observés (variable directement liée au sex-ratio).

Le taux de survie n'a pas été retenu car il ne présentait pas de variation significative. Le taux de recrutement a également été exclu car il est fortement corrélé au succès reproducteur.

Variables explicatives :

- *Année, saison, implantation*
- Avec interactions : *année × saison* et *année × implantation*

Ensuite, nous avons procédé comme suit :

- Application du modèle avec les effets significatifs identifiés à partir du protocole d'origine, sur les données issues de chaque protocole allégé testé.
- Extraction des Odds-Ratios (OR) : les valeurs d'OR ont été extraites pour évaluer la significativité des effets.
- Les valeurs des odds ratios (OR) et leur incertitude sont examinées pour chaque effet. Lorsqu'un intervalle de confiance inclut la valeur 1, alors que, dans la modélisation avec le

protocole d'origine, l'intervalle de confiance ne la comprenait pas, on a une augmentation de l'incertitude et on considère que l'effet est perdu.

Nous présentons ensuite les résultats obtenus pour chaque protocole allégé, en les comparant au protocole d'origine et entre eux.

B. Comparaison des données sanitaires

Afin d'évaluer l'impact des trois protocoles simulés sur l'analyse des lésions observées, nous avons utilisé des modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM), nous avons utilisé les mêmes variables que celles décrites dans la *PARTIE 2 I.C.2.*, c'est-à-dire :

- Variable à modéliser : le nombre de lésions observées, rapporté au nombre de chamois observés.
- Variables explicatives : l'année, la saison, l'implantation, la taille du groupe, le type de groupe.

Pour chaque type de lésion, nous avons procédé comme suit :

- Application du modèle avec les effets significatifs identifiés à partir du protocole d'origine, sur les données issues de chaque protocole allégé testé.
- Extraction des Odds-Ratios (OR) : les valeurs d'OR ont été extraites pour évaluer la significativité des effets.
- Les valeurs des odds ratios (OR) et leur incertitude sont examinées pour chaque effet. Lorsqu'un intervalle de confiance inclut la valeur 1, alors que, dans la modélisation avec le protocole d'origine, l'intervalle de confiance ne la comprenait pas, on a une augmentation de l'incertitude et on considère que l'effet est perdu.

Nous présentons ensuite les résultats obtenus pour chaque type de lésion et pour chaque protocole allégé, en les comparant au protocole d'origine et entre eux, afin d'évaluer la quantité et la nature des effets perdus.

III. Résultats

A. Comparaison des données démographiques

III.A.1. Le succès reproducteur

Le succès reproducteur apparent de chaque protocole testé présente les mêmes effets significatifs que le protocole d'origine (*Tableau 8*).

Protocoles	Origine	une année sur deux	Sans l'été	50 chamois
Effets	(.)Annee	(.)Annee	(.)Annee	(.)Annee
	(.)Saison	(.)Saison	(.)Saison	(.)Saison
	(.)Implantation	(.)Implantation	(.)Implantation	(.)Implantation
	(.)ImplantationXannee	(.)ImplantationXannee	(.)ImplantationXannee	(.)ImplantationXannee
	(.)SaisonXannee	(.)SaisonXannee	(.)SaisonXannee	(.)SaisonXannee

Tableau 8 : Effets sur le succès reproducteur apparent selon les protocoles testés, comparés au protocole d'origine.

(.) Indique que l'effet est significatif et présent, comme sur le protocole d'origine. (-) indique une perte de la significativité de l'effet vis-à-vis du protocole d'origine.

L'analyse descriptive du succès reproducteur au cours du temps des quatre protocoles met en évidence une forte similarité, tant au niveau des observations que des pentes estimées par les modèles (*Figure 56*). Plus particulièrement tous les intervalles de confiance des odds ratios se recoupent avec celui obtenu avec le protocole actuel (*Tableau 9*). Les seules différences mises en évidence dans les graphiques sont :

- Une augmentation importante des barres d'erreurs associées aux observations du protocole « 50 chamois », logiquement due à la baisse de la taille de l'échantillon observé.
- Une diminution globale de l'estimation du succès reproducteur dans le protocole « sans l'été », en raison de la perte des données estivales (saison durant laquelle le nombre de chevreux observés est le plus élevé).

Protocole	Origine	Une année sur deux	Sans l'été	50 chamois
OR associé à l'effet année	0,963 [0,959 ; 0,968]	0,961 [0,955 ; 0,967]	0,961 [0,957 ; 0,966]	0,961 [0,955 ; 0,967]

Tableau 9 : Valeur des Odds-Ratio associés à l'effet année sur le succès reproducteur du protocole actuel et des protocoles testés

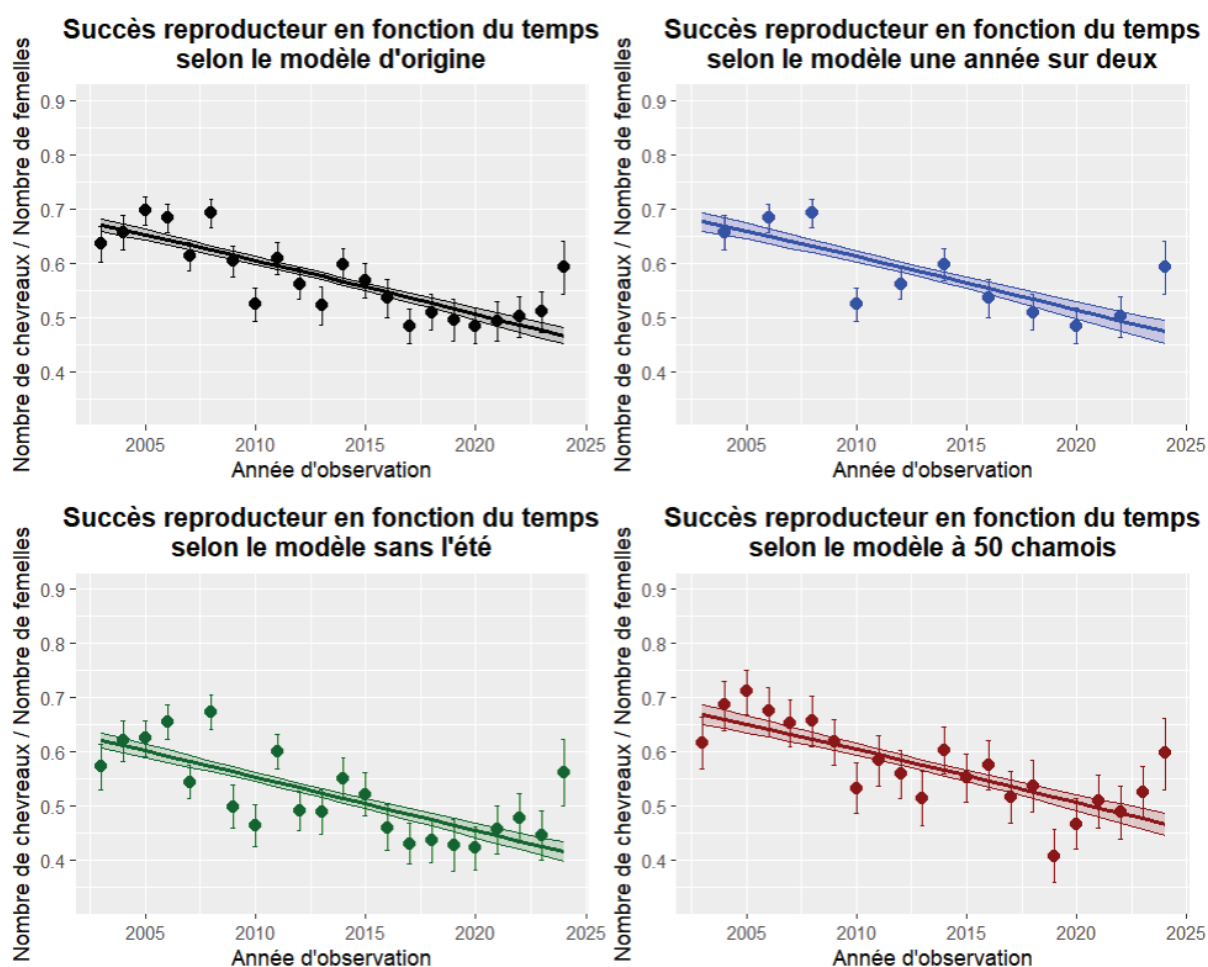


Figure 56 : Succès reproducteur apparent en fonction du temps. Comparaison entre le protocole actuel (noir) et trois protocoles construits : "une année sur deux" (bleu), "sans l'été" (vert) et "50 chamois" (rouge).

Les points représentent les valeurs observées annuellement avec leur intervalle de confiance et les lignes les valeurs moyennes prédites par le modèle, avec leur intervalle de confiance.

III.A.2. La proportion de mâles parmi les adultes

Les effets significatifs sur la proportion de mâles observés diffèrent selon les protocoles testés (Tableau 10) :

- Le protocole « une année sur deux » conserve la précision liée à l'année, à la saison et à l'implantation. Toutefois, en ce qui concerne l'interaction année × saison, on observe une perte de précision de l'estimation ;
- Le protocole « sans l'été » entraîne la perte de précision de l'estimation liée à l'année. Cette disparition est très probablement due à l'absence des données estivales, qui pesaient fortement dans la tendance à l'augmentation de la proportion de mâles (Figure 57).
- Le protocole « 50 chamois » ne présente pas de modification de précision par rapport au protocole d'origine

Protocoles	Origine	une année sur deux	Sans l'été	50 chamois
Effets	(.)Annee	(.)Annee	(-)Annee	(.)Annee
	(.)Saison	(.)Saison	(.)Saison	(.)Saison
	(.)Implantation	(.)Implantation	(.)Implantation	(.)Implantation
	(.)ImplantationXannee	(.)ImplantationXannee	(.)ImplantationXannee	(.)ImplantationXannee
	(.)SaisonXannee	(-)SaisonXannee	(.)SaisonXannee	(.)SaisonXannee

Tableau 10 : Ensemble des effets présents sur la proportion de mâles observée de chaque protocole testé, présence testée par rapport au protocole d'origine.

(.) indique que l'effet est significatif et présent comme sur le protocole d'origine. (-) indique une perte de la significativité de l'effet vis-à-vis du protocole d'origine.

Cette perte de l'effet année est visible dans les graphiques (Figure 57). On constate que le modèle excluant l'été gomme complètement l'augmentation de la proportion de mâles, laquelle reste pourtant perceptible avec les autres protocoles.

B. Comparaison des données sanitaires

Le Tableau 11 présente les effets conservés ou perdus sur les données sanitaires (lésions observées), des protocoles testés, en comparaison avec le protocole d'origine ;

- Le protocole « une année sur deux » entraîne la perte de significativité de huit effets répartis sur cinq types de lésions différentes ;
- Le protocole « sans l'été » entraîne la perte de trois effets sur deux types de lésions ;
- Le protocole « 50 chamois » engendre la perte de significativité de onze effets sur six types de lésions.

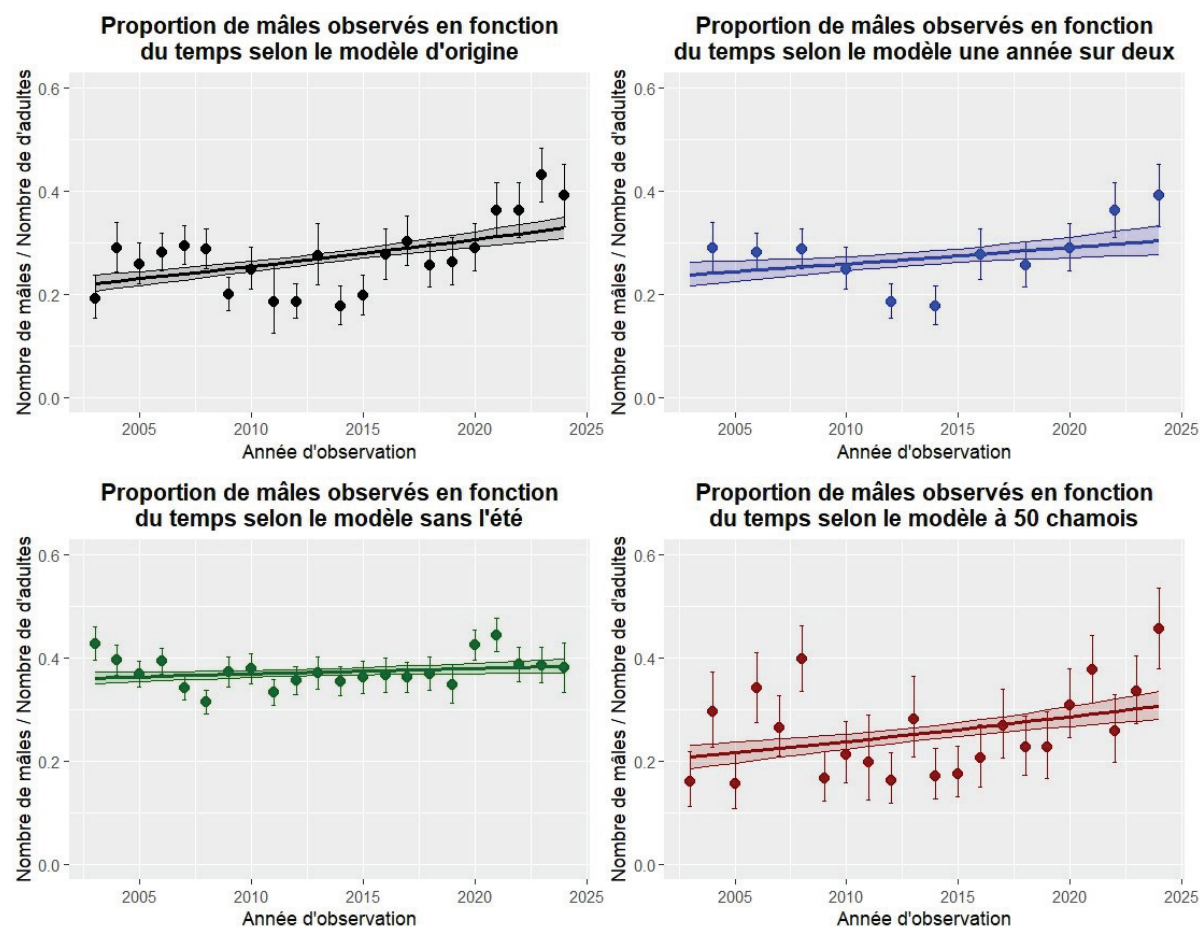


Figure 57 : Proportion de mâles observés en fonction du temps. Comparaison entre le protocole actuel (noir) et trois protocoles construits : "une année sur deux" (bleu), "sans l'été" (vert) et "50 chamois" (rouge).

Les points représentent les valeurs observées annuellement avec leur intervalle de confiance et les lignes les valeurs moyennes prédites par le modèle, avec leur intervalle de confiance.

Protocoles	Succès de reproduction	Sex-Ratio	Toutes lésions confondues	Boiteries	Traumatismes
Protocole d'origine	(.)Année	(.)Année	(.)Année		(.)Saison
	(.)Saison	(.)Saison	(.)Saison		(.)Implantation
	(.)Implantation	(.) Implantation	(.) Implantation	(.) Implantation	(.) TypeGroupe
	(.)ImplantationXannée	(.) ImplantationXannée	(.) TypeGroupe	(.) TypeGroupe	(.) TailleGroupe
	(.)SaisonXannée	(.) SaisonXannée	(.) TailleGroupe	(.) TailleGroupe	
Protocole une année sur deux	(.)Année	(.)Année	(.)Année		
	(.)Saison	(.)Saison	(.)Saison		(.)Saison
	(.)Implantation	(.) Implantation	(.) Implantation	(.) Implantation	(-) Implantation
	(.)ImplantationXannée	(.) ImplantationXannée	(.) TypeGroupe	(.) TypeGroupe	(.) TypeGroupe
		(-) SaisonXannée	(.) TailleGroupe	(.) TailleGroupe	(.) TailleGroupe
Protocole sans l'été	(.)Année	(-) Année	(.)Année		
	(.)Saison	(.)Saison	(.)Saison		(.)Saison
	(.)Implantation	(.) Implantation	(.) Implantation	(.) Implantation	(.) Implantation
	(.)ImplantationXannée	(.) ImplantationXannée	(.) TypeGroupe	(.) TypeGroupe	(.) TypeGroupe
	(.)SaisonXannée	(.) SaisonXannée	(.) TailleGroupe	(.) TailleGroupe	(.) TailleGroupe
Protocole 50 chamois	(.)Année	(.)Année	(.)Année		
	(.)Saison	(.)Saison	(.)Saison		(.)Saison
	(.)Implantation	(.) Implantation	(.) Implantation	(.) Implantation	(-) Implantation
	(.)ImplantationXannée	(.) ImplantationXannée	(.) TypeGroupe	(.) TypeGroupe	(.) TypeGroupe
	(.)SaisonXannée	(.) SaisonXannée	(.) TailleGroupe	(.) TailleGroupe	(.) TailleGroupe

Protocoles	Lésions cutanées	Lésions digestives	Faiblesses	Lésions respiratoires	Lésions oculaires
Protocole d'origine	(.)Année				(.)Année
	(.)Saison	(.)Saison	(.)Saison	(.)Saison	(.)Saison
	(.)Implantation		(.)Implantation	(.)Implantation	(.)Implantation
		(.)TypeGroupe			(.)TypeGroupe
Protocole une année sur deux	(.)TailleGroupe		(.)TailleGroupe	(.)TailleGroupe	(.)TailleGroupe
	(.)Année		(-)Saison	(-)Saison	(.)Année
	(.)Saison	(.)Saison	(-)Implantation	(-)Implantation	(.)Saison
	(.)Implantation	(.)TypeGroupe	(.)TailleGroupe	(-)TailleGroupe	(.)Implantation
Protocole sans l'été					(-)TypeGroupe
	(-)TailleGroupe				(.)TailleGroupe
	(.)Année		(.)Saison	(.)Saison	(.)Année
	(.)Saison	(-)Saison	(.)Implantation	(-)Implantation	(.)Saison
Protocole 50 chamois	(.)Implantation		(.)TailleGroupe	(.)TailleGroupe	(.)Implantation
		(-)TypeGroupe			(.)TypeGroupe
	(.)TailleGroupe				(.)TailleGroupe
	(.)Année		(-)Saison	(-)Saison	(-)Année
Protocoles testés	(.)Saison	(-)Saison	(-)Implantation	(.)Implantation	(.)Saison
	(-)Implantation		(.)TailleGroupe	(.)TailleGroupe	(-)Implantation
		(-)TypeGroupe			(-)TypeGroupe
	(-)TailleGroupe				(.)TailleGroupe

Tableau 11 : Tableau des effets présents sur la probabilité d'observer chaque type de lésion, ainsi que sur le succès reproducteur et la proportion de mâles, selon les différents protocoles.

Un point (.) indique que l'effet est conservé dans le protocole testé par rapport au protocole d'origine, tandis qu'un signe moins (-) indique que l'effet est perdu.

IV. Discussion autour de la comparaison

A. Protocole « une année sur deux »

Le protocole « une année sur deux » entraîne, selon notre modèle, la perte de huit effets liés uniquement aux lésions observées. En revanche, par rapport au protocole actuel, il permet de conserver une significativité proche pour les données démographiques. Cela s'explique probablement par la longue série de données disponible et par le fait que les paramètres démographiques évoluent lentement, sans variations brutales.

Cependant, ce type de fonctionnement peut poser certaines difficultés lors de sa mise en œuvre. D'un point de vue logistique, il impose des années de travail plus chargées, alternant avec des années plus légères, ce qui peut compliquer la gestion des plannings. Une solution serait de combiner ce protocole avec un autre, mené les années où celui-ci est mis en pause, ce qui pourrait en faire une opportunité.

En contrepartie, ne réaliser les observations qu'une année sur deux signifie accepter d'avoir une année entière sans suivi du chamois, avec le risque de passer à côté d'un épisode de mortalité important ou de détecter trop tard une épizootie.

Enfin, ce rythme plus espacé peut favoriser un changement plus fréquent des observateurs. Dans ce contexte, il devient encore plus essentiel de bien former les agents en début de protocole et de fournir des définitions claires des symptômes et des seuils, de manière à garantir l'homogénéité des observations.

B. Protocole « sans l'été »

Le protocole sans la période estivale représente une opportunité intéressante d'un point de vue logistique. En effet, en plus d'être la saison où les chamois sont plus difficiles à observer (ce qui impose plus de travail aux observateurs, avec des sessions plus longues : départs à la journée ou sur deux jours), il s'agit d'une saison où l'activité du Parc national est très importante et les emplois du temps contraints. Cette « pause » estivale sur le protocole permettrait de libérer du temps à cette période. L'été correspond en effet au pic de fréquentation touristique, impliquant une forte mobilisation des agents, notamment sur des missions d'accueil et d'animation.

En supprimant les observations estivales, le protocole conserve toutefois une régularité, avec deux sessions annuelles (mars/avril et octobre), assurant une surveillance générale continue, notamment utile en cas de mortalité anormale ou d'épizootie. De plus, l'été est la saison où les lésions sont les plus difficiles à repérer, ce qui se traduit par une perte relativement faible de significativité pour les lésions par rapport au protocole actuel.

Cela étant, le fait de ne plus disposer de valeur du succès reproducteur apparent observé en été qui s'apparente à une estimation de la plus proche possible de la fécondité pourrait masquer une baisse de celle-ci. Toutefois, le succès reproducteur apparent évalué en fin d'hiver reste directement lié, et l'effet de l'année n'est pas perdu, il reste même assez proche. En revanche, la perte de l'effet année sur la proportion de mâles parmi les adultes peut être préoccupante. Afin de justifier si cette information est importante à conserver, des investigations doivent être réalisées pour déterminer laquelle des causes vues en *PARTIE 2 III.B.1.b* est responsable de cette augmentation

C. Protocole « 50 chamois »

Le protocole avec 50 chamois observés par session (au lieu de 100) est la modification qui bouscule le moins l'organisation logistique des sorties pour les agents de terrain. En effet, le nombre de sessions d'observation n'est pas modifié, seul le nombre d'animaux à observer est réduit, ce qui diminue le nombre de sorties nécessaires. Le travail est ainsi régulier au cours du temps comparé aux deux autres protocoles. La conservation de l'observation régulière de la population permet de détecter une mortalité importante ou la survenue d'une épizootie.

Toutefois, la réduction du nombre de chamois observés par session, passant de 100 à 50 individus, a un impact direct sur la sensibilité du protocole de surveillance. Initialement, un effectif de 100 chamois permettait de détecter, avec une probabilité de 95 %, une maladie présentant une prévalence réelle d'au moins 3,6 % dans la population. En réduisant l'échantillon à 50 individus, ce seuil de détection s'élève à 7,2 %, ce qui diminue la capacité de veille du protocole.

Par ailleurs, le biais de sélection lors des sessions devient plus important : si un observateur tombe sur deux hardes de 25 individus, le nombre de mâles observés peut être très faible voire nul, ce qui rend l'échantillon moins représentatif de la population réelle.

CONCLUSION

La surveillance sanitaire de la faune sauvage est un pilier essentiel du concept « One Health ». Cependant, elle possède de fortes contraintes d'organisation et de moyens, et s'accompagne d'une prise de conscience des impacts potentiels qu'elle peut engendrer sur les populations animales. C'est dans cette optique qu'est née la surveillance non-invasive, offrant une alternative limitant au maximum les perturbations pour la faune tout en assurant une surveillance efficace.

Le Parc National des Écrins a ainsi mis en place un suivi programmé non-invasif sur une espèce sentinelle du parc : le chamois *Rupicapra rupicapra*. Ce protocole de surveillance syndromique, en place depuis 2003, repose sur des observations à la longue-vue réalisées trois fois par an, afin de collecter des informations démographiques et sanitaires. Cependant, ce protocole soulève aujourd'hui des interrogations quant au rapport entre le temps nécessaire à sa mise en œuvre et les bénéfices qu'il apporte. Ce travail avait pour objectifs d'analyser l'ensemble des données fournies par le protocole et d'envisager des évolutions de celui-ci afin d'alimenter les discussions autour de son évolution.

Sur la base des observations de 52 503 chamois réalisées entre 2003 et 2024, dans les sept implantations du parc et au cours de trois sessions d'observation annuelles, l'analyse des données a permis de mettre en évidence une diminution significative du succès reproducteur au fil du temps, plus marquée dans certaines implantations. On observe également une augmentation de la proportion de mâles parmi les adultes, en particulier lors des observations d'été et dans l'Embrunais. En parallèle de ces résultats démographiques, l'analyse a également fait ressortir une augmentation au cours du temps des lésions oculaires et cutanées, avec notamment deux épisodes localisés de survenues de lésions oculaires. Les observations de lésions sont très variables entre secteurs et au fil des saisons, avec une faible fréquence en été. Cependant, ce protocole ne permet pas d'établir un diagnostic clinique précis et reste fortement dépendant des observateurs et des conditions d'observation. Il nécessite donc d'être complété par d'autres approches et repose sur une formation continue des agents de terrain, afin d'assurer la fiabilité et l'homogénéité des données, en particulier concernant les lésions observées.

Trois évolutions de protocole ont été testées : un protocole « une année sur deux », un protocole « sans l'été » et une dernière option avec un objectif de « 50 chamois » à observer. Les trois protocoles entraînent une perte de significativité sur quelques paramètres : principalement des paramètres démographiques pour le protocole « sans l'été » et des paramètres sanitaires pour les deux autres. Sur le plan logistique, chaque protocole alternatif offre également des opportunités différentes en termes de répartition du temps de travail.

Il est donc nécessaire d'ouvrir une discussion avec l'ensemble des acteurs concernés sur l'avenir de ce protocole, que ce soit pour envisager une évolution ou simplement mettre en œuvre des actions visant à améliorer la robustesse des données collectées.

Bibliographie

- Article L131-9—Code de l'environnement—Légifrance. (2016). Consulté le 27 avril 2025 à l'adresse https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000045213133
- Baruzzi, C., Lovari, S., & Fattorini, N. (2017). Catch me if you can : Antipredatory behaviour of chamois to the wolf. *Ethology Ecology & Evolution*, 29(6), 589-598. <https://doi.org/10.1080/03949370.2016.1271016>
- Bekoff, M. (2002). *Minding animals : Awareness, emotions and heart*. Osford U, Press. ISBN : 0 195150775, 230 p.
- Bernard, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine Expérimentale*. Champs Flammarion. ISBN : 978-2-08-130758-2, 240 p.
- Blagojević, M., & Milošević-Zlatanović, S. (2014). Sexual shape dimorphism in Alpine chamois (*Rupicapra rupicapra*) horns : How horn curvature could be used in sex identification? *Mammalia*, 79(1), 91-100. <https://doi.org/10.1515/mammalia-2013-0055>
- Bocci, A., Canavese, G., & Lovari, S. (2010). Even mortality patterns of the two sexes in a polygynous, near-monomorphic species : Is there a flaw? *Journal of Zoology*, 280(4), 379-386. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2009.00672.x>
- Bonenfant, C., Gaillard, J., Coulson, T., Festa-Bianchet, M., Loison, A., Garel, M., Loe, L. E., Blanchard, P., Pettorelli, N., Owen-Smith, N., Du Toit, J., & Duncan, P. (2009). Chapter 5 Empirical Evidence of Density-Dependence in Populations of Large Herbivores. In *Advances in Ecological Research* (Vol. 41, p. 313-357). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(09\)00405-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(09)00405-X)
- Breed, D., Meyer, L. C. R., Steyl, J. C. A., Goddard, A., Burroughs, R., & Kohn, T. A. (2019). Conserving wildlife in a changing world : Understanding capture myopathy—a malignant outcome of stress during capture and translocation. *Conservation Physiology*, 7(1), co2027. <https://doi.org/10.1093/conphys/coz027>
- Brivio, F., Grignolio, S., Sica, N., Cerise, S., & Bassano, B. (2015). Assessing the Impact of Capture on Wild Animals : The Case Study of Chemical Immobilisation on Alpine Ibex. *Plos One*, 10(6), e0130957. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130957>
- Bullone, M., Divari, S., Sereno, A., Bassano, B., Gelmetti, D., Gibelli, L. R., Pregel, P., Bollo, E., & Scaglione, F. E. (2024). Mycoplasma bovis-associated verminous pneumonia in alpine chamois (*Rupicapra rupicapra*). *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1403682. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1403682>
- Burton, A. C., Neilson, E., Moreira, D., Ladle, A., Steenweg, R., Fisher, J. T., Bayne, E., & Boutin, S. (2015). Wildlife camera trapping : A review and recommendations for linking surveys to ecological processes. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 675-685. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12432>
- Cattet, M., Boulanger, J., Stenhouse, G., Powell, R. A., & Reynolds-Hogland, M. J. (2008). An Evaluation of Long-Term Capture Effects in Ursids : Implications for Wildlife Welfare and Research. *Journal of Mammalogy*, 89(4), 973-990. <https://doi.org/10.1644/08-MAMM-A-095.1>

- Charrier, L., Orsini, P., Conord, M., & Betbeder, L. (2019). *Monitoring wolves (Canis lupus italicus) by camera-traps in military camp (France-Var)*. 48 pp. A l'adresse <https://hal.science/hal-02274438>
- Citterio, C. V., Luzzago, C., Sala, M., Sironi, G., Gatti, P., Gaffuri, A., & Lanfranchi, P. (2003). Serological study of a population of alpine chamois (*Rupicapra r. rupicapra*) affected by an outbreak of respiratory disease. *The Veterinary Record*, 153(19), 592-596. <https://doi.org/10.1136/vr.153.19.592>
- Cloutier, S., & Newberry, R. C. (2008). Use of a conditioning technique to reduce stress associated with repeated intra-peritoneal injections in laboratory rats. *Applied Animal Behaviour Science*, 112(1), 158-173. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.07.003>
- Cooper, J. E. (Éd.). (2002). Appendix VIII Minimally Invasive Health Monitoring. In *Birds of Prey* (1^{re} éd., p. 267-270). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470752319.app8>
- Crettaz von roten, F. (2019). *Expérimentation animal—Analyse de la controverse de 1950 à 2019*. Livreo-Alphil. ISBN : 978-2-88950-033-8, 174 p.
- Dabis, F., & Desenclos, J.-C. (2017). *Epidémiologie de terrain, Méthodes et applications* (2ème édition). John Libbey Eurotext. ISBN : 978-2-7420-1487-3, 480 p.
- Décret n°73-378 -- Création du parc national des Ecrins, Pub. L. No. 73-378 (1973). Consulté le 2 novembre 2025, à l'adresse <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000306560#:~:text=national%20des%20Ecrins-,Décret%20n°73-378%20du%2027%20mars%201973,le%20parc%20national%20des%20Ecrins>
- Degiorgis, M.-P., Frey, J., Abdo, E.-M., & Fatzer. (2000). An outbreak of infectious keratoconjunctivitis in Alpine chamois (*Rupicapra r. Rupicapra*) in Simmental-Gruyères, Switzerland. *SAT Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 142, 520-527. <https://doi.org/NR>
- Déry, F., Hamel, S., & Côté, S. D. (2019). Getting ready for the winter : Timing and determinants of molt in an alpine ungulate. *Ecology and Evolution*, 9(5), 2920-2932. <https://doi.org/10.1002/ece3.4970>
- Dhondt, A. A., Tessaglia, D. L., & Slothower, R. L. (1998). Epidemic mycoplasmal conjunctivitis in house finches from eastern North America. *Journal of Wildlife Diseases*, 34, 265-280. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-34.2.265>
- Directive 86/609/CEE -- Le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres relatives à la protection des animaux utilisés à des fins expérimentales ou à d'autres fins scientifiques (1986). Consulté le 2 novembre 2025, à l'adresse <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:386L0609>
- Directive 2010/63/UE -- La protection des animaux utilisés à des fins scientifiques (2010). Consulté le 2 novembre 2025, à l'adresse <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/63/oj/fra>
- Dórea, F. C., Sanchez, J., & Revie, C. W. (2011). Veterinary syndromic surveillance : Current initiatives and potential for development. *Preventive Veterinary Medicine*, 101(1), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2011.05.004>

- Draper, C., & Bekoff, M. (2013). Animal welfare and the importance of compassionate conservation – A comment on McMahon et al. (2012). *Biological Conservation*, 158, 422-423. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.10.024>.
- Dumont, M., Monteiro, D., Filhol, S., Gascoin, S., Marty, C., Hagenmuller, P., Morin, S., Choler, P., & Thuiller, W. (2025). The European Alps in a changing climate : Physical trends and impacts. *Comptes Rendus. Géoscience*, 357(G1), 25-42. <https://doi.org/10.5802/crgeos.288>
- Dziki-Michalska, K., Tajchman, K., Kowalik, S., & Wójcik, M. (2024). The Levels of Cortisol and Selected Biochemical Parameters in Red Deer Harvested during Stalking Hunts. *Animals*, 14(7), 1108. <https://doi.org/10.3390/ani14071108>
- Filipe, J., Bonato, D., Mandola, M. L., Nogarol, C., Vitale, N., Nava, M., Besozzi, M., Viganò, R., & Luzzago, C. (2025). Sero-epidemiological survey on novel chamois respirovirus in alpine chamois (*Rupicapra rupicapra rupicapra*) and domestic small ruminants. *Research in Veterinary Science*, 190, 105647. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2025.105647>
- Gaillet, J. R. (2001). Réseau SAGIR : surveillance de l'état sanitaire de la faune sauvage. *Bulletin épidémiologique*. A l'adresse : <https://be.anses.fr/sites/default/files/BEP-mg-BE6-art3.pdf>
- Garel, M., Loison, A., Jullien, J.-M., Dubray, D., Maillard, D., & Gaillard, J.-M. (2009). Sex-specific Growth in Alpine Chamois. *Journal of Mammalogy*, 90(4), 954-960. <https://doi.org/10.1644/08-MAMM-A-287.1>
- Gelormini, G., Gauthier, D., Vilei, E. M., Crampe, J.-P., Frey, J., & Ryser-Degiorgis, M.-P. (2016). Infectious keratoconjunctivitis in wild Caprinae : Merging field observations and molecular analyses sheds light on factors shaping outbreak dynamics. *BMC Veterinary Research*, 13(1), 67. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-0972-0>
- Gibbons, M., Crump, A., Barrett, M., Sarlak, S., Birch, J., & Chittka, L. (2022). *Can insects feel pain? A review of the neural and behavioural evidence*. <https://doi.org/10.1016/bs.aiip.2022.10.001>
- Gibeau, M. L., & McTavish, C. (2009). Not-So-Candid Cameras, How to prevent camera traps from skewing animal behavior. *The Wildlife Professional*, 3, 35-37. A l'adresse : https://images.reconyx.com/file/news/Not_so_candid_cameras.pdf
- Gibert, P. (2017). *Surveillance sanitaire de la faune sauvage*. Le Point Vétérinaire. ISBN : 978-2-86326-375-4, 201 p.
- Global Biodiversity Information Facility. (2023). *Rupicapra rupicapra* (Linnaeus, 1758). GBIF. Consulté le 24 juin 2025, à l'adresse <https://www.gbif.org/species/5220170>
- Habermacher, L. (2024). Bilan de la veille sanitaire de la faune sauvage du Parc National de la Vanoise. Comité de pilotage de la veille sanitaire. *Non publié*
- Halliday, J. E. B., Meredith, A. L., Knobel, D. L., Shaw, D. J., Bronsvoort, B. M. D. C., & Cleaveland, S. (2007). A framework for evaluating animals as sentinels for infectious disease surveillance. *Journal of The Royal Society Interface*, 4(16), 973-984. <https://doi.org/10.1098/rsif.2007.0237>
- Handel, C. M., Pajot, L. M., Matsuoka, S. M., Hemert, C. V., Terenzi, J., Talbot, S. L., Mulcahy, D. M., Meteyer, C. U., & Trust, K. A. (2010). Epizootic of Beak Deformities Among Wild Birds in Alaska : An Emerging Disease in North America? *The Auk*, 127(4), 882-898. <https://doi.org/10.1525/auk.2010.10111>

- Hars, J., & Gauthier, Dominique. (1994). Pathologie du bouquetin des Alpes : Bilan sanitaire des populations françaises. *Trav. sci. Parc national de la Vanoise*, XVIII, 53-98. A l'adresse https://www.vanoise-parcnational.fr/sites/vanoise-parcnational.fr/files/atoms/files/1994_travaux_scientifiques_tome_xviii.pdf
- Hautes-Alpes. *Les chamois surveillés de près par le parc national des Écrins*. (2023, octobre 2). Consulté le 19 octobre 2025, à l'adresse <https://www.ledauphine.com/environnement/2023/10/02/les-chamois-surveilles-de-pres-par-le-parc-national-des-ecrins>
- Hawkins, C. E., Baars, C., Hesterman, H., Hocking, G. J., Jones, M. E., Lazenby, B., Mann, D., Mooney, N., Pemberton, D., Pyecroft, S., Restani, M., & Wiersma, J. (2006). Emerging disease and population decline of an island endemic, the Tasmanian devil *Sarcophilus harrisii*. *Biological Conservation*, 131(2), 307-324. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.04.010>
- Heistermann, M. (2010). Non-invasive monitoring of endocrine status in laboratory primates : Methods, guidelines and applications. *Advances in Science and Research*, 5(1), 1-9. <https://doi.org/10.5194/asr-5-1-2010>
- Hing, S., Narayan, E. J., Thompson, R. C. A., & Godfrey, S. S. (2016). The relationship between physiological stress and wildlife disease : Consequences for health and conservation. *Wildlife Research*, 43(1), 51. <https://doi.org/10.1071/WR15183>
- Inventaire National du Patrimoine Naturel. (2022, novembre 2). *Rupicapra rupicapra* (Linnaeus, 1758)—*Chamois des Alpes*. Inventaire National du Patrimoine Naturel. Consulté le 24 juin 2025, à l'adresse https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/61119
- Jacques, C. N., Jenks, J. A., Deperno, C. S., Sievers, J. D., Grovenburg, T. W., Brinkman, T. J., Swanson, C. C., & Stillings, B. A. (2009). Evaluating Ungulate Mortality Associated With Helicopter Net-Gun Captures in the Northern Great Plains. *The Journal of Wildlife Management*, 73(8), 1282-1291. <https://doi.org/10.2193/2009-039>
- Jones, K. E., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J. L., & Daszak, P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451(7181), 990-993. <https://doi.org/10.1038/nature06536>
- Katz, R., May, L., Baker, J., & Test, E. (2011). Redefining syndromic surveillance. *Journal of Epidemiology and Global Health*, 1(1), 21. <https://doi.org/10.1016/j.jegh.2011.06.003>
- Koch Liston, A. L., Zhu, X., Bang, T. V., Phiapalath, P., Ahmed, T., Hasan, S., Biswas, S., Nath, S., Ahmed, T., Ilham, K., Lwin, N., Agger, C., Ai, S., Auda, E., Gazagne, E., Kamler, J. F., Groenenberg, M., Banet-Eugene, S., Challis, N., ... Hansen, M. F. (2024). A model for the noninvasive, habitat-inclusive estimation of upper limit abundance for synanthropes, exemplified by *M. fascicularis*. *Science Advances*, 10(21), eadn5390. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adn5390>
- Lamarque, F., Hatier, C., Artois, M., & Berny, P. (2000). Le réseau SAGIR, réseau national de suivi sanitaire de la faune sauvage française. *Épidémiologie et Santé Animale*, 37(21-30). A l'adresse https://www.researchgate.net/publication/237744255_Le_reseau_SAGIR_reseau_national_d_e_suivi_sanitaire_de_la_faune_sauvage_francaise
- Larrère, C. (2010). Les éthiques environnementales. *Natures Sciences Sociétés*, 18(4), 405-413. <https://doi.org/10.1051/nss/2011004>

- Lavin, S., Marco, I., Franch, J., & Abarca, L. (1998). Report of a case of pyogenic arthritis associated with *Actinomyces pyogenes* in a chamois (*Rupicapra pyrenaica*). *Zentralblatt Fur Veterinarmedizin. Reihe B. Journal of Veterinary Medicine. Series B*, 45(4), 251-253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0450.1998.tb00790.x>
- Lawson, B., Lachish, S., Colville, K. M., Durrant, C., Peck, K. M., Toms, M. P., Sheldon, B. C., & Cunningham, A. A. (2012). Emergence of a Novel Avian Pox Disease in British Tit Species. *PLOS One*, 7(11), e40176. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040176>
- Le chamois : Un ongulé suivi de près - Radio Oxygène*. (2023, octobre 10). Consulté le 19 octobre 2025, à l'adresse <https://radiooxygene.com/le-chamois-un-ongule-suivi-de-pres/>
- Lenglin, L. (2024). *Elaboration d'une methode d'évaluation sanitaire par piégeage photographique du Lynx Boréal Lynx Lynx et description spatio-temporelle des affections détectées en France entre 1997 et 2020—TOME II - Référentiels photo* [Thèse d'exercice vétérinaire]. Nantes Université. A l'adresse <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04646018v1/file/N-2024-006-T2.pdf>
- Lenglin, L., Chenesseau, D., & Blin, L. (2025). *What if wildlife health surveillance was not just for veterinarians ? - Opportunistic use of population monitoring by camera traps for syndromic surveillance of the Eurasian lynx (Lynx lynx)*. <https://doi.org/10.1101/2025.05.26.656112>
- Loi n° 2006-436 -- Relative aux parcs nationaux, aux parcs naturels marins et aux parcs naturels régionaux. (2006). Consulté le 27 avril 2025, à l'adresse <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000609487>
- LOI n° 2014-1170 -- Loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt, 2014-1170 (2014). Consulté le 27 avril 2025, à l'adresse <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000029573022>
- Loison, A., Langvatn, R., & Solberg, E. J. (1999). Body mass and winter mortality in red deer calves : Disentangling sex and climate effects. *Ecography*, 22(1), 20-30. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1999.tb00451.x>
- Lower, W. R., & Kendall, R. J. (1990). Sentinel Species and Sentinel Bioassay. In J. F. McCarthy & L. R. Shugart, *Biomarkers of Environmental Contamination* (1^{re} éd., p. 309-331). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351070263-24>
- Marco, I., Lopez-Olvera, J. R., Rosell, R., Vidal, E., Hurtado, A., Juste, R., Pumarola, M., & Lavin, S. (2007). Severe outbreak of disease in the southern chamois (*Rupicapra pyrenaica*) associated with border disease virus infection. *Veterinary Microbiology*, 120(1-2), 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2006.10.007>
- Martin, C., Duquesne, V., Guibert, J.-M., Pulido, C., Gilot-Fromont, E., Gibert, P., Velarde, R., Thiéry, R., Marco, I., & Dubois, E. (2013). EXPERIMENTAL INFECTION OF PREGNANT PYRENEAN CHAMOIS (*RUPICAPRA PYRENAICA*) WITH BORDER DISEASE VIRUS SUBTYPE 4. *Journal of Wildlife Diseases*, 49(1), 55-68. <https://doi.org/10.7589/2011-09-260>
- Mason, T. H. E., Stephens, P. A., Apollonio, M., & Willis, S. G. (2014). Predicting potential responses to future climate in an alpine ungulate : Interspecific interactions exceed climate effects. *Global Change Biology*, 20(12), 3872-3882. <https://doi.org/10.1111/gcb.12641>
- Mavrot, F., Vilei, E. M., Marreros, N., Signer, C., Frey, J., & Ryser-Degiorgis, M.-P. (2012). Occurrence, quantification, and genotyping of *Mycoplasma conjunctivae* in wild Caprinae with and without

- infectious keratoconjunctivitis. *Journal of Wildlife Diseases*, 48(3), 619-631. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-48.3.619>
- Mayer, D., Degiorgis, M.-P., Meier, W., Nicolet, J., & Giacometti, M. (1997). Lesions associated with infectious keratoconjunctivitis in alpine ibex. *Journal of Wildlife Diseases*, 33(3), 413-419. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-33.3.413>
- McHamon, C. R., Harcourt, R., Bateson, P., & Hindell, M. A. (2012). Animal welfare and decision making in wildlife research. *Biological Conservation*, 153, 254-256. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.05.004>
- Meehan, T. D., Michel, N. L., & Rue, H. (2018). *Estimating animal abundance with N-mixture models using the R-INLA package for R* (No. arXiv:1705.01581). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1705.01581>
- Merriam-Webster Dictionnaire. (2025, octobre 25). *Définition of recrutement*. consulté le 31 octobre 2025, à l'adresse <https://www.merriam-webster.com/dictionary/recruitment>
- Millspaugh, J. J., & Washburn, B. E. (2004). Use of fecal glucocorticoid metabolite measures in conservation biology research : Considerations for application and interpretation. *General and Comparative Endocrinology*, 138(3), 189-199. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2004.07.002>
- Montes, I., McLaren, G. W., Macdonald, D. W., & Mian, R. (2004). The effect of transport stress on neutrophil activation in wild badgers (*Meles meles*). *Animal Welfare*, 13(3), 355-359. <https://doi.org/10.1017/S0962728600028475>
- Morau, M. (2015). *Utilisation de l'hématologie et de la biochimie dans l'évaluation du stress à la capture chez le chevreuil (Capreolus capreolus)* [Thèse d'exercice vétérinaire]. Université de Toulouse. A l'adresse https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04547833v1/file/Morau_14657.pdf
- Morin, A., Rughetti, M., Rioux-Paquette, S., & Festa-Bianchet, M. (2016). Older conservatives : Reproduction in female Alpine chamois (*Rupicapra rupicapra*) is increasingly risk-averse with age. *Canadian Journal of Zoology*, 94(5), 311-321. <https://doi.org/10.1139/cjz-2015-0153>
- Mulcahy, D. M. (2017). The Animal Welfare Act and the Conduct and Publishing of Wildlife Research in the United States. *ILAR Journal*, 58(3), 371-378. <https://doi.org/10.1093/ilar/ilx024>
- Muneza, A. B., Ortiz-Calo, W., Packer, C., Cusack, J. J., Jones, T., Palmer, M. S., Swanson, A., Kosmala, M., Dickman, A. J., Macdonald, D. W., & Montgomery, R. A. (2019). Quantifying the severity of giraffe skin disease via photogrammetry analysis of camera trap data. *Journal of Wildlife Diseases*, 55(4), 770. <https://doi.org/10.7589/2018-06-149>
- Office Français de la Biodiversité. (2024, juillet 31). *Le réseau SAGIR*. Consulté le 2 septembre 2025, à l'adresse <https://www.ofb.gouv.fr/le-reseau-sagir>
- Office Français de la Biodiversité. (2025, août 5). *Sagir, le réseau de surveillance des maladies de la faune sauvage*. Le portail technique de l'OFB. Consulté le 22 août 2025, à l'adresse <https://professionnels.ofb.fr/fr/reseau-sagir>
- Orazi, V., Panaccio, M., Lovari, S., Belardi, I., Von Hardenberg, A., Bassano, B., & Ferretti, F. (2025). Antipredator behaviour as a major determinant of prey altitudinal movements : The wolf and the chamois. *Frontiers in Zoology*, 22(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s12983-025-00559-1>

- Organisation Mondiale de la Santé. (2023, octobre 23). *Une seule santé*. Organisation Mondiale de la Santé. Consulté le 25 avril 2025, à l'adresse <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/one-health>
- Orihel, C. (2019). *Le suivi sanitaire de la faune sauvage dans le Parc National des Écrins* [Thèse d'exercice vétérinaire]. Université Claude Bernard Lyon 1. A l'adresse http://www2.vetagro-sup.fr/bib/fondoc/th_sout/dl.php?file=2019lyon132.pdf
- Ouagal, M., Hendrikx, P., Saegerman, C., & Berkvens, D. (2010). Comparison between active and passive surveillance within the network of epidemiological surveillance of animal diseases in Chad. *Acta Tropica*, 116(2), 147-151. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2010.07.004>
- Palmegiani, I., Gazzola, A., & Apollonio, M. (2013). Wolf diet and its impact on the ungulates community in a new recolonized area of Western Alps : Gran Paradiso National Park. *Folia Zoologica*, 62(1), 59-66. <https://doi.org/10.25225/fozo.v62.i1.a9.2013>
- Paquet, P., & Darimont, C. (2010). Wildlife conservation and animal welfare : Two sides of the same coin? *Animal Welfare*, 19(2), 177-190. <https://doi.org/10.1017/S0962728600001433>
- Parc National des Écrins. (2013). *Charte du Parc national des Ecrins* (p. 202). Consulté le 2 novembre 2025, à l'adresse <https://www.ecrins-parcnational.fr/sites/ecrins-parcnational.com/files/page/9242/2013-07-pne-charte.pdf>
- Parc national des Écrins. (2015, juillet 3). *Comptage chamois : La nouvelle méthode expérimentée*. Parc national des Ecrins. Consulté le 27 juin 2025, à l'adresse <https://www.ecrins-parcnational.fr/actualite/comptage-chamois-la-nouvelle-methode-experimentee>
- Parc national des Écrins. (2017, janvier 6). *C comme... Chamois*. Parc national des Ecrins. Consulté le 24 juin 2025, à l'adresse <https://www.ecrins-parcnational.fr/c-chamois>
- Parc national des Ecrins. (2019, octobre 25). *La kératoconjonctivite sévit à nouveau dans les Ecrins*. Parc national des Ecrins. Consulté le 23 septembre 2025, à l'adresse <https://www.ecrins-parcnational.fr/actualite/keratoconjonctivite-sevit-nouveau-ecrins>
- Parc National des Écrins. (2022). *Veilles sanitaires des vertébré du Parc National des Ecrins* (p. 27).
- Parc national des Écrins. (2023a). *PNE - Rapport d'activités 2023* (p. 17). Consulté le 2 novembre 2025, à l'adresse https://www.ecrins-parcnational.fr/sites/ecrins-parcnational.com/files/fiche_doc/13575/pne-ra2023-vf.pdf
- Parc national des Écrins. (2023b). *Petit bilan de santé du chamois dans les Écrins*. Parc national des Ecrins. Consulté le 23 septembre 2025, à l'adresse <https://www.ecrins-parcnational.fr/actualite/petit-bilan-sante-chamois-ecrins>
- Parc National des Écrins. (2025, août 18). *Loup, qui es-tu ? D'où viens-tu ? Où vas-tu ? | Parc national des Ecrins*. <https://www.ecrins-parcnational.fr>. Consulté le 21 septembre 2025, à l'adresse <https://www.ecrins-parcnational.fr/dossier/loup-es-viens-vas>
- Parcs Nationaux Français. (2017). *Contribution des Parcs nationaux français à une stratégie sanitaire pour la faune sauvage de métropole 2017-2027* (p. 75). Consulté le 2 novembre 2025 à l'adresse <https://www.ecrins-parcnational.fr/sites/ecrins-parcnational.com/files/article/15190/2017-08-29strategie-sanitaire-faune-parcs-nationauxversion-finale.pdf>

- Pepin, K. M., Combs, M. A., Bastille-Rousseau, G., Craft, M. E., Cross, P., Diuk-Wasser, M. A., Gagne, R. B., Gallo, T., Garwood, T., Heale, J. D., Hewitt, J., Høy-Petersen, J., Malmberg, J., Mullinax, J., Plimpton, L., Smith, L., VanAcker, M. C., Chandler, J. C., Walter, W. D., ... Manlove, K. (2025). Expanding National-Scale Wildlife Disease Surveillance Systems With Research Networks. *Ecology and Evolution*, 15(6), e71492. <https://doi.org/10.1002/ece3.71492>
- Pioz, M., Loison, A., Gauthier, D., Gibert, P., Jullien, J.-M., Artois, M., & Gilot-Fromont, E. (2008). Diseases and reproductive success in a wild mammal : Example in the alpine chamois. *Oecologia*, 155(4), 691-704. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0942-5>
- Pisano, S. R. R., Zimmermann, F., Rossi, L., Capt, S., Akdesir, E., Bürki, R., Kunz, F., Origgi, F. C., & Ryser-Degiorgis, M.-P. (2019). Spatiotemporal spread of sarcoptic mange in the red fox (*Vulpes vulpes*) in Switzerland over more than 60 years : Lessons learnt from comparative analysis of multiple surveillance tools. *Parasites & Vectors*, 12(1), 521. <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3762-7>
- Plateforme ESA. (2018, avril). *Guide d'accompagnement à l'élaboration de protocoles de surveillance sanitaire de la faune sauvage*. Consulté le 1 septembre 2025, à l'adresse <https://www.plateforme-esa.fr/fr/guide-pour-lelaboration-de-protocoles-de-surveillance-sanitaire-de-la-faune-sauvage>
- Prasad, S., Pittet, A., & Sukumar, R. (2010). Who really ate the fruit? A novel approach to camera trapping for quantifying frugivory by ruminants. *Ecological Research*, 25(1), 225-231. <https://doi.org/10.1007/s11284-009-0650-1>
- Règlement 2016/429 -- Relatif aux maladies animales transmissibles et modifiant et abrogeant certains actes dans le domaine de la santé animale («Législation sur la Santé Animale» ou LSA) (2016). consulté le 2 novembre 2025, à l'adresse <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0429>
- Reiner, R., Zedrosser, A., Zeiler, H., Hackländer, K., & Corlatti, L. (2021). Forests buffer the climate-induced decline of body mass in a mountain herbivore. *Global Change Biology*, 27(16), 3741-3752. <https://doi.org/10.1111/gcb.15711>
- Richomme, C., Gauthier, D., & Fromont, E. (2006). Contact rates and exposure to inter-species disease transmission in mountain ungulates. *Epidemiology and Infection*, 134(1), 21-30. <https://doi.org/10.1017/S0950268805004693>
- Rossi, L., Meneguz, P. G., De Martin, P., & Rodolfi, M. (1995). The epizootiology of sarcoptic mange in chamois, *Rupicapra rupicapra*, from the Italian eastern Alps. *Parassitologia*, 37(2-3), 233-240. <https://doi.org/NR>
- Rovero, F., Zimmermann, F., Berzi, D., & Meek, P. (2013). « Which camera trap type and how many do I need? » A review of camera features and study designs for a range of wildlife research applications. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 24(2). <https://doi.org/10.4404/hystrix-24.2-8789>
- Rowcliffe, J. M., Field, J., Turvey, S. T., & Carbone, C. (2008). Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology*, 45(4), 1228-1236. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01473.x>

- Rowcliffe, M. J., Carbone, C., Jansen, P. A., Kays, R., & Kranstauber, B. (2011). Quantifying the sensitivity of camera traps : An adapted distance sampling approach. *Methods in Ecology and Evolution*, 2(5), 464-476. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00094.x>
- Russel, W. M. S., & Burch, R. I. (1992). *The Principles of Humane Experimental Technique*. Universities Federation for Animal Welfare (UFAW). ISBN : 978-0-900767-78-4, 243 p.
- Schaefer, D. C., Asner, I. N., Seifert, B., BÜRki, K., & Cinelli, P. (2010). Analysis of physiological and behavioural parameters in mice after toe clipping as newborns. *Laboratory Animals*, 44(1), 7-13. <https://doi.org/10.1258/la.2009.009020>
- Schilling, A.-K., Mazzamuto, M. V., & Romeo, C. (2022). A Review of Non-Invasive Sampling in Wildlife Disease and Health Research : What's New? *Animals*, 12(13), 1719. <https://doi.org/10.3390/ani12131719>
- Schwantes, C. J., Sánchez, C. A., Stevens, T., Zimmerman, R., Albery, G., Becker, D. J., Brookson, C. B., Kading, R. C., Keiser, C. N., Khandelwal, S., Kramer-Schadt, S., Krut-Landau, R., McKee, C., Montecino-Latorre, D., O'Donoghue, Z., Olson, S. H., O'Shea, M., Poisot, T., Robertson, H., ... Carlson, C. J. (2025). A minimum data standard for wildlife disease research and surveillance. *Scientific Data*, 12(1), 1054. <https://doi.org/10.1038/s41597-025-05332-x>
- Shapiro, J. T., Cazeau, G., DiBiagio, R., Dupuy, C., Morignat, E., Dórea, F., Hénau, V., & Amat, J.-P. (2025). Current Practice and Future Directions in Syndromic Surveillance for Animal Health : A Scoping Review and Analysis. *Preventive Veterinary Medicine*, 106532. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2025.106532>
- Sharma, K., Fiechter, M., George, T., Young, J., Alexander, J. S., Bijoor, A., Suryawanshi, K., & Mishra, C. (2020). Conservation and people : Towards an ethical code of conduct for the use of camera traps in wildlife research. *Ecological Solutions and Evidence*, 1(2), e12033. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12033>
- Sikes, R. S., & Paul, E. (2013). Fundamental Differences between Wildlife and Biomedical Research. *ILAR Journal*, 54(1), 5-13. <https://doi.org/10.1093/ilar/ilt015>
- Sliwinski, K., Strauß, E., Jung, K., & Siebert, U. (2021). Comparison of spotlighting monitoring data of European brown hare (*Lepus europaeus*) relative population densities with infrared thermography in agricultural landscapes in Northern Germany. *PLOS ONE*, 16(7), e0254084. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254084>
- Smiley Evans, T., Gilardi, K. V. K., Barry, P. A., Ssebide, B. J., Kinani, J. F., Nizeyimana, F., Noheri, J. B., Byarugaba, D. K., Mudakikwa, A., Cranfield, M. R., Mazet, J. A. K., & Johnson, C. K. (2016). Detection of viruses using discarded plants from wild mountain gorillas and golden monkeys. *American Journal of Primatology*, 78(11), 1222-1234. <https://doi.org/10.1002/ajp.22576>
- Smith, G. E., Elliot, A. J., Lake, I., Edeghere, O., Morbey, R., Catchpole, M., Heymann, D. L., Hawker, J., Ibbotson, S., McCloskey, B., Pebody, R., & Team, P. H. E. R. S. S. (2019). Syndromic surveillance : Two decades experience of sustainable systems – its people not just data! *Epidemiology & Infection*, 147, e101. <https://doi.org/10.1017/S0950268819000074>
- Steenweg, R., Hebblewhite, M., Kays, R., Ahumada, J., Fisher, J. T., Burton, C., Townsend, S. E., Carbone, C., Rowcliffe, J. M., Whittington, J., Brodie, J., Royle, J. A., Switalski, A., Clevenger, A. P., Heim, N., & Rich, L. N. (2017). Scaling-up camera traps : Monitoring the planet's biodiversity with

- networks of remote sensors. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(1), 26-34. <https://doi.org/10.1002/fee.1448>
- Studdert, V. P., Gay, C. C., & Hinchcliff, K. W. (2021). *Saunders Comprehensive Veterinary Dictionary* (5^{ème}). Elsevier. ISBN : 978-0-7020-7463-9, 1319 p.
- Supartono, T., Adhya, I., Hendrayana, Y., Kosasih, D., & Yudayana, B. (2021). Use of faecal pellet count method in estimating population density of mammals in Gunung Ciremai National Park. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 819(1), 012079. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/819/1/012079>
- Terrier, M.-E., Picard, E., Barrat, J., Guibe, A., & Cliquet, F. (2006). Surveillance sanitaire de la faune sauvage en France : Réseau SAGIR et épidémio-surveillance de la rage des chiroptères. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, 159(5), 383-387. <https://doi.org/10.4267/2042/47859>
- Thacker, S. B., Berkelman, R. L., & Stroup, D. F. (1989). The science of public health surveillance. *Journal of Public Health Policy*, 10(2), 187-203. <https://doi.org/10.2307/3342679>
- Toma, B., Dufour, B., Bénét, J.-J., Rivière, J., Shaw, A., & Moutou, F. (2018). *Epidémiologie appliquée à la lutte collective contre les maladies animales transmissibles majeures* (4^e éd.). Association pour l'Étude de l'Épidémiologie des Maladies Animales (AEEMA). ISBN : 978-2-9565175-0-4, 613 p.
- Vander Wal, E., van Beest, F. M., & Brook, R. K. (2013). Density-Dependent Effects on Group Size Are Sex-Specific in a Gregarious Ungulate. *PLoS ONE*, 8(1), e53777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053777>
- Vengušt, G., Kuhar, U., Jerina, K., Švara, T., Gombač, M., Bandelj, P., & Vengušt, D. Ž. (2022). Passive Disease Surveillance of Alpine Chamois (*Rupicapra r. Rupicapra*) in Slovenia between 2000 and 2020. *Animals: an Open Access Journal from MDPI*, 12(9), 1119. <https://doi.org/10.3390/ani12091119>
- Vourc'h, G., Bridges, V. E., Gibbens, J., De Groot, B. D., McIntyre, L., Poland, R., & Barnouin, J. (2006). Detecting Emerging Diseases in Farm Animals through Clinical Observations. *Emerging Infectious Diseases*, 12(2), 204-210. <https://doi.org/10.3201/eid1202.050498>
- Walzer, C. (2008). Chapitre 50—Diseases of Chamois. In *Zoo and Wild Animal Medicine* (p. 408). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-141604047-7.50053-1>
- Warns-Petit, E., Artois, M., & Calavas, D. (2009). Biosurveillance de la faune sauvage. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, 162(3), 205-213. <https://doi.org/10.4267/2042/47995>
- Wittmer, H. U. (2008). Mountain goats : Ecology, behavior, and conservation of an alpine ungulate. *Ecology*, 89(9), 2666-2667. <https://doi.org/10.1890/BR08-48.1>
- Wobeser, G. A. (2007). *Disease in wild animals, Investigation and management* (2^{ème}). Springer-Verlag. ISBN : 978-3-540-48974-0, 393 p.
- World Organisation for Animal Health. (2017). *Terrestrial animal health code* (26^e éd., Vol. 1).
- Zanette, L. Y., & Clinchy, M. (2019). Ecology of fear. *Current Biology*, 29(9), R309-R313. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.02.042>

Zemanova, M. A. (2019). Poor implementation of non-invasive sampling in wildlife genetics studies.
Rethinking Ecology, 4, 119-132. <https://doi.org/10.3897/rethinkingecology.4.32751>

ANNEXES

Annexe 1 : Arbre décisionnel du choix des analyses réalisées sur un cadavre découvert au sein du Parc national des Écrins.

Le chamois fait partie des « espèces cibles ».

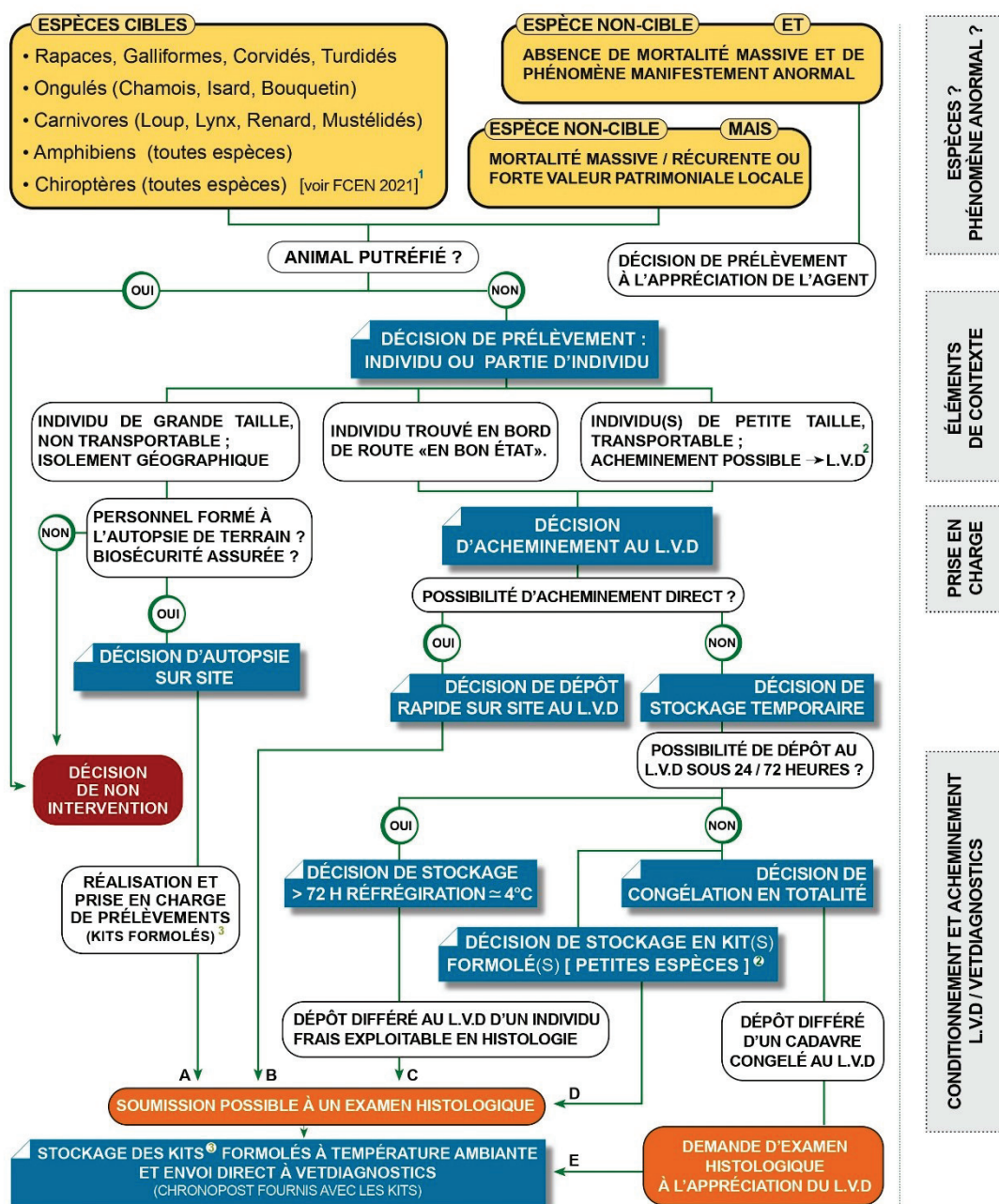


PRÉFIGURATION D'UN OBSERVATOIRE DES MALADIES ÉMERGENTES DE LA FAUNE SAUVAGE



LOGIGRAMME DE PRISE EN CHARGE D'UN ANIMAL MORT

T. DURAND - K. LEMBERGER - R. LE NET



¹ Pour les chiroptères, voir la brochure réalisée par la F.C.E.N dans le cadre du PNA Chiroptères

² L.V.D = Laboratoire Vétérinaire Départemental

³ Voir protocole d'échantillonnage histologique et fiche «consignes d'utilisation du formol»

Annexe 2 : Liste des valeurs des Odds-Ratio (OR) pour chaque modèle GLMM retenu lors de la modélisation des données sanitaires.

- 2.1. Odds-Ratios (ORs) des variables explicatives du modèle sélectionné sur la probabilité d'observer un chamois avec une lésion. (L'année, la taille et le type de groupe (A), la saison (B) et l'implantation (C))

A			B SAISON		
Année	Type de groupe	Taille du groupe		Été	FinHiver
1,022* [1,021 ; 1,024]	1,97* [1,68 ; 2,32]	0,975* [0,970 ; 0,980]	Automne	0,74* [0,63 ; 0,86]	1,01 [0,87 ; 1,16]
			FinHiver	0,73* [0,62 ; 0,86]	

C IMPLANTATIONS						
	Vallouise	Valgaudemar	Valbonnais	Oisans	Embrunais	Champsaur
Briançonnais	0,36* [0,24 ; 0,54]	1,23 [0,80 ; 1,87]	1,57* [1,02 ; 2,43]	0,74 [0,46 ; 1,18]	0,76 [0,47 ; 1,25]	0,88 [0,53 ; 1,47]
Champsaur	0,41* [0,25 ; 0,65]	1,39 [0,91 ; 2,11]	1,79* [1,12 ; 2,85]	0,84 [0,50 ; 1,39]	0,86 [0,54 ; 1,40]	
Embrunais	0,37* [0,30 ; 0,74]	1,60* [1,07 ; 2,42]	2,06* [1,31 ; 3,24]	0,96 [0,60 ; 1,54]		
Oisans	0,49* [0,31 ; 0,75]	1,66* [1,10 ; 2,52]	2,13* [1,40 ; 3,26]			
Valbonnais	0,23* [0,15 ; 0,34]	0,78 [0,53 ; 1,14]				
Valgaudemar	0,29* [0,21 ; 0,41]					

Explication de lecture :

Les OR mettent ici en évidence la variation entre chaque valeur des différentes variables sur la probabilité d'observer un chamois avec une lésion.

- Pour l'année : La valeur indiquée correspond à l'OR associé à l'effet année pour chaque augmentation d'une unité (de 2003 vers 2004 par exemple) ;
- Pour le type de groupe : La valeur indiquée correspond à l'OR des groupes « mâles » par rapport aux groupes « femelles » ;
- Pour la taille du groupe : La valeur indiquée correspond à l'OR associé à l'effet taille du groupe pour chaque augmentation d'une unité (de 20 chamois à 21 chamois par exemple) ;
- Pour la saison : Les OR indiquent la comparaison de la saison en colonne par rapport à la saison en ligne. Exemple dans le cadre rouge, il s'agit de l'OR de l'été par rapport à l'automne.
- Pour l'implantation : Les OR indiquent la comparaison de l'implantation en colonne par rapport à l'implantation en ligne. Exemple dans le cadre vert, il s'agit de l'OR du Valgaudemar par rapport au Valbonnais.

L'ensembles des tableaux suivant se lisent de manière similaire.

- 2.2. Odds-Ratios (ORs) des différentes variables explicatives du modèle sélectionné sur la probabilité d'observer un traumatisme. (L'année, la taille et le type de groupe (A), la saison (B) et l'implantation (C))

A			B			SAISON	
						Été	FinHiver
Année	Type de groupe	Taille du groupe				0,71* [0,57 ; 0,88]	1,05 [0,87 ; 1,27]
PAS D'EFFET	2,27* [1,82; 2,82]	0,982* [0,974 ; 0,989]				0,67* [0,54; 0,85]	
C			IMPLANTATIONS				
	Vallouise	Valgaudemar	Valbonnais	Oisans	Embrunais	Champsaur	
Briançonnais	0,78 [0,42 ; 1,45]	2,06* [1,12 ; 3,80]	2,53* [1,38 ; 4,65]	1,35 [0,72 ; 2,52]	0,64 [0,32 ; 1,28]	1,09 [0,54 ; 2,20]	
Champsaur	0,72 [0,39 ; 1,31]	1,89* [1,10 ; 3,27]	2,33* [1,28 ; 4,22]	1,24 [0,65 ; 2,34]	0,59 [0,30 ; 1,14]		
Embrunais	1,23 [0,65 ; 2,32]	3,24* [1,77 ; 5,92]	3,97* [2,15 ; 7,35]	2,12* [1,14 ; 3,93]			
Oisans	0,58 [0,33 ; 1,00]	1,53 [0,90 ; 2,61]	1,88* [1,10 ; 3,21]				
Valbonnais	0,31* [0,18 ; 0,52]	0,81 [0,51 ; 1,31]					
Valgaudemar	0,38* [0,25 ; 0,57]						

- 2.3. Odds-Ratios (ORs) des différentes variables explicatives du modèle sélectionné sur la probabilité d'observer une boiterie. (L'année, la taille et le type de groupe (A), la saison (B) et l'implantation (C))

A			B			
			<u>SAISON</u>			
<u>Année</u>	<u>Type de groupe</u>	<u>Taille du groupe</u>	PAS D'EFFET			
PAS D'EFFET	1,99* [1,69; 2,34]	0,973* [0,968 ; 0,978]				
<u>IMPLANTATIONS</u>						
C	Vallouise	Valgaudemar	Valbonnais	Oisans	Embrunais	Champsaur
Briançonnais	0,39* [0,26 ; 0,58]	1,31 [0,86 ; 1,99]	1,56* [1,02 ; 2,40]	0,76 [0,48 ; 1,22]	0,77 [0,47 ; 1,25]	0,81 [0,18 ; 1,36]
Champsaur	0,47* [0,30 ; 0,76]	1,61* [1,06 ; 2,44]	1,92* [1,21 ; 3,06]	0,92 [0,56 ; 1,54]	0,94 [0,58 ; 1,52]	↖
Embrunais	0,51* [0,32 ; 0,80]	1,70* [1,13 ; 2,57]	2,04* [1,31 ; 3,19]	0,99 [0,62 ; 1,58]	↖	
Oisans	0,51* [0,33 ; 0,79]	1,72* [1,13 ; 2,61]	2,06* [1,35 ; 3,13]	↖		
Valbonnais	0,25* [0,17 ; 0,37]	0,83 [0,57 ; 1,22]	↖			
Valgaudemar	0,30* [0,22 ; 0,41]	↖				

- 2.4. Odds-Ratios (ORs) des différentes variables explicatives du modèle sélectionné sur la probabilité d'observer une lésion oculaire. (L'année, la taille et le type de groupe (A), la saison (B) et l'implantation (C))

A			B			SAISON	
						Été	FinHiver
<u>Année</u>	<u>Type de groupe</u>	<u>Taille du groupe</u>				0,35* [0,20 ; 0,62]	1,05 [0,87 ; 1,27]
1,053* [1,051; 1,056]	2,52* [1,57; 4,04]	0,944* [0,924 ; 0,963]				0,50* [0,29 ; 0,89]	
							

C							IMPLANTATIONS						
		Vallouise	Valgaudemar	Valbonnais	Oisans	Embrunais	Champsaur						
Briançonnais		0,18* [0,04 ; 0,81]	1,04 [0,31 ; 3,47]	2,17 [0,71 ; 6,61]	0,85 [0,23 ; 3,13]	4,48* [1,41 ; 14,28]	1,57 [0,40 ; 6,10]						
Champsaur		0,12* [0,02 ; 0,64]	0,67 [0,17 ; 2,52]	1,40 [0,39 ; 5,00]	0,54 [0,13 ; 2,34]	2,87 [0,80 ; 10,34]							
Embrunais		0,04* [0,00 ; 0,19]	0,23* [0,08 ; 0,72]	0,49 [0,17 ; 1,42]	0,19* [0,06 ; 0,64]								
Oisans		0,21 [0,04 ; 1,05]	1,20 [0,33 ; 4,35]	2,49 [0,76 ; 8,22]									
Valbonnais		0,09* [0,02 ; 0,38]	0,49 [0,16 ; 1,50]										
Valgaudemar		0,18* [0,04 ; 0,78]											

- 2.5. Odds-Ratios (ORs) des différentes variables explicatives du modèle sélectionné sur la probabilité d'observer une lésion cutanée. (L'année, la taille et le type de groupe (A), la saison (B) et l'implantation (C))

A			B			SAISON	
						Été	FinHiver
Année	Type de groupe	Taille du groupe				3,19* [1,44 ; 7,04]	2,41* [1,06 ; 5,49]
1,135* [1,067; 1,208]	PAS D'EFFET	0,970* [0,950 ; 0,990]				1,32 [0,70 ; 2,49]	↗
IMPLANTATIONS							
C	Vallouise	Valgaudemar	Valbonnais	Oisans	Embrunais	Champsaur	
Briançonnais	0,42 [0,06 ; 2,76]	3,35 [0,81 ; 13,88]	Non interpret	1,27 [0,26 ; 6,24]	6,68* [1,62 ; 27,44]	1,18 [0,14 ; 9,77]	
Champsaur	0,36 [0,04 ; 3,54]	2,84 [0,43 ; 18,75]	Non interpret	1,08 [0,14 ; 8,36]	5,65 [0,85 ; 37,55]	↗	
Embrunais	0,06* [0,01 ; 0,33]	0,50 [0,18 ; 1,40]	Non interpret	0,19* [0,05 ; 0,71]	↗		
Oisans	0,33 [0,05 ; 2,01]	2,64 [0,71 ; 9,82]	Non interpret	↗			
Valbonnais	Non interpret	Non interpret	↗				
Valgaudemar	0,12* [0,03 ; 0,61]	↗					

- 2.6. Odds-Ratios (ORs) des différentes variables explicatives du modèle sélectionné sur la probabilité d'observer une lésion respiratoire. (L'année, la taille et le type de groupe (A), la saison (B) et l'implantation (C))

A			B <u>SAISON</u>		
				Été	FinHiver
<u>Année</u>	<u>Type de groupe</u>	<u>Taille du groupe</u>			
PAS D'EFFET	PAS D'EFFET	0,961* [0,943 ; 0,979]	Automne	0,53* [0,32 ; 0,87]	0,56* [0,35 ; 0,90]
			FinHiver	0,94 [0,53 ; 1,69]	↗
C <u>IMPLANTATIONS</u>					
	Vallouise	Valgaudemar	Valbonnais	Oisans	Embrunais
Briançonnais	0,10* [0,04 ; 0,25]	0,41* [0,17 ; 0,98]	0,16* [0,05 ; 0,51]	0,03* [0,00 ; 0,27]	0,59 [0,24 ; 1,50]
Champsaur	0,79 [0,18 ; 3,35]	3,15 [0,84 ; 11,86]	1,23 [0,27 ; 5,72]	0,24 [0,02 ; 2,59]	4,52* [1,15 ; 17,78]
Embrunais	0,17* [0,06 ; 0,53]	0,70 [0,27 ; 1,81]	0,27* [0,08 ; 0,95]	0,05* [0,01 ; 0,48]	↗
Oisans	3,06 [0,34 ; 27,28]	12,18* [1,47 ; 101,13]	4,76 [0,51 ; 44,61]	↗	
Valbonnais	0,64 [0,17 ; 2,38]	2,55 [0,77 ; 8,49]	↗		
Valgaudemar	0,25* [0,09 ; 0,69]	↗			

- 2.7. Odds-Ratios (ORs) des différentes variables explicatives du modèle sélectionné sur la probabilité d'observer une lésion digestive. (L'année, la taille et le type de groupe (A), la saison (B) et l'implantation (C))

A			B <u>SAISON</u>		
				Été	FinHiver
<u>Année</u>	<u>Type de groupe</u>	<u>Taille du groupe</u>			
PAS D'EFFET	6,99* [1,26 ; 38,84]	PAS D'EFFET	Automne	2,34* [0,42 ; 13,05]	Non interpret
			FinHiver	Non interpret	↗
C <u>IMPLANTATIONS</u>					
PAS D'EFFET					

- 2.8. Odds-Ratios (ORs) des différentes variables explicatives du modèle sélectionné sur la probabilité d'observer une faiblesse. (L'année, la taille et le type de groupe (A), la saison (B) et l'implantation (C))

A			B		
Année	Type de groupe	Taille du groupe		SAISON	
				Été	FinHiver
PAS D'EFFET	PAS D'EFFET	0,978* [0,962 ; 0,994]	Automne	1,35 [0,79 ; 2,33]	2,23* [1,35 ; 3,66]
			FinHiver	0,61 [0,36 ; 1,02]	↖

C IMPLANTATIONS						
	Vallouise	Valgaudemar	Valbonnais	Oisans	Embrunais	Champsaur
Briançonnais	0,25* [0,07 ; 0,98]	2,69 [0,91 ; 7,95]	1,93 [0,66 ; 5,60]	1,19 [0,37 ; 3,84]	1,09 [0,31 ; 3,80]	0,77 [0,20 ; 3,04]
Champsaur	0,32 [0,07 ; 1,48]	3,44 [1,08 ; 10,95]	2,46 [0,72 ; 8,39]	1,52 [0,42 ; 5,53]	1,39 [0,37 ; 5,21]	↖
Embrunais	0,23* [0,06 ; 0,56]	2,47 [0,89 ; 6,87]	1,77 [0,60 ; 5,22]	1,09 [0,34 ; 3,51]	↖	
Oisans	0,21* [0,05 ; 0,81]	2,23 [0,84 ; 5,91]	1,60 [0,63 ; 4,06]	↖		
Valbonnais	0,13* [0,04 ; 0,47]	1,39 [0,57 ; 3,41]	↖			
Valgaudemar	0,09* [0,03 ; 0,31]	↖				

Annexe 3 : Analyse des Indices d'Abondance Pédestre (IPA) de la Fédération de Chasse Départementale des Hautes-Alpes (FDC 05)

1. Méthode

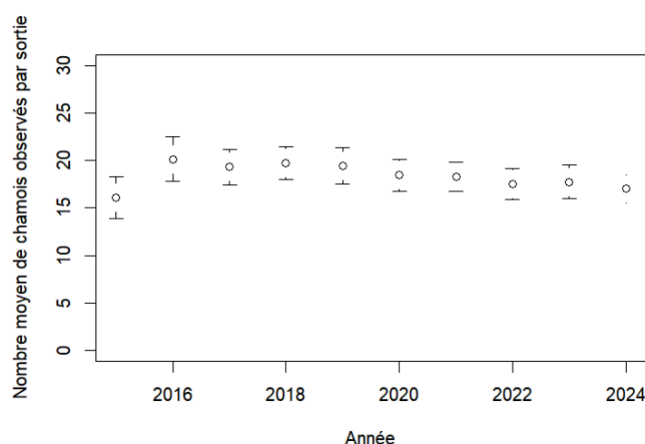
Depuis 2015, au sein des 4 implantations du parc appartenant au département des Hautes-Alpes (c'est-à-dire le Briançonnais, la Vallouise, l'Embrunais et le Champsaur), un comptage des chamois est réalisé afin d'estimer leur abondance et d'établir, notamment, les plans de chasse.

Ce comptage se déroule toutes les années de manière rigoureusement identique : les observateurs parcourent un certain nombre de trajets (identiques chaque année) en un temps bien précis, et comptent le nombre de chamois observés sur le parcours. Les observateurs indiquent, comme pour le suivi visuel, l'âge et le sexe des individus lorsque cela est possible.

Pour estimer l'abondance grâce à ce protocole, et puisque les parcours sont identiques en termes de géographie et de temps passé sur le terrain, nous avons analysé le nombre moyen de chamois par sortie en fonction du temps. Un modèle linéaire, du nombre moyen de chamois par sortie en fonction de l'année d'observation est testé. L'effet est significatif si la valeur 0 n'est pas comprise dans l'intervalle de confiance à 95 % du coefficient.

2. Résultats

L'analyse du nombre moyen de chamois observé par sortie ne montre pas de variation significative au cours du temps (Coefficient = -0,14 [-0,47 ; 0,19]).



Nombre moyen de chamois observés par sortie lors des comptages IPA en fonction de l'année. Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard à la moyenne

LE SUIVI VISUEL DU CHAMOIS DANS LE PARC NATIONAL DES ÉCRINS

Auteur

BRANCHEREAU Thomas

Résumé

La surveillance sanitaire de la faune sauvage est aujourd'hui reconnue comme essentielle dans le cadre du concept « One Health ». Elle peut notamment prendre la forme d'un suivi syndromique, basé uniquement sur la description de symptômes visibles, sans confirmation clinique. Parallèlement au développement de cette surveillance, la prise en compte du bien-être animal a évolué, motivant la mise en place de méthodes de suivi non invasives.

Depuis 2003, le Parc national des Écrins réalise un suivi sanitaire visuel, donc syndromique, sur une espèce emblématique du parc. Le rapport coût/bénéfice de ce protocole fait aujourd'hui l'objet de discussions.

Afin d'alimenter ces réflexions, les données collectées entre 2003 et 2024 ont été rassemblées, uniformisées, puis analysées. Des analyses statistiques ont été réalisées tant sur les aspects démographiques que sanitaires du suivi. Les principaux résultats mettent en évidence : une diminution du succès reproducteur, une augmentation de la proportion de mâles, une sectorisation marquée de certains types de lésions et une variation temporelle de la fréquence d'apparition de certaines lésions. Ces résultats sont discutés, et plusieurs hypothèses explicatives sont proposées. Les limites du protocole, telles qu'un biais important lié aux observateurs, sont également évoquées.

Dans le but d'aider le Parc à envisager de nouvelles perspectives pour ce protocole, nous évaluons la pertinence de protocoles alternatifs, moins chronophages, et mieux adaptés aux contraintes de planning du personnel de terrain.

Mots-clés

Surveillance sanitaire, chamois, Écrins, non-invasif, faune sauvage

Jury

Président du jury : **Madame la Professeure Karine CHALVET-MONFRAY**

1er assesseur : **Madame la Professeure Emmanuelle GILOT-FROMONT**

2ème assesseur : **Monsieur le Docteur Gilles BOURGOIN**

Membres invités : **Madame la Docteure Julie MERLIN**
et Monsieur Yoann BUNZ