

***Université de Perpignan Via Domitia***

Master Biodiversité, Ecologie, Evolution

Parcours "Biodiversité et Développement Durable"

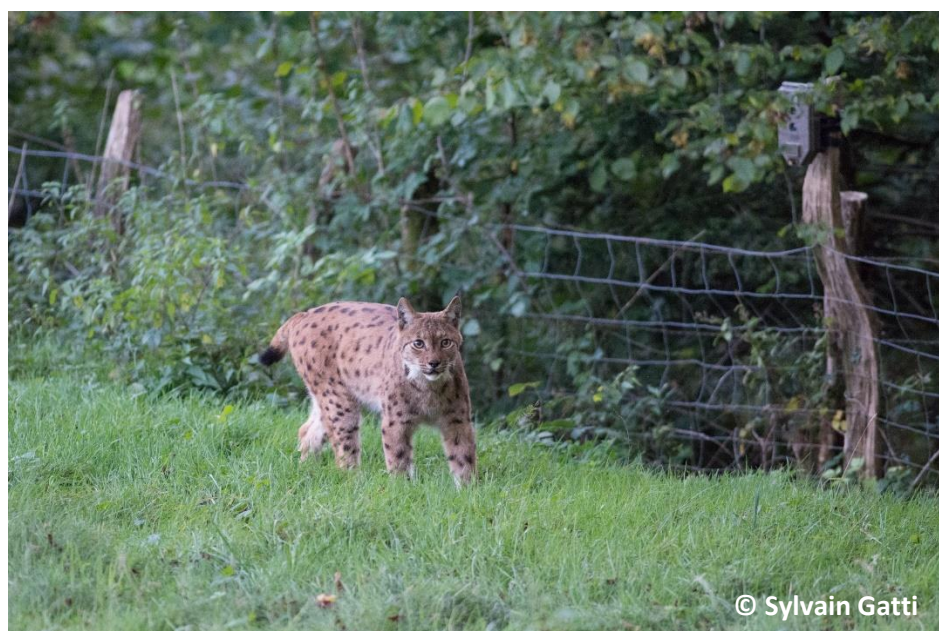


Réduire et éviter le risque de mortalité du Lynx boréal (*Lynx lynx*) par collision avec les véhicules de transports terrestres dans le Massif du Jura

~

Typologie des tronçons accidentogènes et profils biologiques des lynx morts

Présenté par Delphine SOUILLOT



Année universitaire 2018-2019

Sous la direction d'Alain Morand

Au Centre d'Etudes et d'expertises sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement







Ce rapport a été réalisé lors du Master "Biodiversité et Développement durable" au cours de l'année 2019 et s'est déroulé dans le cadre du programme "ERC Lynx" (site <https://sites.google.com/view/erclynx/>) au sein de la Division « Biodiversité, Eau et Aménagement » (Cerema Est) et en collaboration avec les autres partenaires de l'équipe projet (CEFE-CNRS, CROC, ONCFS). Dans ce mémoire de stage, la méthode (choix et transformation des variables, notamment) comme les résultats statistiques et cartographiques, relève pour la plupart d'une approche seulement descriptive, et ne permettent pas de présager d'éventuels relations de causes à effet. Ce travail n'a par ailleurs pas fait l'objet d'une validation par les pairs, pour des raisons de contraintes de temps et une réponse aux attentes précises de l'équipe enseignante universitaire. Il constitue en l'état une approche originale et suggère quelques pistes de réflexion à approfondir lors de futures études et travaux de recherche pour mesurer et prévenir l'impact des infrastructures sur la conservation du Lynx.

Equipe projet ERC-Lynx.

## Table des matières

Table des sigles et acronymes et leur signification : .....	ii
Remerciements : .....	iii
Contexte du stage : .....	iv
Introduction .....	1
I Matériels et Méthodes .....	3
I.I Espèce étudiée : le Lynx boréal .....	3
I.II Zone d'étude .....	4
I.III Collecte et structuration des données .....	6
I.IV Les données et variables utilisées .....	7
I.V Analyses statistiques .....	10
I.V.1 Analyses univariées et bivariées .....	10
I.V.2 Statistiques multivariées : Analyse des Correspondances Multiples (ACM) .....	10
I.VI Analyse spatiale par Système Informatique Géographique (SIG) .....	10
II Résultats .....	11
II.I Récolte de données .....	11
II.II Analyses univariés .....	12
II.III Analyses bivariés .....	13
II.IV Statistiques multivariés par analyse des correspondances multiples (ACM) .....	14
II.V Analyse spatiale par Système Informatique Géographique (SIG) .....	17
V Discussion .....	20
Conclusion .....	26
Référence bibliographique .....	28
Annexes .....	1

Table des sigles et acronymes et leur signification :

**A** : Autoroute  
**ACM** : Analyse de Correspondances Multiples  
**APRR** : Autoroute Paris-Rhin-Rhône  
**Asso** : Associations de protection de la nature  
**AuRA** : Auvergne-Rhône-Alpes  
**BCF** : Bourgogne-Franche-Comté  
**CD** : Conseil Départemental  
**CEFE** : Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive  
**CEREMA** : Centre d'Études et d'expertises sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement  
**CIA** : Central Intelligence Agency  
**CNRS** : Centre National de la Recherche Scientifique  
**CROC** : Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores  
**DIR** : Direction Interdépartementale des Routes  
**EFR** : European Union Road Federation  
**ERC** : Eviter, Réduire, Compenser  
**FDC** : Fédération Départementale des Chasseurs  
**GBA** : Glissière en Béton Adhérent  
**ILT** : Infrastructure Linéaire de Transport  
**ITT** : Infrastructures de Transports Terrestres  
**ITTECOP** : Infrastructures de transports Terrestres, ECOsystèmes et Paysages  
**MCTRC** : Ministère de la Cohésion des Territoires et des Relations avec les Collectivités Territoriales  
**MNHN** : Muséum Nationale d'Histoire Naturelle  
**MTES** : Ministère de la Transition Écologique et Solidaire  
**ONCFS** : Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage  
**PF** : Passage à Faune  
**PL** : Poids Lourds  
**PLMV** : Programme Lynx Massif des Vosges  
**PNA** : Plan National d'Action  
**PNCL** : Plan National pour la Conservation du Lynx  
**RD** : Route Départementale  
**RN** : Route Nationale  
**SFEPM** : Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères  
**SIG** : Système d'Information Géographique  
**SRCE** : Schéma Régional de Cohérence Ecologique  
**TPC** : Terre-Plein Central  
**TV** : Tous Véhicules  
**UICN** : Union Internationale pour la Conservation de la Nature  
**V85** : Vitesse réalisée par 85 % des automobilistes comptés  
**VL** : Véhicule Léger

## Remerciements :

Je voudrais remercier tout d'abord l'équipe d'ERC-Lynx (Estelle, Anaïs, Sarah, Olivier, Christophe et Alain) qui m'a accompagné et guidé durant ce projet. De m'avoir permise de travailler sur cette espèce et pour leur bonne humeur et humour durant les réunions. Un merci particulier à Alain Morand mon encadrant, qui m'a épaulé tout au long de ce stage.

Mes remerciements vont également à l'ensemble de la division environnement du Cerema (Luc, Marc, Pierre, François, Julian, Thomas, Sylvain et Cécile plus les stagiaires et vacataires, Julien, Didier et Théotime), ainsi qu'à Gérald qui a bien voulu partager son bureau et le groupe repas/café. Merci de m'avoir accueillie aussi chaleureusement, de m'avoir intégré à votre équipe, permise de partager votre sortie d'équipe et pour tout ce que vous m'avez apporté durant ce stage, et je ne parle pas que des cafés Gérald.

Merci également à tous les acteurs avec qui j'ai eu l'occasion d'échanger, par mail, au téléphone au bien en face à face. Merci particulièrement aux Conseils départementaux du Jura et du Doubs, qui ont eu la gentillesse de m'accueillir dans leurs locaux. Merci également à tous ceux qui m'ont raconté leur rencontre avec cet animal magnifique que j'espère croiser un jour, je pense à Stéphane Regazzoni et Christian Bulle.

Un merci également à Delphine Chenesseau, Laurent Balestra et Jérôme Bombois pour nous avoir accompagné sur le terrain, raconté les accidents passés sur leur secteur, et montré, expliqué comment se réalise le suivi Lynx.

Je voudrais également remercier les coordinatrices et coordinateurs PNA (Luc et ses collègues), PNCL (Marine), PLMV (Estelle et Anaïs) de m'avoir permise de participer aux réunions techniques et ainsi que de rencontrer une multitude d'acteurs d'horizons différents qui souhaitent aider à la protection/conservation de cette espèce.

Je finirai par remercier ma famille et mes amis pour leur soutien et leur aide, et de m'avoir permise de travailler sur cet animal qui me tient à cœur.

### Contexte du stage :

Ce stage a été réalisé au sein du Centre d'Études et d'expertises sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (Cerema). Cet organisme est un établissement public national sous la direction du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES) ainsi que du Ministère de la Cohésion des Territoires et des Relations avec les Collectivités Territoriales (MCTRC). L'établissement a quatre grandes missions, l'appui aux politiques publiques, l'innovation et la recherche, la diffusion des connaissances ainsi que la normalisation. Elles sont réalisées par plus de 2 800 agents dont 426 experts et chercheurs répartis sur l'ensemble du territoire français (11 sites géographiques). Cette large distribution et ancrage est une force dans la réalisation des missions et objectifs de l'établissement (Cerema, 2019). La prise en compte de la biodiversité dans les projets d'aménagement et d'infrastructures routières est une activité depuis les années 80.

En 2008, un appel à projet est lancé par le programme Infrastructures de Transports Terrestres, Écosystèmes et Paysages (ITTECOP). En 2017, dans ce cadre, le CEFÉ-CNRS (le 1<sup>er</sup> laboratoire d'écologie en France), le Cerema, le CROC (centre de recherche en éco-éthologie et écologie appliquée sur les mammifères carnivores Européens) et l'ONCFS (Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage) soumettent le projet ERC-Lynx « Éviter, réduire et compenser la mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport » à l'appel à projet ITTECOP 2018-2020.

C'est dans le cadre de ce projet de recherche que mon stage a été réalisé. Les missions qui m'ont été confiées avaient deux objectifs : (1) l'acquisition de données fines sur les Infrastructures de Transports Terrestres (ITT) à partir d'échanges avec les acteurs concernés et (2) l'étude des collisions et la proposition de mesures d'évitements et de réductions. Au démarrage du stage, il était prévu de les mener à deux échelles, tout d'abord sur l'ensemble du Massif du Jura puis, plus finement, sur les tronçons les plus accidentogènes. Cependant, durant la phase d'acquisition de données en lien avec les ITT, nous n'avons soit pas pu obtenir toutes les informations que nous souhaitions (absence de bases de données les compilant de manière homogène et exhaustive), soit trop tardivement ce qui ne nous a pas permis de les exploiter à temps. Cela a conduit à la proposition d'une action concrète à savoir la création de base de données sur les Infrastructures Linéaires de Transports (ILT), dans le but de mener à terme des études plus poussées sur la compréhension des collisions. Cette proposition d'action figure actuellement dans le Programme Lynx Massif des Vosges (PLMV), le Plan National pour la Conservation du Lynx (PNCL) et le Plan National d'Action (PNA) en faveur du Lynx boréal.

## Introduction

En 2013, la surface de la terre était parcourue par 64 millions de kilomètres de routes (CIA, 2013) dont 5 millions, en 2011, uniquement dans l'Union Européenne (EFR, 2011). Toutes ces routes permettent de se déplacer plus rapidement, sur de plus longues distances. Avec l'augmentation des automobilistes et pour gagner plus de temps, les dimensions des routes sont régulièrement revues à la hausse. Différentes études fondées sur des modèles mathématiques prédisent que d'ici 2050, ce sont 1.7 à 2.8 milliards de véhicules qui seront en circulation soit deux fois plus qu'en 2009 (870 millions ; Wec 2011 ; Meyer et al, 2012). Avec la disparition des milieux naturels et l'ajout de l'artificialisation des paysages, la fragmentation des habitats naturels continue elle aussi d'augmenter entraînant l'isolement de certaines populations et parfois même, leur extinction (Chapron et al, 2014 ; Grilo et al, 2015). Il existerait trois effets majeurs néfastes des routes et du trafic sur la vie sauvage : la fragmentation des populations en sous population plus petite ; la dégradation des habitats ; et l'augmentation de la mortalité par collision (Grilo et al, 2015). Elles ont un impact négatif sur de nombreuses espèces sauvages et notamment sur les grands carnivores (Stahl et Vandel, 1998 ; Crooks, 2002 ; Schmidt-Posthaus et al, 2002). Ces derniers ont en effet de grands territoires sur lesquels ils se déplacent et où le risque de collision avec les Infrastructures Linéaires de Transport (ILT) est bien présent. Par exemple, au sud de l'Espagne, 17 % des Lynx pardelle (*Lynx pardinus*) meurent par collision (Ferrerias et al, 2012). Et qu'en est-il pour le Lynx boréal (*Lynx lynx*) en Europe et en France ?

Au niveau Européen, Le Lynx boréal est inscrit à l'Annexe III de la Convention de Berne, ainsi qu'à l'Annexe II de la Directive « Habitats, Faune, Flore » mais n'est pas prioritaire (Convention de Berne ; 92/43 EEC). En France, l'espèce est classée en danger sur la liste rouge nationale de l'UICN (UICN France, MNHN, SFEPM & ONCFS, 2009). Dans les paysages anthropisés d'Europe, les lynx n'échappent pas aux impacts et menaces de l'artificialisation des paysages et au risque accru de collisions mortelles lors de leurs déplacements quotidiens ainsi que pendant la période de dispersion (Chapron et al, 2014). Les accidents par collision sont identifiés comme l'une des premières causes de mortalité chez le Lynx boréal en France, menaçant ces petites populations déjà vulnérables (Morand et al, 2016) mais aussi plus largement en Europe (Kaczensky et al, 2013 ; Chapron et al, 2014).

En Europe, au 20<sup>ème</sup> siècle, les populations de lynx étaient réduites à la Scandinavie, aux Carpates, à l'Est Baltiques et aux régions Balkans (Breitenmoser et al, 2001 ; Linnell et al, 2009). A la fin de ce siècle, elles s'étendaient naturellement ou grâce aux programmes de réintroductions (Breitenmoser et al, 2000 ; Vandel, 2001 ; Von Arx et al, 2004 ; Kaczensky et al, 2013), et ont fait leur



retour en Europe de l'Ouest et Centrale (Chapron et al, 2014). Aujourd'hui la répartition de l'espèce s'étend sur 23 pays Européens dont la population est fragmentée en noyaux (Chapron et al, 2014). Depuis ces dernières décennies, elle est estimée à 9 000 individus et malgré sa stabilité, elle a toujours des difficultés à se maintenir (Kaczensky et al, 2013 ; Chapron et al, 2014). Cependant, la moitié des pays concernés par l'aire de répartition du lynx ont un plan d'action ou de gestion de l'espèce pour aider à sa conservation (Kaczensky et al, 2013).

En France, le Lynx est actuellement réparti sur trois noyaux de populations de lynx localisés dans les Massifs des Vosges, du Jura et des Alpes. Suite à sa disparition entre le 17<sup>ème</sup> et le 20<sup>ème</sup> siècle, le Lynx est tout d'abord revenu naturellement dans le Jura français dans les années 80 par la Suisse, suite à la réintroduction de 8 à 10 individus dans les années 70 (Breitenmoser et al, 1998). Puis des lâchers ont été réalisés dans le Massif des Vosges entre 1983 et 1989 (Linnell et al., 2009). Cependant, ce programme de réintroduction n'a pas abouti et la population vosgienne-palatine est toujours considérée « En danger critique » sur la Liste rouge nationale (Marboutin, 2013 ; CROC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). D'ailleurs, un programme de réintroduction de 20 lynx est actuellement en cours dans le Palatinat en Allemagne (Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz, 2015). En 2009, l'ensemble des données mortalités du massif jurassien de 1974 à 2008 ont été réétudiées dans le cadre d'un premier projet ITTECOP. Il en ressort que sur 104 individus morts, 58% des cas proviennent de collisions avec une infrastructure de transport terrestre (ITT), soit plus de la moitié (Gaillard et al. 2012). Un modèle de risque de collision est produit (Arzhela et al., soumis)

Dans ce contexte, en 2017, le projet ITTECOP ERC-Lynx est initié en vue de co-construire un outil de modélisation à l'attention d'opérateurs techniques afin de les aider à la prise de décision d'aménagement du territoire. Le logiciel prendrait en compte les données actualisées de collisions et les facteurs structurels externes, les zones à fort risque de collisions identifiées par un modèle de statistique prédictif, et la viabilité des populations de lynx, leur comportement (dispersion notamment) via un modèle spatialement explicite individu-centré (SEPVA) et une interface étudiée pour des utilisateurs non spécialisés (CEFE-CNRS, Cerema, CROC, ONCFS, 2017). D'après un premier stage ERC-Lynx mené par C-A Oliver (2018) au CROC, il existe un réel problème de continuité écologique pour cette espèce. Son rapport, basé sur la comparaison de méthodes de modèles de corridors possibles entre les massifs, conclut sur une discontinuité majeure entre les Vosges et le Jura. Ce second stage s'est donné un double objectif, d'une part l'acquisition de connaissances et de données supplémentaires sur les ITT pour le modèle ERC Lynx en cours de construction (atelier n°3 prévu en septembre 2019) et d'autre part, l'identification de solutions possibles et d'autres perspectives de collaboration en vue d'éviter et réduire la mortalité de lynx par collision dans le massif du Jura. Face à ces accidents, de nombreuses questions sont survenues :

Existe-t-il des hot spots de mortalité dans le Massif du Jura ? Si oui, quelles en sont les causes ? Quelles sont les caractéristiques des routes ou tronçons de route accidentogènes à l'origine d'un risque plus élevé de collision entre le lynx boréal et les véhicules de transports routiers ? La viabilité des populations étant un des enjeux du programme ERC-Lynx, existe-t-il des causes biologiques liées au comportement de l'espèce, en période de reproduction ou l'installation dans un territoire. Y-a-t-il des différences de mortalité par collision entre mâle et femelle, entre les adultes et les juvéniles ? Et sous réserve que les lynx utilisent bien des corridors pour se déplacer, existe-t-il une influence du contexte paysager sur la mortalité par collision ?

Dans ce contexte à la fois d'enjeu élevé de conservation de cette espèce rare et protégée et d'acquisition de connaissances utiles, plusieurs hypothèses scientifiques ont été abordées dans ce rapport de stage :

Hypothèse 1 : Le massif jurassien contient plusieurs hot spots de tronçons accidentogènes, il doit donc exister une typologie de route à l'origine d'un risque plus élevé de collision entre le lynx et les véhicules de transports routiers.

Hypothèse 2 : Il existe des causes biologiques liées au comportement de l'espèce qui influence cette mortalité routière.

Hypothèse 3 : De même, il est supposé que l'environnement, paysage proche joue un rôle dans la mortalité par collision.

## I Matériels et Méthodes

### I.I Espèce étudiée : le Lynx boréal

Le lynx boréal *Lynx lynx*, fait partie de la famille des Félidés. Cette espèce est solitaire sauf pendant la période de reproduction et l'éducation des jeunes, voire figure 1 ci-dessous. En Suisse, les femelles ont un territoire d'environ 90 km<sup>2</sup> proche les unes des autres et n'acceptent pas l'intrusions d'une congénère. Tandis que les mâles ont des domaines vitaux bien plus grands de 150 km<sup>2</sup> qui englobent celui de deux voire trois femelles, plus rarement une seule (L'équipe animatrice du réseau, 2014). Lors de la période de reproduction en février-avril, les individus recherchent leur partenaire au travers de ces vastes domaines vitaux. Il est possible que durant cette période les lynx soient plus vulnérables. Puis les couples se défont et la vie en solitaire reprend, jusqu'en mai-juin pour les femelles qui mettent bas. Durant l'été, elles font de petits déplacements pour chasser et revenir nourrir les chatons encore trop jeunes restés à la tanière. Cependant au bout de 2 mois, la mère et ses petits commencent à se déplacer. En septembre, les chatons effectuent seulement de petits déplacements,

mais très vite ils deviennent capables de suivre leur mère sur son territoire parfois très fragmenté. Là aussi, il est possible que cette période entraîne des collisions, et limite la perpétuation de la population jurassienne. Il en est de même lors de la reproduction suivante, lorsque les jeunes de l'année passée ( $n+1$ ) deviennent indépendants. Les jeunes devenus des subadultes partent à la conquête d'un territoire, les femelles peuvent parcourir jusqu'à 480 km<sup>2</sup> et les mâles 760 km<sup>2</sup> pour devenir des résidents (Breitenmoser-Würsten et al, 2007). Cependant, peu d'entre eux arrivent à survivre à leur première année d'indépendance (Schmidt-Posthaus et al, 2002 ; Andren et al, 2006).



Figure 1 : Schéma du cycle de vie du lynx boréal. © CROC, 2019 (photo d'accouplement © A. Laurent ; photo d'un jeune et sa mère prise au piège photographique © Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Stiftung für Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz)

## I.II Zone d'étude

La zone d'étude se situe à l'Est de la France, sur les régions Bourgogne Franche-Comté (BFC) et Auvergne Rhône-Alpes (AuRA). Elle se compose de trois départements, le Doubs (25) et le Jura (39) en BFC, ainsi que de l'Ain (01) en région AuRA. Le Massif du Jura comporte ces trois départements (Figure 2). D'après les suivis réalisés par l'ONCFS, ce massif est le plus fréquenté par l'espèce, en comparaison des massifs des Vosges et des Alpes (Figure 3 ; ONCFS, 2019).

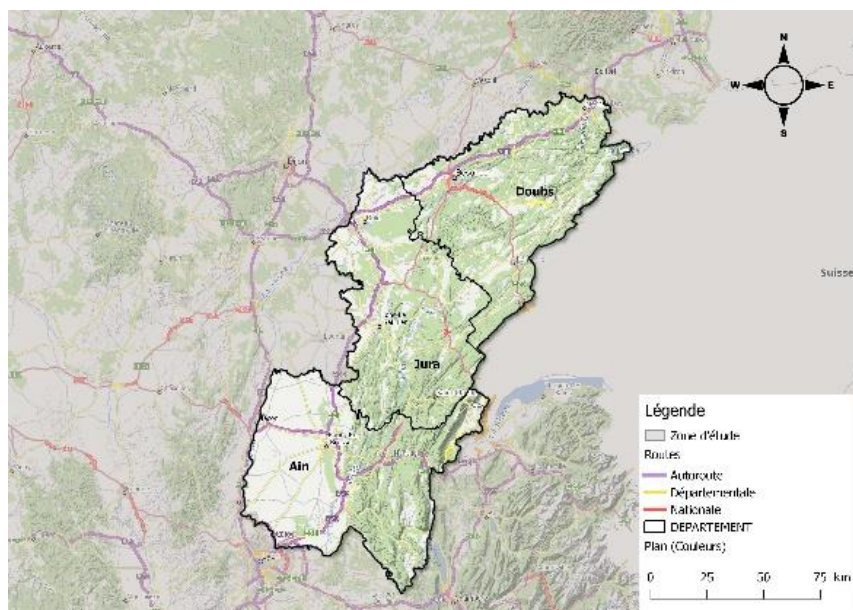


Figure 2 : Délimitation de la zone d'étude, le Massif Jurassien ; zoom sur ces 3 départements, le Doubs, le Jura et l'Ain.

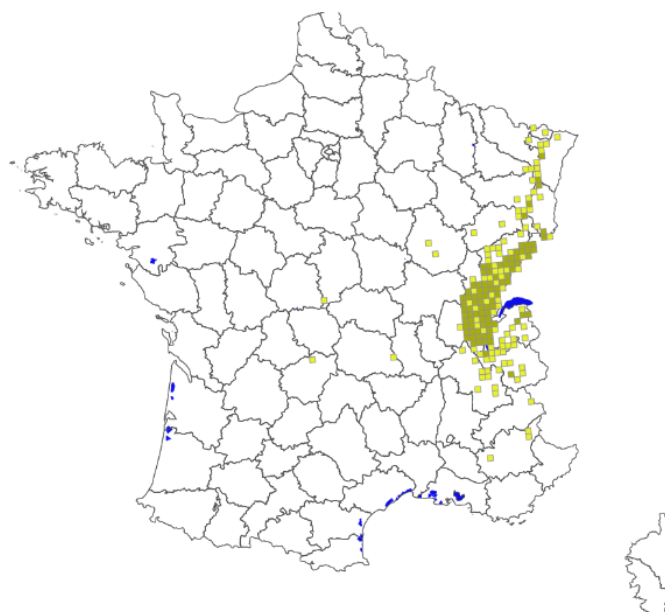


Figure 3 : Carte de répartition du Lynx boréal, en France en 2017 (ONCFS 2019). Le vert représente les zones de présences régulières tandis que le jaune correspond à la présence occasionnelle de l'espèce.

Le massif du Jura est une montagne douce en marches successives jusqu'à son sommet, Crêt de la Neige, qui culmine à 1717 mètres d'altitude. Situé entre la frontière Suisse et Française sur 340 km, il s'étend sur 14 000 km<sup>2</sup> dont 9860 km<sup>2</sup> en France. De grands axes routiers traversent le massif, notamment la RN 5 menant à Genève en traversant Poligny et Gex, mais également l'A40 entre Bourg-en-Bresse et Genève, ainsi que la RN 57 de Besançon, passant par Pontarlier pour atteindre la frontière. Ces routes suggèrent un trafic élevé entre France et Suisse, notamment par la présence de nombreux frontaliers (SRCE Franche-Comté, 2012).

### I.III Collecte et structuration des données

Pour rappel la récolte des données a été réalisé pour le double objectif, d'acquisition de connaissances supplémentaires pour le modèle ERC Lynx et pour l'identification de solutions possibles afin d'éviter et réduire la mortalité de lynx par collision dans le massif du Jura. La réponse à ce double objectif nécessitait de travailler à deux échelles, la première au niveau des 3 départements cités précédemment et la seconde plus fine au niveau des tronçons identifiés comme étant les plus accidentogènes sur la base de précédents travaux (Gaillard et al., 2012 ; Morand, 2016). Différentes publications (Trombulak and Frissell, 2000 ; Clevenger et al, 2003 ; Mangfald, 2008 ; Gaillard et al., 2012 ; Snow et al, 2017) dans le domaine de l'écologie de la route nous ont guidé pour le choix des variables. Des échanges préalables avec différents acteurs, de même que la lecture des comptes rendus des ateliers 1 et 2 dans le cadre d'ERC-Lynx menées au cours des années 2018 et 2019 nous ont amené à identifier et préciser de nouveaux facteurs. Le tableau 1 ci-dessous résume l'ensemble des variables existantes et à rechercher de même que celles utilisées dans les travaux anciens et récents effectués dans le massif du Jura. Dans cet objectif, un certain nombre de partenaires avec lesquels échanger sur ces informations et données, voire les collecter ensemble sur le terrain a été contacté et/ou rencontré durant la première étape de ce stage.

Lors des journées passées aux conseils départementaux (CD) du Jura et du Doubs, au mois de mars et avril, des données fines ont été identifiées et mesurées comme la présence de clôture, ou le terre-plein central. Elles ont pu être relevées à partir des logiciels Arcopole (CD Jura) et RouteVision (CD Doubs) exploitant un fond photographique Google Street View. Ces deux logiciels permettent de se promener le long de la route sélectionnée, et de calculer, pour exemple une largeur exacte de la route. Toutefois, le temps passé à la récolte de telles données précises sera une limite pour leur exploitation dans cette étude car non disponibles aux échelles du massif, ni même de l'ensemble des tronçons les plus accidentés.

Tableau 1: Variables envisagées en début d'étude

ITT	Variables	ITTECOP 2012	Modèle ERC	Recherche info
Voies routières	<u>Variables transports :</u>			
	Vitesse moyenne		X	CD, DIR
	Trafic (fréquence des véhicules, PL/VL, Changement d'heure, vacances scolaire)	X	X	CD, DIR
	Type de route (Nb de voies, largeur en m, ouvert ou tunnel)	X		CD, DIR, SIG
	Signalétique			CD, DIR, Terrain
	Densité des routes (km/km <sup>2</sup> )			CD, DIR, SIG
	<u>Variables aménagements :</u>			
	Type de clôture (Présente, Grande faune, petite faune, spécifique Lynx)			CD, DIR, SIG, Terrain
	Végétation de bas-côté (rase/gestion intensive, haute/fauche tardive, visibilité)			CD, Terrain
	Sinuosité	X		CD, DIR, SIG
	Type de terre pleins central			CD, SIG, Terrain
	Végétalisation du terre-plein			CD, SIG, Terrain
	<u>Variables éco-aménagements :</u>			
	Localisation de passage à faune			CD, DIR, FDC, Asso, SIG
	Type de passage			CD, DIR, FDC, Asso, SIG, Terrain
	Efficacité du passage			CD, DIR, FDC, Asso
	<u>Autres variables :</u>			
	Collisions autres animaux			FDC, Asso
	Salage			CD, DIR

#### I.IV Les données et variables utilisées

##### Données de « Lynx morts » par collision

En 1988, l'ONCFS crée le réseau Lynx et réalise un suivi de cette espèce protégée. A l'aide de collaborateurs professionnels et bénévoles formés sur le territoire, les indices de présences sont relevés (Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, 2017). Lorsque l'un de ces animaux est retrouvé mort, les représentants locaux de l'ONCFS sont prévenus et viennent chercher la dépouille. Ainsi, ils relèvent les coordonnées GPS, la date estimée de la collision, l'âge, le sexe de l'individu, si cela est encore possible, et le font autopsier auprès de cabinets vétérinaires afin de déterminer la cause de la mort et différentes informations (état sanitaire, etc...).

Un extrait de ce tableur nous a été communiqué par l'ONCFS, l'un des partenaires au projet ERC-Lynx. Les données du tableau Collisions\_Lynx1 sont datées de 1982 jusqu'à début 2018 et représentent 111 individus. Nous avons fait le choix de supprimer pour les analyses statistiques, les individus indéterminés ainsi que ceux comportant des occurrences non renseignées dans certaines variables (n/a), reste n = 97 individus (fichier acm04). A partir de l'information « date de la collision », une variable « période scolaire » a été construite à l'aide de la source et site « very-utile.com, vacances-scolaire.education » en vue d'étudier cet effet sur le risque de collision en période de vacances, notamment lors de la saison touristique hivernale. En effet, le Massif du Jura comprend de nombreuses stations de ski. Enfin, la phénologie (saison biologique) est une autre variable construite à partir de la donnée brute « date estimée de la collision ».

## Données et variables liées aux routes

Nous avons fait le choix d'étudier les tronçons de routes comportant une collision et leur environnement de part et d'autre d'un rayon de 500 mètres, soit un kilomètre de route. Pour caractériser ces tronçons, les points GPS des collisions ont été projetés sur une carte puis à l'aide du logiciel QGIS des linéaires ont été construits afin de générer de nouvelles variables éco-paysagères.

### Variable « limitation de vitesse » :

Les limitations de vitesses sur les tronçons de route ont été relevées à partir des photos de Google Street View, grâce à la localisation GPS des collisions. Le changement de vitesse de 90 km/h à 80 km/h est rentré en vigueur le 1<sup>er</sup> Juillet 2018, et ne concerne donc pas les accidents lors de cette étude. Cependant, les dates des photos Google varient de 2015 pour les plus anciennes à 2018, et pourraient induire des erreurs. Il a donc été choisis pour palier à ce biais, de créer 3 modalités de classe de vitesse : 30 à 70 km/h, 80 à 90 km/h et 110 à 130 km/h. Le choix de ces classes a également été influencé par une étude espagnole sur le Lynx pardelle (*Lynx pardinus*) qui prouvait la présence d'un palier à 80-90 km/h au-dessus duquel les collisions étaient moins évitées. (Garrote et al, 2018).

### Variable « type d'infrastructures routières » :

Le présent rapport ne tient pas compte des voies ferroviaires (environs 5% des accidents en France) (Gaillard et al., 2012) mais à la place, intègre les routes communales. Les routes forestières n'étant pas tracées, elles ne seront pas étudiées. La variable a été construite en 4 modalités comprenant les autoroutes, les routes nationales et départementales ainsi que les routes communales. Les données concernant cette dernière catégorie ont été relevées soit par l'ONCFS directement sur le terrain lors de la découverte de cadavre, soit sur SIG par projection des points de collisions sur un fond de carte du réseau routier.

### Variable « nombre de voies » :

Le site BD TOPO recense la largeur des routes ainsi que le nombre de voies. Toutefois, l'imprécision de cette mesure que confirme Olivier (2018) et nos recherches sur google Streets View, nous ont amené à ne garder que le nombre de voies dans la suite de l'analyse. Cette variable sera subdivisée en deux modalités, les routes bidirectionnelles ainsi que les routes comportant plus 2x 2 voies.

#### Variable « sinuosité » :

Suite aux échanges avec plusieurs experts du Lynx rencontrés lors de ce stage, la sinuosité de la route pourrait être un facteur de collisions. Quelques visites de terrain sur les tronçons confirment que les accidents semblent survenir après le passage d'un virage. Cette variable a été généralisée et construite sur SIG à partir du logiciel QGIS, en mesurant à partir de la fonction mesure de segment, les distances dites à vol d'oiseau, prise entre les extrémités de chaque tronçon. Il a été ensuite appliqué la formule suivante :

$$\text{Sinuosité} = \frac{\text{Distance réelle} - \text{Distance à vol d'oiseau}}{\text{Distance à vol d'oiseau}} \times 100$$

Puis elle a été classée en deux catégories, les tronçons peu sinueux  $< 5$ , et les tronçons qui présentaient une sinuosité  $> 5$ .

#### Données « occurrence de lynx » :

La distribution et la densité des Lynx dans le Massif du Jura influencent la probabilité des collisions (Gaillard et al., 2012). Il est donc attendu que les accidents se situent davantage en zone de présence régulière de l'espèce, car plus il y a d'animaux et plus il y a de risque d'accidents routiers avec cette espèce. Chaque année, la structure établie des cartes de zones de présence de l'espèce sur 1km<sup>2</sup> à partir d'indices collectés sur le terrain. La couche de présence Carmen 2017, mise en ligne par l'ONCFS sera utilisée en vue de construire une nouvelle variable en trois classes soit présence régulière, présence occasionnelle et absence.

#### Données environnementales et variables éco-paysagères :

L'utilisation de Corine Land Cover en ce qui concerne le paysage et l'environnement proche du point de collision, offre 5 grands types d'habitats qui sont, les territoires artificialisés, les territoires agricoles, les forêts et milieux semi-naturels, les zones humides et les surfaces en eau. L'utilisation des deux logiciels SIG, QGIS et ArcGIS a été nécessaire à la construction de ces variables à partir de zones tampons réalisées sur 500 mètres de rayon. Elles ont différentes classes présentées ci-dessous.

Le Territoire Artificialisé est composé de 4 classes en pourcentage : Peu artificialisé  $< 7$  ; moyennement artificialisé de 7 à 14 ; assez artificialisé de 14 à 21 et artificialisé  $> 21$ . Le territoire agricole et les forêts et milieux semi-naturels ont été construites de la même façon, en 4 classes de 25 en 25 %, en peu, moyen, agricole ou forestier et très. Et pour finir, les zones humides et la surface en eau ont seulement 2 classes, absence quand il n'y en a pas et présence à partir 1%.



## I.V Analyses statistiques

### I.V.1 Analyses univariées et bivariées

Toutes les variables présentes dans cette étude ont été construites sous forme qualitative en 2 ou plusieurs modalités. Afin de connaître la répartition des données de « lynx morts par collisions » suivant leurs modalités, des tests binomiaux ou des  $X^2$  d'ajustement ont été effectués sous RStudio.

Des analyses bivariées ont été faites sur les variables biologiques liées à l'âge et au sexe des individus et leur influence ou non dans les probabilités de collision. Les tests de  $X^2$  d'indépendance et les tests de Fisher ont été réalisés à l'aide du logiciel XLSTAT, une extension ajoutée au logiciel Excel qui donnent automatiquement les différences réalisées avec les tests de post-hoc.

### I.V.2 Statistiques multivariées : Analyse des Correspondances Multiples (ACM)

#### Variables et modalités

Afin de réaliser une ACM, le jeu de donnée doit être revu. Ce type d'analyse n'aime pas les extrémités, mise en évidence par les statistiques univariées. Plusieurs modalités ont donc été fusionnées en une seule, les variables Territoires artificiel et agricole n'ont plus que trois modalités, et l'occurrence plus que deux. Une fois les classes de revue, certaines variables sont écartées car elles présentent des classes de modalités difficilement maniables face à ces extrêmes, tels que les zones humides et la surface en eau. Puis les jours et les mois sont également supprimés de cette analyse à cause d'un trop grand nombre de modalité. Une dernière étape doit également être respectée. Il est nécessaire d'écarter de l'analyse les variables trop liées les unes aux autres. Pour cela des tests de  $x^2$  d'indépendance et des tests de Fisher sont effectués sous RStudio. L'ACM est réalisée sur les variables suivantes : Type de route ; Sinuosité ; Occurrence ; Territoire artificiel ; Territoire agricole ; Forêt et milieux semi-naturel.

#### Variable complémentaire à l'ACM

Dans l'analyse, les variables sexe, semaine, saison et période scolaire sont traitées en tant que supplémentaires ou illustratives, c'est-à-dire qu'elles n'interviennent pas dans la construction des dimensions mais seront seulement projetées sur les axes les plus significatifs.

## I.VI Analyse spatiale par Système Informatique Géographique (SIG).

Afin de compléter les analyses statistiques, des analyses spatiales ont également été réalisées grâce au logiciel QGIS. A partir des données de mortalités de l'ONCFS, de 1982 à 2018, plusieurs cartes de chaleurs ont été créées à différents pas de temps. Ce traitement met en avant des points

noirs, c'est-à-dire des secteurs où les collisions sont les plus denses, et demandent une action rapide des gestionnaires pour réduire l'impact. Aux cartographies ont été insérés des graphiques, sortis de tableaux dynamiques réalisés sur logiciel excel, de manière à mieux appréhender la répartition des collisions suivant les années.

Dans le but de prendre en compte d'autres variables dans une potentielle typologie de routes meurtrières, une carte sur l'altitude a été réalisée ainsi que plusieurs cartes zoomées sur les points noirs, à la recherche de continuité écologique. De même, de façon à avoir une gestion adaptée plus fine à la réduction de la mortalité, une dernière cartographie a été créée sur la géolocalisation des individus tués selon leur âge et leur sexe.

## II Résultats

### II.I Récolte de données

Le bilan de la récolte des données suite à la rencontre d'acteurs, la consultation de leur base de données, l'analyse et l'exploitation de leur logiciel mais également de Street View rend compte d'une part, d'une grande hétérogénéité des données et d'autre part du très faible nombre de variable exploitable à l'échelle du massif voire à l'échelle d'un département et donc de l'ensemble des tronçons accidentogènes.

Le tableau 2 récapitule cette information, il a été présenté lors d'une réunion PNA Lynx, le 11 et 12 avril 2019, afin de relancer une dernière fois certains acteurs présents. L'alimentation du modèle ERC-Lynx par de nouvelles variables récoltées sur les trois départements ne sera pas possible dans le temps imparti de ce stage. La difficulté de rassembler les données existantes, voire de récolter sur le terrain de nouvelles données, suppose une mobilisation plus soutenue de la part de tous les acteurs intéressés par une telle problématique et enjeu.

Tableau 2 : Premier bilan de la récolte des données effectuée dans le cadre de ce stage.

Données (routes) utilisées dans le modèle		Données (routes) revisitées et/ou nouvelles (ce stage)		
		Acquises		Demandées
		Départements	Tronçons accidentogènes	
Volume du trafic journalier (Nb moyen veh/jours/année)	Proxie	VT/PL sur une année (CD25-39)		CD 01 / DIR Est / DIR Centre Est / APRR
Vitesse (lim. max. + V85)	Proxie (lim. max.)	V85 (CD 25)		CD 01 / CD 25 / CD 39 / DIR Est / DIR Centre Est / APRR
Type de route (Nb voies + largeur)	route500 (IGN)	Largeur, Nb de voies (CD25-39)		CD 01 / DIR Est / DIR Centre Est / APRR
Petits aménagements (Clôture, TPC, GBA, autres)	/	/	RN + RD (25 - 39)	CD 01 / APRR
Entretien des routes (végétation, salage)	/	CD (25-39) + APRR (salage)		CD 01 / DIR Est / DIR Centre Est / APRR
Ouvrages de franchissements (PF, mixte)	/	/	PF Orchamps-Vennes	CD 01 / DIR Est / DIR Centre Est / APRR / FDC 01 / FDC 25 / FDC 39

## II.II Analyses univariés

- a) Existent-ils des différences au sein des classes d'âge (adultes et jeunes) ainsi qu'entre les sexes (mâle et femelle) des lynx trouvés morts par collision ?

Le jeu de données comporte le même pourcentage de jeunes que de femelles, soit 52.58 % contre 47.42% d'adultes et de mâles. Cependant, les deux tests binomiaux effectués successivement sur l'âge et sur le sexe ne sont pas significatifs, avec une même p-value de 0,6879. La répartition des collisions est donc homogène, il n'y a pas de distinction d'âge, ni de sexe.

- b) Est-ce que les collisions surviennent plus souvent en semaine ou le week-end ? Existe-t-il une différence en fonction des jours de la semaine ?

Pour les jours de la semaine, la répartition semble homogène avec une tendance plus faible pour le samedi, 12,37% et le dimanche 11.34%. Tandis que le mercredi et le lundi sont les jours les plus représentés avec 17.53% et 16.49%. Le test de  $X^2$  réalisé ici justifie de l'homogénéité des données avec une p-value de 0.9879. Cependant, cette tendance est accentuée sur le second graphe (Annexe 3) où 76.29% des collisions ont lieu la semaine contre 23.71% le week-end. Ici la p-value étant de  $2.027e^{-7}$ , il y a donc bien une différence significative des collisions qui arrivent plus souvent la semaine.

- c) Existent-ils une différence du nombre de collision selon les mois ? Existe-t-il une différence entre les saisons ?

Les deux diagrammes pour ces variables montrent des répartitions très hétérogènes. Pour les mois de l'année, deux grands pics sont représentés en octobre avec 18.56% des collisions et 17.53% en décembre, et un troisième pic plus faible 13.4% en novembre. Les mois de l'année qui présentent le moins de collisions sont de mai à septembre, entre 4.12% et 5.15% des accidents relevés ainsi que pour janvier et février avec 5.15%. Les mois de mars et avril étant entre deux avec respectivement 7.22% et 10.31% des collisions à l'année. Concernant les saisons, un pic est visible en automne avec 49.48% des collisions, à contrario l'été étant la saison la moins accidentée avec 14.43%. Les tests de  $X^2$  effectué sur ces variables sont tous deux significatifs avec des p-value de  $1.922e^{-4}$  et  $7.1e^{-7}$ , ainsi que pour les post-hoc significatifs pour les mois d'octobre et décembre ainsi que pour l'automne.

- d) Existe-t-il une augmentation des collisions durant les vacances scolaires ?

La comparaison entre périodes de scolarité et de vacances n'a pas d'incidences sur le nombre de lynx retrouvés morts sur les routes, les résultats n'étant pas significatif (répartition homogène, test binomial et p-value = 0,68).

- e) Quelle influence des variables « transport » (vitesse, type d'infrastructure routière, nombre de voies et sinuosité) sur le nombre de collision ?

Les tests de  $X^2$  effectués sur les variables limitations de vitesse et type de route ainsi que les tests binomiaux réalisés sur le nombre de voies et la sinuosité, montrent tous des répartitions hétérogènes, avec des p-value inférieures à 0.05. Elles sont dans l'ordre de  $2.859 \times 10^{-14}$ ,  $2.2 \times 10^{-16}$ ,  $1.153 \times 10^{-9}$  et  $3.804 \times 10^{-5}$ , les post-hoc étant également significatifs sur les modalités présentant un pic. D'après la figure 7, 71.13% des collisions qui ont lieu sur des routes dont la limitation de vitesse est comprise entre 80 et 90 km/h, tandis que les deux autres classes ont 14.43% des collisions. Pour la nature des routes, la majorité des collisions se situent sur les départementales 62.77%, puis les nationales 22.34% et pour moins de 10% sur les autoroutes et les routes communales. Plus de 80 % surviennent sur des voies bidirectionnelles, et des routes peu sinueuses 71.13%.

- f) Existent-ils des différences du nombre de collision en fonction de la répartition et densité de lynx dans l'aire d'étude ?

D'après le  $X^2$  effectué sur cette variable (p-value =  $2.2 \times 10^{-16}$ ), les collisions sont réparties en majorité 74.23% sur des zones de présence régulière du lynx. Pour 22.68% des cas en présence occasionnelle et seulement 3.09% dans les zones d'absences de l'espèce.

- g) Existe-t-il une influence des types d'habitats sur le nombre et la localisation des accidents ?

Les variables habitats présentent toutes un test significatif avec pour l'artificialisation des sols un p-value de  $2.2 \times 10^{-16}$ ,  $3.683 \times 10^{-9}$  en agriculture, pour les forêts et milieux semi-naturels 0.004681, et enfin une même p-value de  $2.2 \times 10^{-16}$  pour les zones humides et la surfaces en eau. Les collisions sont réparties à 68.04% sur des territoires peu artificialisés, à 51.55% sur des sols peu agricoles mais à 38.14% dans des milieux très forestier et 28.87% forestier et en absence d'eau.

### II.III Analyses bivariés

- a) Est-ce que le sexe des lynx tués par collision diffère selon leur âge ?

Suite à un test de  $X^2$  d'indépendance effectué, il n'y a pas de différence significative (p-value de 0.373). Il y a autant de jeunes mâles et femelles qui se font tuer par la route que de mâles et femelles adultes.

- b) Y a-t-il une influence des jours sur l'origine de l'âge des lynx morts ? Ou bien de la semaine ?

Des  $\chi^2$  d'indépendances ont été réalisés sur ces variables mais ne sont pas significatifs, avec un p-value de 0.110 pour les jours et 0.965 pour la semaine. L'âge des animaux n'est donc pas influencé par les jours ou la semaine.

c) Et sur le sexe ?

Les p-values des tests de  $\chi^2$  sont de 0.884 pour la variable jours et 0.965 pour la variable semaine, il n'y a donc aucune influence des jours ou de la semaine sur le sexe des lynx.

d) Existent-ils un effet des saisons (voire des mois de l'année) sur le nombre et le type de lynx tués (sexe, âge) ?

D'après le test de Fisher dont la p-value est de 0.006, il existe des différences d'âge selon certains mois de l'année. Il en est de même pour les saisons avec une p-value de 0.005. Les jeunes ont tendance à se faire tuer plus facilement en octobre, lors de l'automne. Pour les adultes, le mois de juillet serait le plus meurtrier mais voir tableau 3 et 4.

Tableau 3 : Significativité par case sur les variables Age / Mois. Les valeurs affichées en rouge sont significatives au seuil  $\alpha=0,05$ .

	Aout	Avril	Decembre	Fevrier	Janvier	Juillet	Juin	Mai	Mars	Novembre	Octobre	Septembre
Adulte	>	>	<	>	<	>	>	<	>	<	<	<
Jeune	<	<	>	<	>	<	<	>	<	>	>	>

Tableau 4 : Significativité par case pour les variables Age/Saison. Les valeurs affichées en rouge sont significatives au seuil  $\alpha=0,05$ .

	Automne	Ete	Hiver	Printemps
Adulte	<	>	>	>
Jeune	>	<	<	<

e) Et avec la variable sexe ?

Les tests réalisés sur ces variables donnent des p-values de 0.788 pour les mois de l'année et 0.936 pour les saisons. Il n'y a donc pas d'influence sur le sexe des lynx tués.

f) Existe-t-il un effet des vacances sur le nombre et l'âge des individus retrouvés morts ? et sur le sexe ?

Que ce soit sur l'âge ou sur le sexe des animaux retrouvés morts par collisions, les périodes scolaires n'ont aucune influence. Les p-values des tests effectués donnent une réponse de 0.299 pour l'âge et de 0.837 pour le sexe, soit supérieure à 0.05.

## II.IV Statistiques multivariées par analyse des correspondances multiples (ACM)

a) Jeu de données

Le tableau ci-dessous rend compte des variables corrélées entre elles, il s'agit donc d'en supprimer quelque unes de l'ACM afin de diminuer leur poids et contribution dans l'analyse. Les valeurs à l'intersection colorées en vert sont corrélées. Le choix s'est porté sur les variables « Age », « Lim.V » et « NB.V ». Les variables de proportion d'habitats ont été conservées de même que celles informant du type de route et de la sinuosité.

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des p-values après tests  $\chi^2$  ou Fisher. En vert, p-values significatives  $<0.05$ . PS = Période scolaire ; Lim.V = Limitation de vitesse ; Typ.R = Type de route ; NB.V = Nombre de voies ; Si = Sinuosité ; Art = Territoire artificiel ; Agr = Territoire agricole ; Fo = Forêts et Milieux semi-naturels.

	Age	Sexe	Semaine	Saison	PS	Lim.V	Typ.R	NB.V	Si	Occurrence	Art	Agr	Fo
Age		0,3735	0,9646	0,004	0,2988	0,4718	0,072	0,6121	0,9006	0,5947	0,09	0,2564	0,0065
Sexe			0,9646	0,933	0,8374	0,1344	0,3308	0,308	0,3066	0,1438	0,2459	0,7731	0,6632
Semaine				0,7006	0,5436	0,3928	0,1919	0,5495	0,8492	0,2581	0,2429	0,4908	0,8291
Saison					0,2599	0,3913	0,6147	0,3898	0,095	0,1079	0,057	0,1394	0,2364
PS						0,071	0,3093	0,4777	0,9062	0,6186	0,914	0,006	0,001
Lim.V							0,0005	0,0005	0,0685	0,3268	0,001	0,0495	0,007
Typ.R								0,0005	0,2104	0,1894	0,3738	0,0545	0,002
NB.V									0,0491	0,3484	0,5387	0,2654	0,022
Si										0,1539	0,4563	0,4723	0,6827
Occurrence											0,055	0,2369	0,9315
Art												0,0485	0,1579
Agr													0,0005
Fo													

#### b) ACM

D'après le tableau résumé de l'ACM en annexe 4, la dimension 1 explique 15.988% de l'inertie totale, la dimension 2 à 14.466%, la dimension 3 à 11.749%, et la dimension 4 à 9,882%. Les autres dimensions sont bien inférieures à 10%, et ne seront pas gardées. La répartition des modalités sera étudiée selon les deux premières dimensions.

Concernant les 47 premiers individus, nous pouvons observer trois groupes distincts mit en valeur par des ellipses rouges. Les individus les mieux projetés sur ces deux axes sont répartis dans ces groupes : les 23 et 37 selon la dimension 1 dans le groupe 1, les 22 et 34 selon le second axe dans le groupe 2 et enfin les 3 et 29 suivant la dimension 2 dans le groupe 3, voire figure 4.

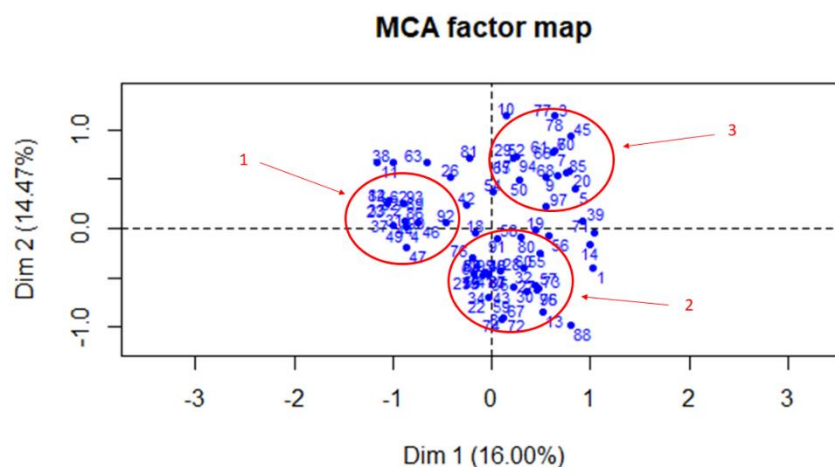


Figure 4 : Graphique de la répartition des individus de l'ACM suivant les dimensions 1 et 2, réalisé sous RStudio.

D'après la figure 5 et le tableau en annexe 4, nous retrouvons également 3 groupes pour les variables actives. Les départementales, les territoires très agricoles et peu forestiers sont les plus robustes pour former le groupe 1, les nationales et les milieux très forestiers pour le groupe 2, et les autoroutes entourées de milieux agricoles et forestiers constituent le groupe 3.

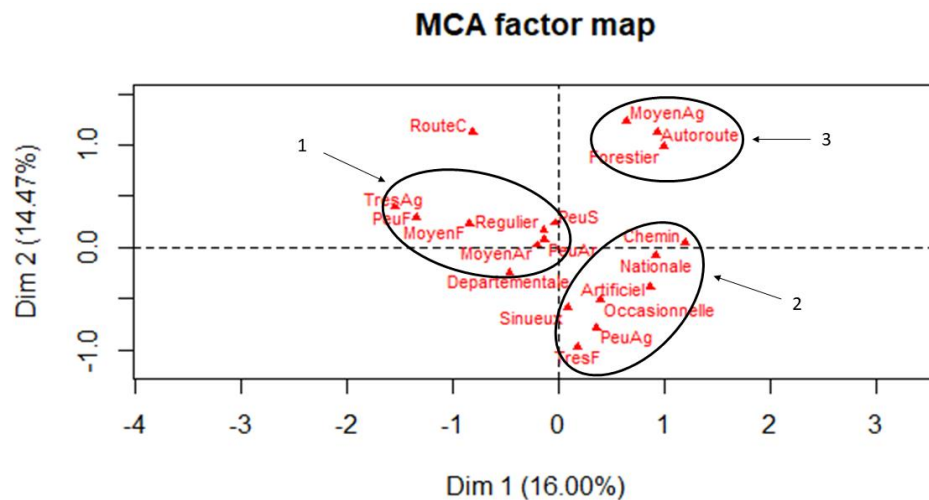


Figure 5 : Graphique de la répartition des modalités des variables actives sur les dimensions 1 et 2, réalisé sous RStudio.

Et enfin pour les variables supplémentaires, un groupe est situé au centre des axes et deux modalités sont exclues ; l'été et les vacances (Figure 6). Ces dernières sont d'après le tableau en annexe 4, les mieux projetées sur ces deux axes.

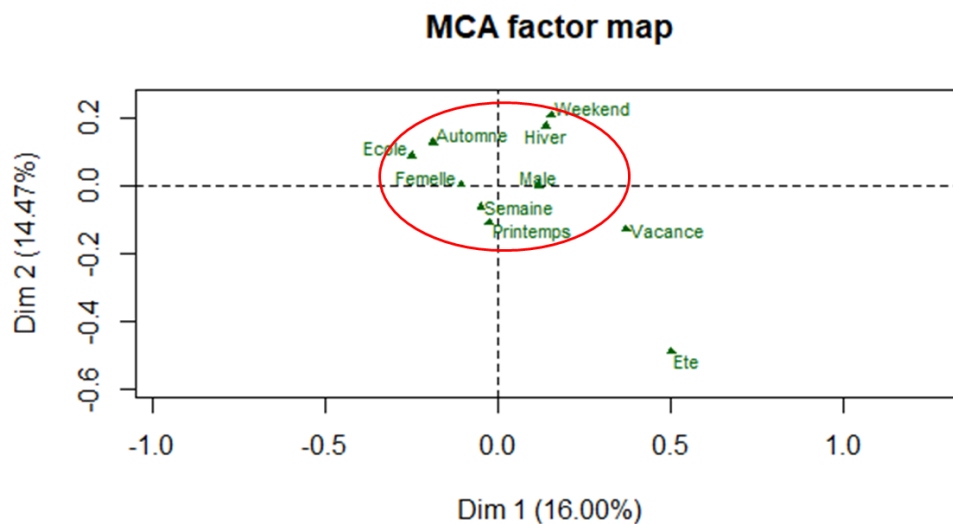
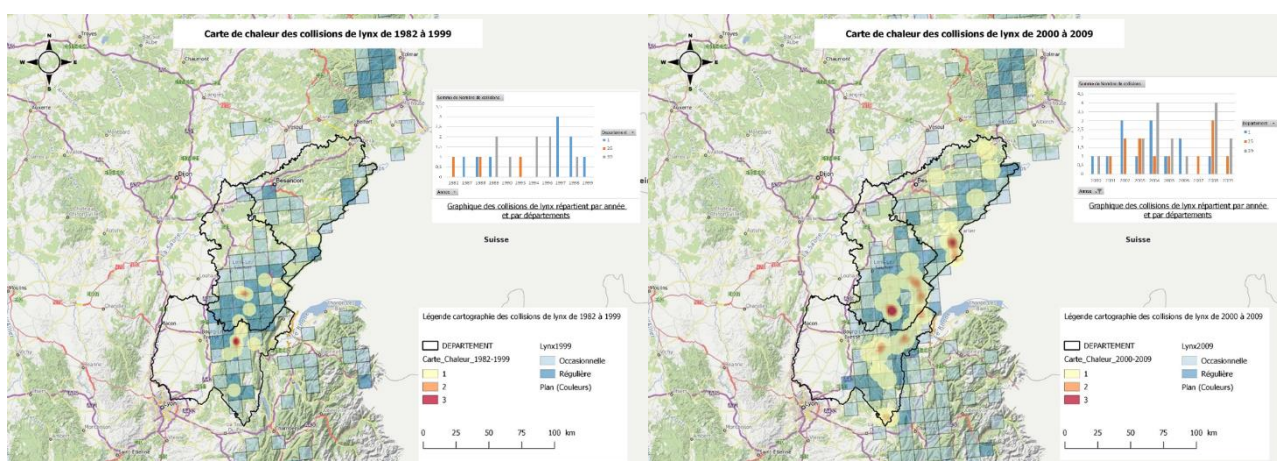


Figure 6 : Graphique de la répartition des modalités des variables supplémentaires suivant les dimensions 1 et 2, réalisé sous RStudio.

## II.V Analyse spatiale par Système Informatique Géographique (SIG)

D'après la première carte de 1882 à 1999, un point noir se situe dans l'Ain sur l'A404 vers Montréal-la-Cluse. Un deuxième point moins accidenté est localisé dans le Jura sur la RD 470 vers Orgelet. Ces deux secteurs sont entre des zones de présences occasionnelle et régulière d'après la couche de présence du lynx en 1999. Entre 2000 et 2009, la carte laisse apparaître plusieurs points chauds. Dans le Doubs sur la RN 57 deux d'entre eux sont visibles. Le premier vers La-Cluse-et-Mijoux avec 3 collisions ou plus en présence régulière, et le second moins fort vers Jougne en présence occasionnelle. Dans le Jura, le point noir le plus meurtrier est sur la RD 470 à Villards-d'Héria en présence régulière et trois autres points un peu moins meurtriers sur la RN 5 vers Saint-Laurent en Grandvaux et l'Ain, en présence régulière pour les plus au Nord et présence occasionnelle pour celui à la limite du département. Concernant l'Ain, un point chaud de deux collisions est localisé à proximité de celui découvert entre 1882 et 1999. Il se situe sur l'A40 à Nantua toujours entre les deux zones de présence. Deux pics sont représentés dans le graphique, en 2004 et 2008 avec 4 collisions dans le Jura. Entre 2010 et 2014, un point chaud ressort en particulier dans le Doubs, sur la RD 461 à Orchamps-Vennes, et un second moins important qui revient à La-Cluse-et-Mijoux, tous deux en présence régulière. Un pic est toujours atteint dans le Jura en 2011 mais celles-ci sont réparties sur le territoire. Entre 2015 et 2018, deux points noirs sont visibles dans le Doubs, sur la RN 5 à Marmirolle et toujours à La-Cluse-et-Mijoux, en présence régulière. Le Jura affiche également deux points chauds mais moindres, sur la RD 678 à Bonlieu et sur la RN 5 à Morbier. Le premier étant en présence régulière et le second entre deux. Ici, deux pics sont visibles dans le Jura en 2017 et dans l'Ain en 2015, figure 7.





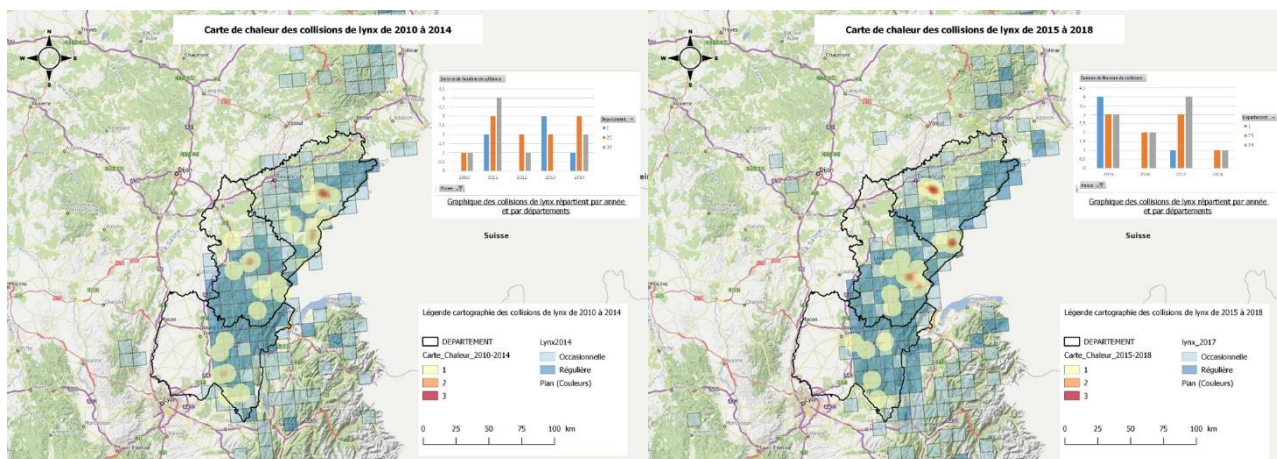


Figure 7: Cartes de chaleur des collisions de lynx. En haut à gauche de 1982 à 1999 ; en haut à droite de 2000 à 2009 ; en bas à gauche de 2010 à 2014 ; en bas à droite de 2015 à 2018

La carte de chaleur sur l'ensemble des données met en évidence quatre secteurs comportant 5 collisions et plus. Un dans le département du Doubs entre Pontarlier et la frontière Suisse sur la RN 57 ; deux dans le Jura, vers Morbier sur la RN 5 et sur la RD 470 à Villards-d'Héria ; et enfin un dans l'Ain au croisement des autoroutes A404 et A40 vers Nantua, voir figure 8. Tous sont d'après la répartition des lynx en 2017, en zone de présence régulière. Le graphique apporte une information supplémentaire avec des pics de collisions le plus souvent dans le Jura. Cependant, si on ajoute les trois départements on obtient cinq années très meurtrières, 2004, 2008, 2011 et 2015 qui ont un pas de temps d'environ 4 ans puis plus proche 2017.

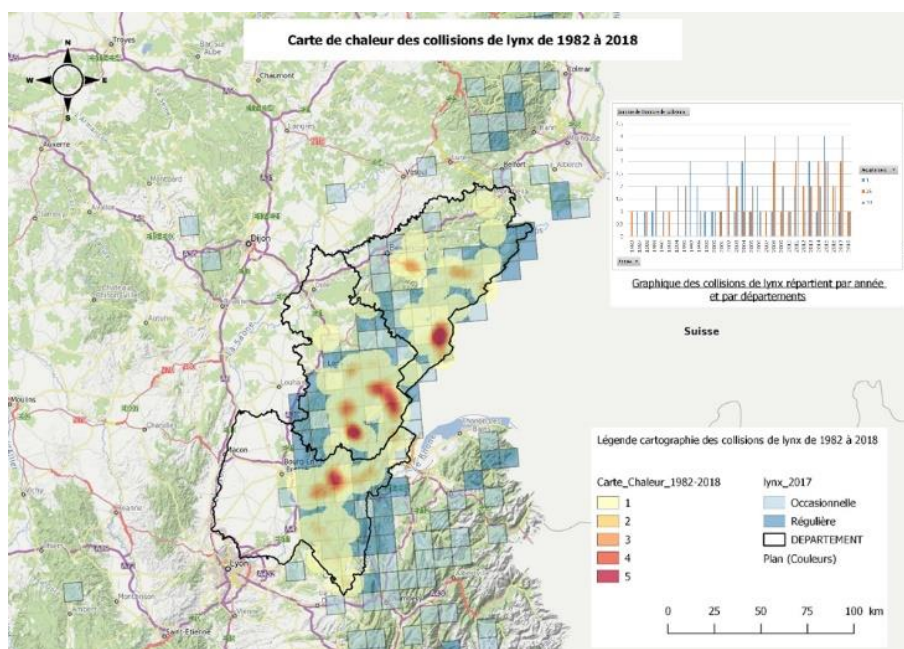


Figure 8 : Carte de chaleur sur les collisions routières du Lynx dans le Massif du Jura entre 1982 et 2018, réalisée sur QGIS.

Suite à l'analyse des points noirs des zooms ont été réalisés sur les secteurs. Tous ces tronçons comportent des forêts de part et d'autre de la route, voir annexes. Ils sont donc une barrière aux corridors écologiques.

D'après la cartographie ci-dessous, les accidents entre lynx et véhicules se situent en majorité entre 521 et 1749 mètres d'altitudes. Quelques rares collisions se trouvent plus en plaine entre 184 et 520 mètres (Figure 9). Les deux routes nationales identifiées en tant que très accidentogènes (RN57 et RN5) sont comprises entre 747 et 1 346 mètres, tandis que la départementales (RD470) du Jura et les deux autoroutes de l'Ain (A404 et A40) sont entre 521 et 1013 mètres.

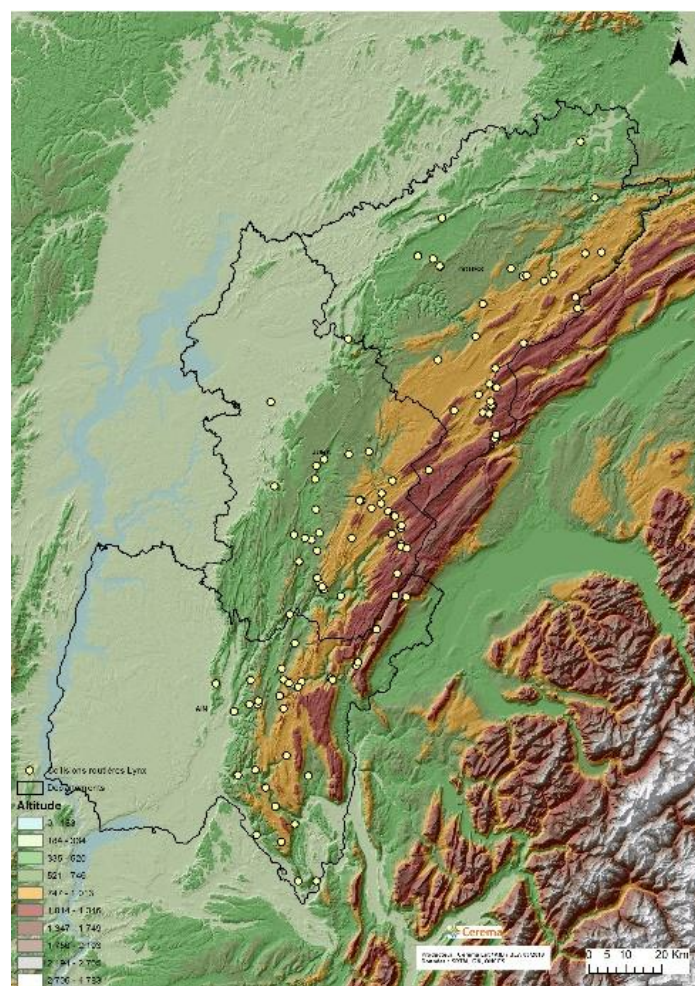


Figure 9 : Cartographie des données mortalités vis-à-vis de l'altitude

D'après la figure 10, l'Ain semble toucher plus de mâles et plus de jeunes au niveau de son point noir mais le graphique donne une répartition de la mortalité équivalente entre les modalités. Ce qui n'est pas du tout le cas pour le Jura, qui semble que les femelles et plus précisément les jeunes se feraient tuer. Mais par contre la carte indique que ce sont les jeunes mâles qui se font le plus heurter à Villards-d'Héria, et une répartition plutôt homogène à Morbier. Dans le Doubs à La-Cluse-et-



Mijoux, il semblerait que les femelles adultes soient les plus accidentées tandis que le graphique situ cette modalité dans la moins impactés et les mâles adultes les plus menacés.

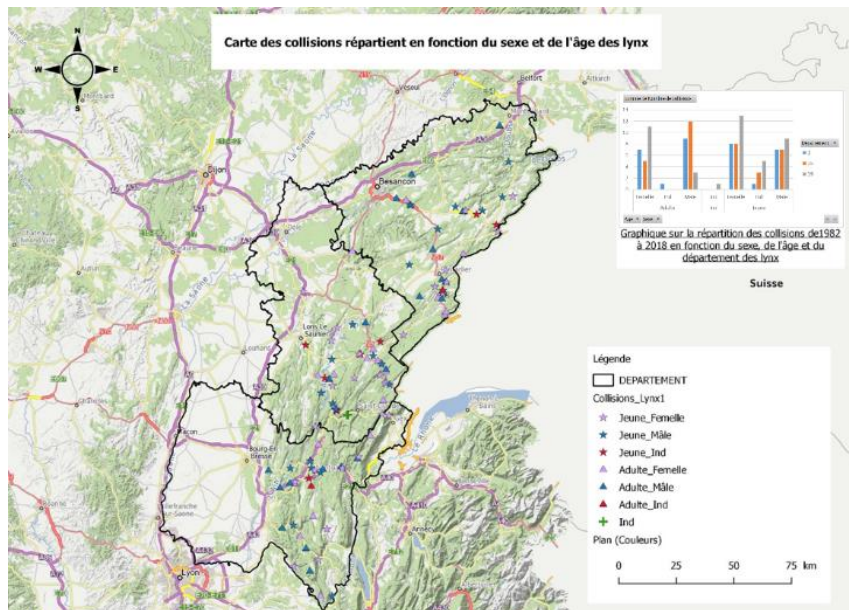


Figure 10 : Cartographie des collisions suivant le sexe et l'âge des individus.

## V Discussion

Le Lynx boréal est une espèce en danger sur la liste rouge de l'IUCN, dont l'une des premières causes de mortalité a comme origine les collisions routières. Cette étude a été menée de sorte à avoir des éléments de réponses sur l'existence de hot spots de mortalité dans le Massif du Jura ainsi que d'éventuelles typologies de routes accidentogènes. En parallèle d'autres questions ont été abordées, d'une part sur la biologie et le comportement de l'espèce pouvant intervenir dans les facteurs de collisions, et d'autres parts sur l'influence d'un contexte paysager.

### **Recherche d'une typologie des routes les plus accidentogènes.**

Une relation est possible entre type d'infrastructure et collisions, d'après les tests univariés, les accidents surviennent le plus souvent sur des routes départementales, avec une limitation de vitesse comprise entre 80 et 90 km/h, sur 2 voies et dans des zones peu sinueuses. Certes, la limitation de vitesse et le nombre de voies ne sont pas ressortis comme étant des variables discriminantes et significatives dans l'ACM même si le rapport de corrélation montre une influence du type de route (Annexe 4). De nouvelles questions apparaissent ici, est-ce bien une influence de la nature de la route et leur vitesse associée ou bien leurs aménagements tels que l'absence de clôtures qui pourraient engendrer des collisions, voire les deux. D'après Garrote (2018), la vitesse influence les collisions,

rarement évitées au-delà des 90 km/h. Parallèlement la note technique du Sétra (2006) insiste sur la présence de clôture qui réduit fortement l'accidentologie.

Les départementales présentent quant à elles des tronçons parmi les plus accidentogènes, ce que confirme partiellement la carte de chaleur qui met en évidence la départementale RD 470 très accidentogène. Cette différence de résultat pourrait être liée au fait que les routes départementales sont beaucoup plus représentées sur le territoire que les autres types de routes. Gaillard et al., (2012) montre que les routes à risque élevé de collisions sont les autoroutes et les nationales, que nous retrouvons également en tant que hot spots dans notre carte de chaleur. Il est à noter que la seule départementale RD 470 contenant des points noirs est une ancienne route nationale déclassée en 1970. Il serait donc intéressant de rapporter le type de route à la disponibilité de cette variable sur l'ensemble du territoire.

### **Influence de la biologie et comportement du lynx sur le risque de collision**

En ce qui concerne l'influence du sexe ou de l'âge des lynx morts par collision, il semble y avoir un effet significatif sur l'âge des lynx. Les tests univariés montrent des différences sur les mois de l'année et les saisons. Les mois d'octobre et décembre, soit en automne, présentent plus de collisions, que le restant de l'année. De plus, celles-ci surviennent le plus souvent sur de jeunes individus, d'après les tests de Fisher, tableaux 3 et 4. Tandis que la saison d'été est la moins meurtrière, avec de juillet à septembre, un pourcentage de collisions plus faible. Dans l'étude de Gaillard et al., (2012), la variable saison est également identifiée comme réponse significative sur les jeunes individus en automne et en hiver.

L'effet « saison » se retrouve dans l'ACM, le rapport de corrélation des variables supplémentaires suivant les dimensions 1 et 2, identifie l'été comme étant une modalité significative. La biologie de l'espèce explique quelque peu ces résultats. Les femelles ont une portée de 1 à 4 chatons entre mai et juin (Raydelet, 2006). Durant les premiers mois des petits, les mères chassent aux alentours et s'éloignent peu de leur cachette bien isolée (Déom, 2015) Ce comportement peut expliquer la diminution des collisions durant l'été. A la fin de celui-ci, les jeunes sont assez grands pour suivre leur mère qui doit se déplacer en quête de nourriture (Raydelet, 2006). Ce sont lors de ces déplacements que la famille serait la plus vulnérable aux collisions ce que semble confirmer plusieurs observations de jeunes et de femelles mortes. On peut supposer un certain apprentissage de la traversée de la route des mères aux jeunes réduisant le risque de mortalité.

Cette hypothèse pourrait renvoyer à l'éthologie de l'espèce suivant leur âge. Dans cette étude, aucune distinction n'a été faite pour les subadultes. D'après Zimmermann (1998), les subadultes doivent rapidement trouver des habitats optimaux pour leur survie, notamment durant leur première

année d'indépendance. Ils recherchent des domaines vitaux dont ils connaissent bien la zone et dont ils ont l'exclusivité. Environ 50% des individus meurent durant leur première année (Schmidt-Posthaus et al., 2002 ; Andren et al., 2006). Ces subadultes cherchent à s'installer et devenir résidents. Lors de tels déplacements, les lynx traversent de nouveaux territoires méconnus et largement maillés par de nombreuses routes. Peut-être que ces nouvelles zones sont plus à risques mais il est difficile de dire si un rôle majeur est attribué à la dispersion dans l'accidentologie. Cependant, les cartes de chaleurs réalisées sur différentes périodes suggèrent malgré tout une relation entre collisions et ajouts de nouvelles zones de présence de l'espèce en direction du nord, indifféremment des hot spots.

### **Influence de l'environnement et pourcentage de type d'habitats autour des hot spots de collision.**

Il ressort quelques tendances communes mais aucune configuration typique ou typologie clairement mise en évidence. De nombreuses collisions ont lieu sur des territoires faiblement artificialisés et agricoles, mais l'inverse également, c'est à dire les zones à dominante naturelle et forestière. Dans l'ACM, le rapport de corrélation des variables actives fait ressortir les variables agricoles et forestières fortement liées aux deux dimensions. Parmi les modalités les mieux projetées sur le graphique 5, il en ressort trois groupes. Un premier type de paysage serait faiblement agricole et très forestier ; un second type serait à l'inverse très agricole et faiblement forestier, enfin le troisième type présente entre 50 à 75% de forêts et 25 à 50% de sols agricoles.

En faisant l'exercice théorique de fusionner et superposer les trois derniers graphiques de l'ACM, (Figures 4,5,6), il ressort trois groupes de collisions distincts. Le premier groupe d'individus morts par collision (Figure 4) un peu dense semble avoir lieu sur les routes départementales dans des milieux fortement agricoles, avec peu de forêts, durant la période scolaire et sur des zones de présence régulière du lynx. Le second groupe d'individus morts par collisions, là aussi denses, semble avoir lieu sur les routes nationales, aux habitats alentour peu agricole et très forestier ; elles surviennent durant la saison d'été, lors des périodes de vacance, et à l'opposé en présence occasionnelle de l'espèce. Le troisième groupe représente des données « collisions » plus éparpillées, et liées aux autoroutes dans un environnement également réparti entre terres agricoles et milieux forestiers. De plus d'après les cartes d'habitats et d'altitude (Figure 10 et annexes), les routes à plus forts taux de mortalités semblent se situer sur des continuités écologiques mais également à partir de 500 m d'altitude. Le continuum forestier semble moins important que nous l'avions supposé. Il est probable que la variable mesurée par le calcul des proportions (en%) de la densité de forêts ne renseigne pas la notion de corridors. De plus, les collisions se situent au niveau de changement d'altitude qui laisse à penser que des falaises sont présentes dans le milieu. D'après la littérature, ces résultats ne sont pas

surprenants. Les lynx ont une préférence pour les milieux forestiers de plaine ou de montagne, mais ils utilisent également des milieux plus ouverts comme les prairies. Ces différents habitats leur permettent de se procurer leurs proies de prédilections qui sont le chamois et le chevreuil. Les milieux plus escarpés, accidentés ont plusieurs rôles dans la vie d'un lynx. Ils sont utilisés par les femelles pour la mise bas mais sont également appréciés par tous pour les siestes ou en tant que poste d'observation (Stahl et Vandel, 1998 ; Zimmermann, 2004 ; Raydelet, 2006 ; Vallance, 2007 ; Déom, 2015).

### **Retour sur la méthodologie**

Ces résultats sont à prendre avec la plus grande réserve. La méthode utilisée d'échantillonnage des tronçons comporte un fort biais d'autocorrélation. Dans les tronçons à nombreuses collisions, ces dernières sont distantes parfois de moins de 500 m. Il arrive donc que certains tronçons de 1 km partagent un même linéaire engendrant par là même un biais d'autocorrélation. Il s'agirait probablement dans une prochaine analyse de changer d'échelle et d'utiliser une maille plus élargie en rassemblant plusieurs points de collision. Pour éviter ce biais, nous aurions pu découper des tronçons de 1 km aléatoirement et prendre en compte le nombre de collisions dessus, mais nous n'aurions pu introduire les variables liées aux individus « lynx morts » telles que le sexe dans l'ACM. D'après plusieurs études, le découpage en segment (Gaillard et al., 2012 ; Visintin, 2016, 2017) ou la pixellisation (Gimenez, 2019) permettrait d'éviter cette autocorrélation spatiale. Cependant la pixellisation apporte en plus les variables explicatives autour des collisions.

La perte d'information peut également être due aux choix de l'analyse, c'est à dire l'ACM. La construction des variables qualitatives peut être améliorée, notamment par la subdivision et/ou la fusion des modalités. Il y a aussi dans ce type d'analyse une perte d'information en transformant une donnée quantitative précise en une donnée qualitative moins précise. De plus, il est fort possible que ces regroupements soient parfois très subjectifs. Par exemple ici, la variable « sinuosité » est construite en deux modalités peu sinueuse et sinueuse. Les classes ont été déterminées subjectivement par rapport à la répartition des données, mais aucune vérification sur le terrain n'a permis d'ajuster le seuil choisit pour passer d'une modalité à l'autre. Il serait intéressant d'effectuer l'analyse mixte de Hills et Smith très proche de l'ACM mais supportant des variables qualitatives et quantitatives permettant d'éviter une perte d'information.

Le jeu de donnée est aussi critiquable pour diverses raisons. Tout d'abord, sur les données de collisions, il est entendu ici qu'il y ait un relevé de point GPS des animaux morts. Cependant, tous les lynx accidentés ne meurent pas instantanément lors de la collision mais peuvent parcourir quelques centaines de mètres parfois avant de mourir. Pour les individus retrouvés hors segment de

route, nous avons choisi de les relier à la route la plus proche. Dans la majorité de ces cas, les routes sont plutôt isolées, il y a donc plus de chance que le lynx se soit fait tuer sur la route à proximité plutôt que sur une route forestière. Mais dans d'autres cas, le point GPS est compris entre plusieurs routes, et le choix s'est fait en mesurant laquelle était la plus proche sans tenir compte de la topographie du secteur, ou bien du trafic.

De plus, l'aspect temporel des données n'a pas été pris en compte dans cette analyse ACM (à l'exception de la Figure 7 qui tente un regroupement par grande période). Effectivement, les données datent pour la plus ancienne de 1982 jusqu'en 2018 sur les analyses spatiales. Or les variables sur les infrastructures et leurs environnements (proportion d'habitats forestiers, agricoles, etc.) ainsi que l'occurrence des lynx, sont ceux des cinq dernières années. A titre d'exemple, nous n'avons pas pu intégrer les changements tels que le passage d'une route à 1 x 2 voies à 2 x 2 voies ou encore l'ajout d'une nouvelle branche d'autoroute voire les aménagements lors de ces travaux qui peuvent être à l'origine de perturbation ou d'une augmentation des collisions, avant l'apprentissage et l'appropriation d'une nouvelle situation par les lynx. Toutes ces informations sont à prendre en compte du point de vue théorique mais malheureusement elles sont très localisées et elles n'existent que dans la mémoire des agents. A ce jour, on ne peut qu'utiliser des variables communes à une grande majorité des infrastructures. De solides bases de données doivent être mises en place à l'avenir tant au niveau des informations qualitatives (travaux sur certains tronçons, etc..) que celles quantitatives (linéaire de clôture, écopassage, etc.).

## **Les mesures de réductions**

En complément de l'analyse multivariée faiblement discriminante, il ressort toutefois de la spatialisation des données de collision (figure 8, carte de chaleur) des secteurs plus accidentogènes que d'autres. Les experts de terrain et les services « route et autoroutier » concernés reconnaissent également le besoin dans ces zones d'une amélioration par des mesures correctrices à court et moyen terme.

En réponse à la problématique des collisions d'animaux sauvages sur les réseaux d'infrastructure, la construction de passage à faune est souvent préconisée. Cette méthode est efficace, lorsqu'elle est associée à un système de clôture, mais onéreuse. Elle est le plus souvent mise en place lors de projets autoroutiers (Terraz, 1991 ; Sétra, 2006 ; Grilo, 2008). Dans le cas d'aménagements anciens routiers, les mesures sont la pose de réflecteurs sur les bords des tronçons de routes accidentogènes de la grande faune (chevreuil, sanglier, etc.). Ces dispositifs reposent sur le principe d'effarouchement des animaux en reflétant les phares des véhicules, mais à ce jour leur efficacité a été peu étudiée. Cependant, quelques études ont été menées. Les résultats restent mitigés, certains prouvent son

efficacité (Terraz, 1991 ; Riginos et al., 2018), tandis que d'autres démontrent qu'après un certain temps les animaux s'habituent et les collisions reprennent à leur niveau antérieur (Polster et al, 2018). La réduction de la vitesse est aussi un facteur sur lequel il est essentiel de travailler (Simon, 2012 ; Garrote et al., 2018), peut-être avec l'aide de panneau « présence de lynx » soutenu par une personnalité, comme expérimenté en Espagne. (Gilles Moyne, 2019, communication personnelle).

Nous suggérons de nouvelles pistes testables à moindre coût et portant sur une cible peu impliquée, celle des automobilistes. L'application mobile waze est un GPS interactif. Il indique les itinéraires, les travaux, les accidents mais également d'autres problèmes liés à la circulation. C'est une aide à la conduite en toute sécurité. Gratuitement, les créateurs de cette application proposent des échanges d'information. Il serait donc possible de demander des données sur la limitation de vitesse à l'échelle de la zone d'étude, mais également, la vitesse réalisée par les internautes, et peut-être le trafic. Ces données actuellement manquantes seraient très utiles à notre problématique. Nous pourrions également informer l'application des tronçons les plus accidentés, préalablement définie avec les gestionnaires, afin qu'une alerte alarme les utilisateurs à l'approche du danger. Ces derniers détiendraient l'information en temps réel que la zone est dangereuse ; ils pourraient adapter leur comportement, réduire leur vitesse et augmenter leur vigilance.

Cependant, des suivis scientifiques rigoureux sur cette problématique de collisions routières avec la faune sauvages / route doivent se poursuivre voire être renforcés, afin d'obtenir des réponses espèce par espèce sur différents types de routes (Grilo, 2015).

Une autre analyse de statistiques inférentielles serait également intéressante à tester avec ce jeu de données. Les données de lynx morts par collisions ne seraient plus étudiées dans une approche centré-individu mais regroupés par tronçons « avec et sans » collisions. Dans cette approche, la construction des variables « habitats » pourrait s'effectuer à une plus grande échelle (maille de 10km). Un modèle linéaire généralisé (GLM) pourrait être réalisé pour comparer et peut-être dégager des typologies de route en discriminant des facteurs explicatifs. Il serait envisageable d'injecter de nouvelles données, notamment les routes forestières dans la variable « type de route » sous réserve de leur géoréférencement, la végétation de bas-côté, le terre-plein central, la présence ou non de clôtures, celle des passages mixte (hydraulique, spécifique à faune) ainsi que le trafic routier, en s'appuyant sur les études démarrées dans ce stage et celles à venir dans le cadre des actions des plans, régionaux et nationaux, sur le lynx. Ces travaux permettraient d'alimenter le modèle de prédiction des risques de collisions utilisés dans le programme ERC-Lynx ainsi que les paramètres de l'aménagement du territoire à faire varier par les utilisateurs. Pour exemple, des partenariats sont déjà en cours avec l'équipe suisse afin de tester le modèle développé dans « ERC Lynx et le tester renforçant ainsi sa robustesse.



## Conclusion

Cette étude est une contribution dans une dynamique de projet en cours (le programme ITTECOP ERC-Lynx 2018-2020). Les objectifs de ce stage étaient double, d'une part alimenter, par l'apport de nouvelles variables plus fines, le modèle et outil interactif développé par ERC-Lynx et d'autre part étudier de manière approfondie des cas de collisions sur 2 ou 3 tronçons bien identifiés à dire d'experts. Il s'agissait également de dégager une typologie des routes les plus « accidentogènes » pour le lynx en vue de proposer des principes généraux d'amélioration de ces infrastructures dans les zones favorables au lynx tant actuelles que celles en voie de colonisation potentielle.

Pour le premier objectif, notre contribution n'a pas pu permettre d'alimenter plus finement le modèle ERC-Lynx à cause de données absentes, hétérogènes, des conventions à élaborer pour l'obtention de données, etc... Cette contribution a été essentielle, elle a permis de le discuter lors des PRA (= PLMV), PNA associatif et état et d'inscrire plusieurs actions dans cet objectif d'échange de données et de flux d'information.

Pour le second objectif, il reste encore à approfondir, même s'il résulte quelques tendances communes. Les collisions semblent survenir sur des routes départementales bidirectionnelles fortement agricoles en présence régulière de lynx. Sur de telles infrastructures, parmi les plus nombreuses dans le massif du Jura, la vitesse est limitée à 80/90 km/h et sont davantage rectilignes que sinueuse. Cependant ces rapports doivent être ramenés à la disponibilité de ces variables sur l'ensemble de la zone d'étude. Les nationales quant à elles, semblent être entourées le plus souvent de forêts. Comme dans la littérature, il est retrouvé ici également une influence des saisons, dont l'automne est la plus meurtrière pour les jeunes. La mortalité routière des lynx est donc influencée par la nature de la route, l'environnement proche, le comportement et la biologie de l'espèce, ainsi que sa présence.

A l'échelle des tronçons à forte collision comme à plus large échelle du massif du Jura, certaines données mériteraient d'être renseignées et collectées sur le terrain ou via les logiciels utilisés dans cette étude. Le travail effectué a permis de mettre en avant cette défaillance au niveau des données discutées durant les réunions du PNA, PNCL et PLMV. Pour permettre de continuer de telles études, les différents groupes de travail ont décidé d'inscrire dans leur action l'acquisition des données liées aux ITT au travers d'une base de données. De plus, par les échanges avec les différents acteurs, ce stage a renforcé et/ou créé des liens de collaboration avec les services routiers et environnement des départements, les FDC et plusieurs espaces naturels (PNR, RNN, ...).

Enfin, de manière plus opérationnelle et à court terme, une fiche descriptive et de préconisation d'actions concrètes sera élaborée d'ici à la fin juillet afin de rendre compte sur des exemples de tronçon accidentogène des perspectives de travail dans le Doubs et le Jura et mesures correctrices à

proposer en vue de réduire la mortalité de lynx par collisions. Une réunion sera également effectuée dans le département de l'Ain afin d'engager une collaboration qui n'a pu être mise en place auparavant.

## Référence bibliographique

- ANDREN H., LINNELL JDC., LIBERG O., ANDERSEN R., DANELL A., KARLSSON J., ODDEN J., MOA P., AHLQVIST P., KVAM T., FRANZEN R., SEGERSTROM P., (2006). Survival rates and causes of mortality in Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in multi-use landscapes. *Biological Conservation*, 131, p23-32.
- BASILE M., VAN MOORTER B., HERFINDAL I., MARTIN J., LINNELL JDC., ODDEN J., ANDERSEN R., GAILLARD JM., (2013). Selecting habitat to survive: The impact of road density on survival in a large carnivore.
- BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE D. (2018) Le SRCE de Franche-Comté.  
[Http://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/le-srce-de-franche-comte-a7203.html](http://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/le-srce-de-franche-comte-a7203.html) [accessed 3 June 2019].
- BREITENMOSER U., BREITENMOSER-WÜRSTEN C., CAPT S., (1998). Reintroduction and present status of the lynx (*Lynx Lynx*) in Switzerland. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 10, p17–30.
- BREITENMOSER U., BREITENMOSER-WÜRSTEN C., CARBYN LN., FUNK SM., (2001). Assessment of carnivore reintroduction. In: *Carnivore Conservation*. Edited by J.L. Gittleman, S.M. Funk, D. Macdonald & R.K. Wayne, *Conservation Biology* n°5, Cambridge University Press, p241–281.
- BREITENMOSER U., BREITENMOSER-WÜRSTEN C., OKARMA H., KAPHEGYI T., KAPHYGYI-WALLMANN U., MÜLLER UM., (2000). Action Plan for the conservation of the Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) in Europe. *Nature and environment* 112, 68p.
- BREITENMOSER-WÜRSTEN C., ZIMMERMANN F., STAHL P., VANDEL JM., MOLINARI-JOBIN A., MOLINARI P., CAPT S., BREITENMOSER U., (2007). Spatial and social stability of an Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) population – a evolution of 10 years of observation in the Jura mountains. *Wildlife Biology* 13, p365-380.
- CEFE-CNRS, ONCFS, CROC, CEREMA (2017) ERC-Lynx. *ERC-LYNX*.  
[Https://sites.google.com/view/erclynx/accueil](https://sites.google.com/view/erclynx/accueil) [accessed 30 May 2019].
- CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY (CIA), (2013). The world fact book 2013-2014. CIA, Washington, DC. Available from <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2085.html#xx>.
- CEREMA, (2019). L'expertise publique pour la transition écologique et la cohésion des territoires. *Cerema*. [Http://www.cerema.fr/fr/cerema](http://www.cerema.fr/fr/cerema) [accessed 30 May 2019].
- CHAPRON G., KACZENSKY P., LINNELL JDC., VON ARX M., HUBER D., ANDREN H., LOPEZ-BAO JV., ADAMEC M., ALVARES F., ANDERS O., BALCIAUSKAS L., BALYS V., BEDO P., BEGO F., BLANCO JC., BREITENMOSER U., BROSETH H., BUFKA L., BUNIKYTE R., CIUCCI P., DUTSOV A., ENGLER T., FUXJAGER C., GROFF C., HOLMALA K., HOXHA B., ILIOPOULOS Y., IONESCU O., JEREMIC J., JERINA K., KLUTH G., KNAUER F., KOJOLA I., KOS I., KROFEL M., KUBALA J., KUNOVAC S., KUSAK J., KUTAL M., LIBERG O., MAJIC A., MANNIL P., MANZ R., MARBOUTIN E., MARUCCO F., MELOVSKI D., MERSINI K., MERTZANIS Y., MYSLAJEK RW., NOWAK S., ODDEN J., OZOLINS J., PALOMERO G., PAUNOVIC M., PERSSON J., POTOČNIK H., QUENETTE PY., RAUER G., REINHARDT I., RIGG R., RYSER A., SALVATORI V., SKRBINSEK T., STOJANOV A., SWENSON JE., SZEMETHY L., TRAJCE A., TSINGARSKA-SEDEFICHEVA E., VANA M., VEEROJA R., WABAKKEN

- P., WOLFI M., WOLFI S., ZIMMERMANN F., ZLATANOVA D., BOITANI L., (2014). Recovery of large carnivores in Europe's modern human-dominated landscapes.
- CLEVENGER A., CHRUSZCZ B., GUNSON K., (2003). Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations.
- CROC, (2014). Bilan des programmes scientifiques et des activités pédagogiques conduits par le CROC du 1er janvier au 31 décembre 2013. Rédaction : Germain E. et Pichenot P., Mai 2014, 114p.
- CROC, (2015). Bilan des programmes scientifiques et des activités pédagogiques conduits par le CROC du 1er janvier au 31 décembre 2014. Rédaction : Germain E., Pichenot P., Papin M. et Clasquin M., Mai 2015, 152p.
- CROC, (2016). Bilan des programmes scientifiques et des activités pédagogiques conduits par le CROC du 1er janvier au 31 décembre 2015. Rédaction : Germain E., Papin M. et Charbonnel A., Mai 2016, 122p.
- CROC, (2017). Bilan des programmes scientifiques et des actions pédagogiques conduits par le CROC du 1er janvier au 31 décembre 2016. Rédaction : Germain E., Charbonnel A. et Papin M., Mai 2017, 68p.
- CROC, (2018). Rapport d'activité 2017. Programmes scientifiques et éducation à l'environnement autour des mammifères carnivores sauvages : le Loup gris, le Lynx boréal et le Chat forestier. Rédaction : Germain E., Charbonnel A. et Papin M., Mai 2018, 121p.
- CROOKS KR, (2002). Relative sensitivities of mammalian carnivores to habitat fragmentation. *Conservation Biology* 16, p488-502.
- DEOM P., (2015). Le lynx boréal. La Hulotte n°102 et 103.
- EUROPEAN UNION ROAD FEDERATION (EFR), (2011). European road statistics handbook 2011. EFR, Brussels.
- GAILLARD JM., HEMERY A., BONENFANT C., BASILLE M., MARBOUTIN E., MAUZ I., DORE A., (2012). Mise au point d'un modèle de diagnostic des interactions entre structures paysagères, infrastructures de transports terrestres et espèces emblématiques. Le cas du Lynx dans le massif jurassien. Rapport final programme ITTECOP. 82p.
- GARROTE G., FERNANDEZ-LOPEZ J., LOPEZ G., RUIZ G., SIMON MA., (2018). Prediction of Iberian lynx road-mortality in southern Spain: a new approach using the MaxEnt algorithm.
- GIMENEZ O., (2019). Analyses des collisions entre lynx et voitures.
- GITTLEMAN JL., FUNK SM., MACDONALD D., WAYNE RK., (Eds), (2001). Carnivore conservation. Cambridge University Press, Cambridge.
- GRILO C., BISSONETTE JA., SANTOS-REIS M., (2008). Response of carnivores to existing highway culverts and underpasses: implications for road planning and mitigation.
- GRILO C., SMITH DJ., KLAR N., (2015). Carnivores: struggling for survival in roaded landscapes. Handbook of road ecology, First edition by van der Ree R., Smith DJ. & Grilo C., p2-312.

- KACZNSKY P., CHAPRON G., VON ARX M., HUBER D., ANDREN H., LINNELL J., (2013). Status, management and distribution of large carnivores, bear, lynx, wolf and wolverine in Europe. Part 1 and 2. Report to the EU Commission, 72p.
- L'EQUIPE ANIMATRICE DU RESEAU (ONCFS CNERA-PAD), (2014). Bilan national d'évolution de l'aire de présence détectée du Lynx. Une nouvelle méthode plus réactive. Bulletin Lynx du réseau, n°19, p26/27.
- LINNELL JDC., BREITENMOSER U., BREITENMOSER-WURSTEN C., ODDEN J., VON ARX M., (2009). Recovery of Eurasian Lynx in Europe: What Part has Reintroduction Played? Reintroduction of Top-Order Predators (ed. by M.W. Hayward and M.J. Somers), pp. 72–91. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- Marboutin E., (2013) Note sur le statut du Lynx dans les Vosges. Bulletin Lynx du Réseau, 18, p14–17.
- MEYER I., KANIOVSKI S., SCHEFFRAN J., (2012). Scenarios for regional passenger car fleets and their CO2 emissions. Energy Policy 41 : p66-74.
- MORAND A., (2016). Le lynx : risques routiers et mesures correctrices état des lieux et recommandations. Rapport Cerema pour le compte de la DEB. 90 p.
- MORAND A., GERMAIN E., HEMERY A., MARBOUTIN E., CARSIGNOL J., (2016). How to limit Eurasian lynx (*Lynx lynx*) vehicle collisions in a human-dominated landscape in France? Review of habitats fragmentation effects and mitigation measures. Poster réalisé dans le cadre de l'Integrating Transport Infrastructure with Living Landscapes.
- OFFICE NATIONAL DE LA CHASSE ET DE LA FAUNE SAUVAGE (2017) Oncfs - Le Réseau Loup - Lynx. [Http://www.oncfs.gouv.fr/Le-Reseau-Loup-Lynx-ru100](http://www.oncfs.gouv.fr/Le-Reseau-Loup-Lynx-ru100) [accessed 26 May 2019].
- OFFICE NATIONAL DE LA CHASSE ET DE LA FAUNE SAUVAGE (2019) Répartition Lynx boréal. [Http://carmen.carmencarto.fr/38/Lynx.map#](http://carmen.carmencarto.fr/38/Lynx.map#) [accessed 26 May 2019].
- OLIVIER CA., (2018). Etude comparative de différentes méthodes de modélisation de corridors écologiques pour le Lynx boréal en France. Mémoire de stage « Biodiversité et Gestion de l'environnement ». 30p + annexes. Ecole pratique des Hautes Etudes.
- POLSTER JU., SCHULZE C., HERZOG S., (2018). Why wildlife-warning reflectors do not work and how they can still be useful. Infra Eco network Europe (EIENE) International Conference, 10. bis 14. September 2018, Abstract Book, 22, Eindhoven 2018.
- RAYDELET P., (2006). Le lynx boréal. Editions Delachaux & Niestlé, Lausanne, Paris. 191p
- RIGINOS C., GRAHAM MW., DAVIS MJ., JOHNSON AB., MAY AB., RYER KJ., HALL LE., (2018). Wildlife warning reflectors and white canvas reduce deer-vehicle collisions and risky road-crossing behavior.
- SCHIMDT-POSTHAUS H., BREITENMOSER-WÜRSTEN C., POSTHAUS H., BACCIARINI L., BREITENMOSER U., (2002). Causes of mortality in reintroduced Eurasian Lynx in Switzerland. Journal of Wildlife Diseases, 38, p84-92.
- SCHMIDT-POSTHAUS.H, BREITENMOSER.C, BREITENMOSER.U., (2002). Causes of mortality in reintroduced Eurasian lynx in Switzerland.

- SETRA (Cete de l'Est)., (2006). Routes et passages à faune. Bilan d'expériences.
- SIMON E., (2012). Ten years conversing the Iberian lynx. Consejería de agricultura y medio ambiente, junta de andalucia, Seville.
- SNOW NP., ZHANG Z., FINLEY AO., RUDOLPH BA., PORTE WF., WILLIAMS DM., WINTERSTEIN SR., (2017). Regional-Based Mitigation to Reduce Wildlife–Vehicle Collisions. The Journal of Wildlife Management. 10p.
- STAHL P., VANDEL JM., (1998). Le lynx boréal *Lynx lynx* (Linné, 1758). Encyclopédie des carnivores de France., n°19. Société française d'étude et de protection des mammifères. Ed. Paris, 65p.
- STAHL P., VANDEL JM., (1999). Mortalité et captures de lynx (*Lynx lynx*) en France (1974-1998). Mammalia, 63, p49-59.
- STIFTUNG NATUR UND UMWELT RHEINLAND-PFALZ, (2015). Wiederansiedlung von Luchses (*Lynx lynx carpathicus*) im Biosphärenreservat Pfälzerwald. EU LIFE+ Natur-Projekt der Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz, 4p.
- TERRAZ L., (1991). Un P.A.S. dans la Malnoue. Un passage pour animaux sauvages sous l'autoroute A39 dans la forêt de Champvans. (Jura,39). Rapport technique. 57p + annexes.
- TROMBULAK S., FRISSELL C., (2000). Revisión de los Efectos de Carreteras en Comunidades Terrestres y Acuáticas. Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities, 14, p18-30.
- UICN FRANCE, MNHN, SFEPM, ONCFS, (2009). La liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Mammifères de France métropolitaine. Paris, France.
- VACANCES-SCOLAIRES.EDUCATION (UNDATED) Vacances scolaires 2018 - Calendrier officiel 2017-2018 en France. <https://vacances-scolaires.education/annee-2017-2018.php> [accessed 26 May 2019].
- VALLANCE M., (2007). Faune sauvage de France : biologie, habitats et gestion. Edition Du gerfaut, 415p.
- VANDEL JM., (2001). Répartition du Lynx (*Lynx lynx*) en France (Massif alpin, jurassien et vosgien). Méthodologie d'étude et statut actuel. Mémoire de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes. 112p.
- VERYUTILE (undated) Calendrier - Very-utile. <http://www.very-utile.com/calendrier-2018-premier-semester.php> [accessed 26 May 2019].
- VISINTIN C., REER R., MCCARTHY MA., (2016). A simple framework for a complex problem? Predicting wildlife-vehicle collisions. Ecology and evolution, 6, p6409-6421.
- VISINTIN C., REER R., MCCARTHY MA., (2017). Consistent patterns of vehicle collision risk for six mammal species. Journal of environmental management, 201, p397-406.
- VON ARX M., BREITENMOSER-WÜRSTEN C., ZIMMERMANN F., BREITENMOSER U., (2004). Status and conservation of the Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) in Europe in 2001. KORA Bericht No. p19.

- WORLD ENERGY COUNCIL (WEC)., (2011). Global transport scenarios 2050. WEC, London.
- ZIMMERMANN F., (1998). Dispersion et survie des Lynx (*Lynx lynx*) subadultes d'une population réintroduite dans la chaîne du Jura. Thèse. 50p. Université de Lausanne.
- ZIMMERMANN F., (2004). Conservation of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in a fragmented landscape – habitat models, dispersal and potential distribution. Thèse de doctorat sciences de la vie (PhD), Université de Lausanne. 179 p.

## Annexes

### Annexe 1 : Présentation du projet ERC-Lynx, colloque programme ITTECOP les 5,6,7 juin 2019

# ERC-LYNX

Éviter, réduire et compenser la mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport



## Présentation du projet

Les infrastructures de transport terrestre et leurs emprises (ITTe), qu'elles soient routières ou ferroviaires, font courir des risques pour le Lynx boréal, l'un des derniers grands carnivores européens présent en France. Les ITTe contribuent en effet à détruire et morceler les habitats favorables au lynx et constituent un frein à leur dispersion, un processus indispensable au maintien des populations en bon état de conservation. D'autre part, les collisions avec les véhicules représentent l'une des principales causes de mortalité.

Dans ce contexte, le groupement composé du Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (CEFE), du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA), du Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores (CROC) et de l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS) conduit un projet de recherche appliquée intitulé « Éviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport / ERC-Lynx ». Ce projet a pour objectif de développer un outil prédictif opérationnel à destination des gestionnaires d'infrastructures de transport terrestre en couplant risque

de collision, viabilité des populations de Lynx et enjeux des territoires.

Le projet ERC-Lynx vise notamment à renforcer la mise en œuvre de politiques publiques d'aménagement du territoire telle que la TVB et ses déclinaisons régionales (SRCE/SRADDET). Une originalité du projet réside dans la co-construction de l'outil prédictif. En effet, son développement et son exploitation ne peuvent aboutir sans l'implication à toutes les étapes des acteurs publics et privés, et en particulier les chercheurs, les gestionnaires d'espaces naturels et les spécialistes des mammifères carnivores, les gestionnaires d'infrastructures et les spécialistes en charge de l'ingénierie des routes, de la planification des transports, etc. Aussi, le projet s'organise autour de plusieurs ateliers pour co-construire et valider cet outil prédictif sur un site pilote localisé dans le Jura.

Ce projet est une réelle opportunité pour l'ensemble des acteurs du Lynx en France, mais aussi à l'international, de se rapprocher et de collaborer plus étroitement avec les opérateurs des ITTe dans un objectif commun : réduire la mortalité du Lynx par collision.

## CONTACT

Olivier Gimenez  
olivier.gimenez@cefe.cnrs.fr  
Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (CEFE)

## PARTENAIRES

Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores (CROC)  
Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA)  
Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS)

## FINANCEMENTS

ITTECOP (CILB-MITES-ADEME)

## CALENDRIER

Date de début : 1<sup>er</sup> janvier 2018  
Date de fin : 30 juin 2020

## POUR ALLER PLUS LOIN

[www.sites.google.com/view/archlynx/](http://www.sites.google.com/view/archlynx/)

## Apports et résultats

Le principal apport du projet est le développement et la mise à disposition des acteurs d'un logiciel pour évaluer l'impact (positif ou négatif) de la mise en place d'un aménagement des ITTe ou du paysage sur la viabilité du lynx. Cet outil sera distribué librement avant la fin du projet et deux articles seront rédigés, l'un pour valoriser l'outil, l'autre sur la démarche de co-construction avec les acteurs.

Pour construire cet outil, nous avons effectué un effort conséquent de mise à jour des connaissances sur l'espèce concernant les densités d'individus (article soumis), la distribution et l'habitat favorable (article en préparation), la connectivité (stage M2), les risques de collision (article en préparation) et la démographie. En parallèle, un effort a été fait sur la mobilisation et la collecte des données concernant les infrastructures routières (stage M2).

## Préconisations pour l'action

Nous organisons un atelier au mois de juin 2019 et un séminaire final au cours desquels les préconisations pour l'action seront discutées.

## Perspectives

La fin du projet est prévue pour juin 2020, il nous reste encore un peu plus d'un an pour discuter des perspectives, y compris avec les acteurs. À ce stade, la principale perspective envisagée est un travail sur la pérennité de l'outil développé, entre autres via l'organisation de formations auprès des acteurs (en cours de réflexion) ainsi qu'une mise à jour de l'outil suite aux retours des acteurs.



## Annexe 2 : Tableau des variables utilisées

Variables	Modalités
Age	Jeune
	Adulte
Sexe	Mâle
	Femelle
Jours	Lundi
	Mardi
	Mercredi
	Jeudi
	Vendredi
	Samedi
	Dimanche
Semaine	Semaine (Du lundi au vendredi)
	Week-end (Du samedi au dimanche)
Mois	Janvier
	Février
	Mars
	Avril
	Mai
	Juin
	Juillet
	Août
	Septembre
	Octobre
	Novembre
	Décembre
Saison	Hiver (Janvier à Mars)
	Printemps (Avril à Juin)
	Été (Juillet à Septembre)
	Automne (Octobre à Décembre)
Période scolaire (PS)	Vacance
	Ecole
Limitation de vitesse (Lim.V)	30 à 70
	80 à 90
	110 à 130
Type de route (Typ.R)	Autoroute
	Nationale
	Départementale
	Route communale
Nombre de voies	2
	Supérieure à 2
Sinuosité	Peu sinueux < 5
	Sinueux > 5
Occurrence	Régulier
	Occasionnelle
	Absence
Territoire artificiel	PeuAr < 7
	MoyenAr de 7 à 14
	AssezAr de 14 à 21
	Artificiel > 21
Territoire agricole	PeuAgr de 0 à 25 %
	MoyenAgr de 25 à 50 %
	Agricole de 50 à 75 %
	TrèsAgr de 75 à 100 %
Forêts et Milieux semi-naturels	PeuF de 0 à 25 %
	MoyenF de 25 à 50 %
	Forestier de 50 à 75 %
	TresF de 75 à 100 %
Zone humide	Absence = 0
	Présence > 0
Surface en eau	Absence = 0
	Présence > 0

### Annexes 3 : Graphiques des tests univariés réalisés sur l'ensemble des variables

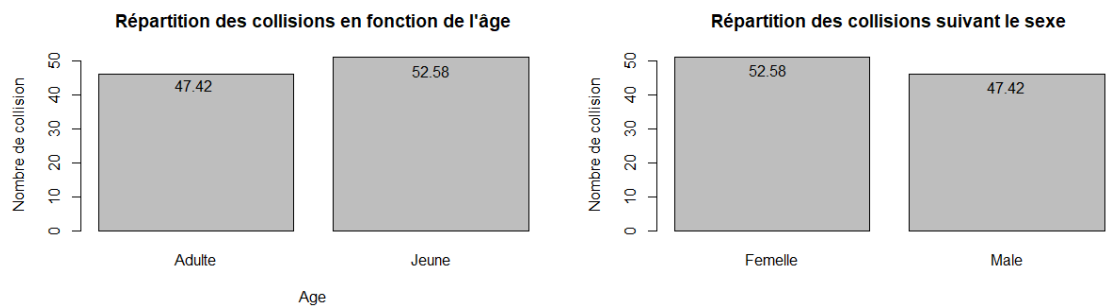


Figure 11: Diagrammes en bâton réalisés sous RStudio pour les variables Age et Sexe. Le jeu de données est composé de (n=51) 52.58 % de Jeunes et pareillement pour les Femelles (n=51, contre 47.42% (n=46) d'Adultes et de Mâles (n=46).

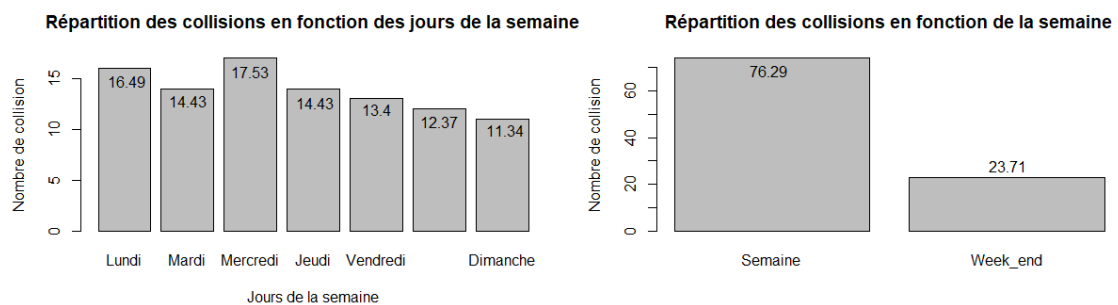


Figure 12 : Diagrammes en bâton réalisés sous RStudio pour les variables Jours et Semaine. Les deux graphes montrent une tendance moins importante pour le week-end soit samedi et dimanche.

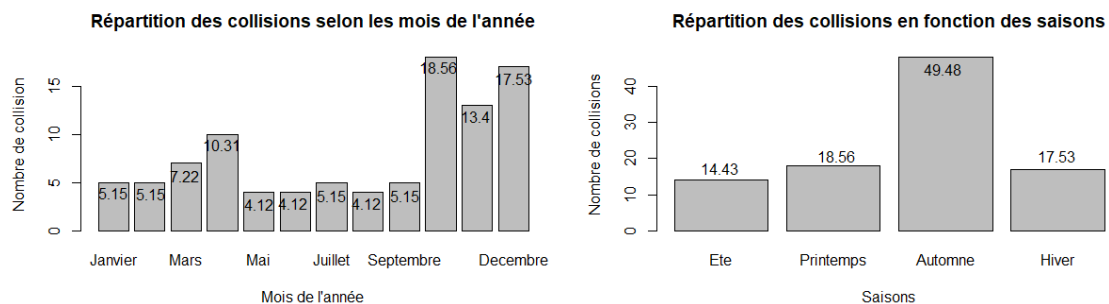


Figure 13 : Diagrammes en bâton des variables Mois et Saisons, réalisés sous le logiciel RStudio. Les mois de fin d'années semblent être les plus accidentés comme pour l'automne.

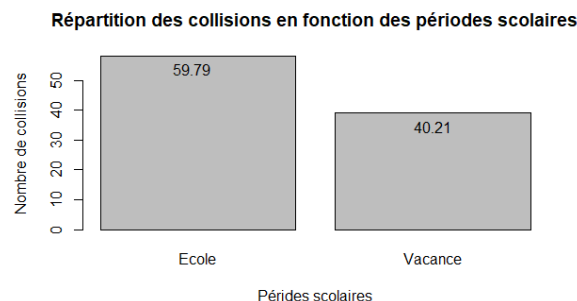


Figure 14 : Diagramme en bâton sur la variable PS (période scolaire) réalisé sous le logiciel RStudio.

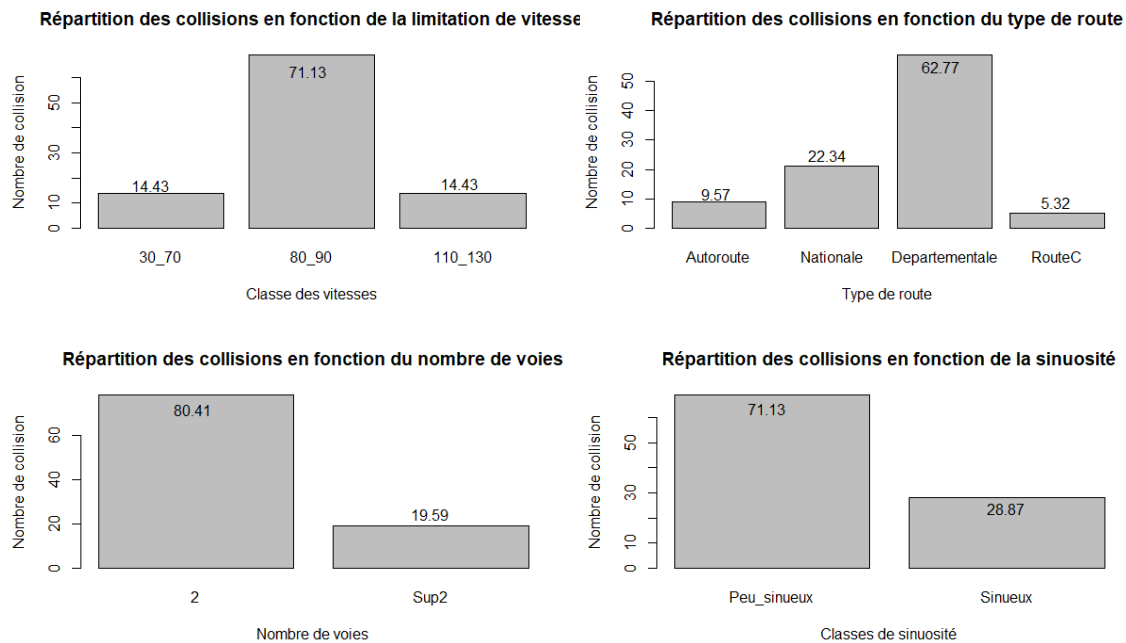


Figure 15 : Diagrammes en bâton réalisés sous RStudio sur les variables Limitation de vitesse, Type de route, Nombre de voies et Sinuosité. Les 4 graphes montrent des répartition hétérogènes des données.

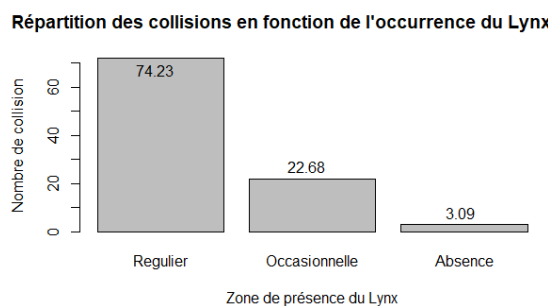
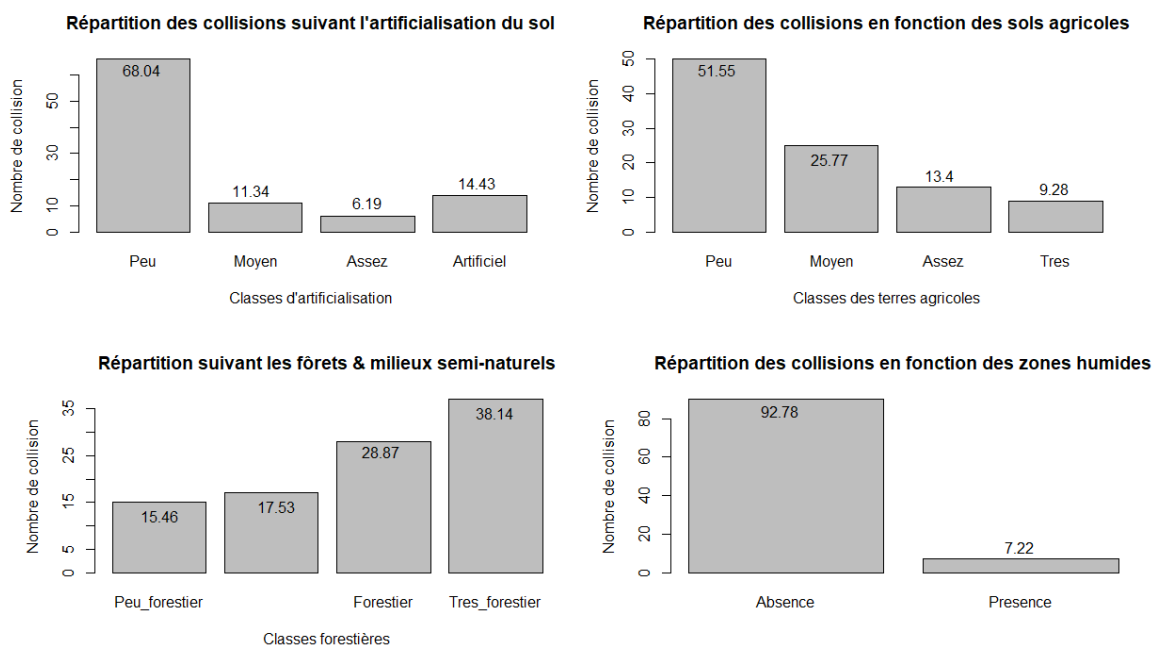


Figure 16 : Diagramme en bâton de la variable occurrence réalisé sous RStudio. Répartition très hétérogène des données suivant les classes de présence du Lynx.



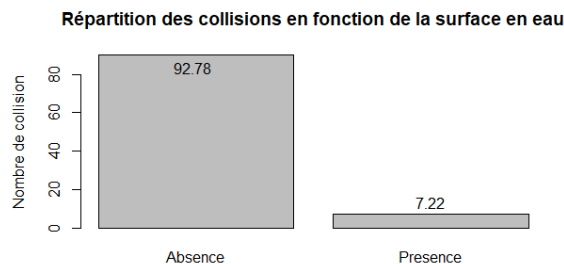


Figure 17 : Diagrammes en bâton réalisés sous RStudio des variables habitats, soit territoire artificialisé, territoire agricole, forêts et milieux semi-naturels, zones humides et surface en eau. En référence aux 5 grands habitats de Corine Land Cover.

## Annexe 4 : Tableau résumé de l'ACM

Call:   
 MCA(X = acm2, ncp = 5, quali.sup = c(1:4))

Eigenvalues	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	Dim.8	Dim.9	Dim.10	Dim.11	Dim.12	Dim.13
Variance	0.347	0.313	0.255	0.214	0.190	0.167	0.161	0.134	0.129	0.100	0.093	0.048	0.016
% of var.	15.998	14.466	11.749	9.886	8.773	7.706	7.439	6.178	5.951	4.630	4.295	2.199	0.732
Cumulative % of var.	15.998	30.464	42.213	52.099	60.871	68.577	76.017	82.195	88.146	92.775	97.070	99.268	100.000

Individuals	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2	Dim.4	ctr	cos2	Dim.5	ctr	cos2
1	1.028	3.141	0.346	-0.403	0.535	0.053	0.953	3.680	0.298	-0.180	0.156	0.011	0.495	1.330	0.080
2	-1.037	3.197	0.600	0.277	0.253	0.043	0.137	0.076	0.011	0.341	0.559	0.065	-0.290	0.457	0.047
3	0.643	1.228	0.152	1.139	4.270	0.477	-0.269	0.294	0.027	0.273	0.358	0.027	-0.267	0.388	0.026
4	-0.860	2.198	0.368	0.014	0.001	0.000	0.300	0.363	0.045	-0.778	2.912	0.302	-0.062	0.021	0.002
5	0.846	2.129	0.216	0.399	0.524	0.048	0.409	0.678	0.051	0.482	1.120	0.070	-0.232	0.291	0.016
6	0.637	1.207	0.239	0.784	2.023	0.362	-0.340	0.468	0.068	-0.229	0.252	0.031	0.098	0.052	0.006
7	0.637	1.207	0.239	0.784	2.023	0.362	-0.340	0.468	0.068	-0.229	0.252	0.031	0.098	0.052	0.006
8	0.102	0.031	0.005	-0.914	2.747	0.378	0.163	0.107	0.012	0.488	1.147	0.108	0.366	0.725	0.061
9	0.672	1.345	0.222	0.538	0.954	0.142	-0.059	0.014	0.002	-0.442	0.940	0.096	-0.027	0.004	0.000
10	0.148	0.065	0.005	1.140	4.274	0.312	-0.455	0.838	0.050	-0.388	0.723	0.036	0.377	0.770	0.034
11	-1.156	3.978	0.245	0.668	1.468	0.082	0.196	0.155	0.007	0.773	2.878	0.110	0.747	3.029	0.102
12	-1.037	3.197	0.600	0.277	0.253	0.043	0.137	0.076	0.011	0.341	0.559	0.065	-0.290	0.457	0.047
13	0.513	0.783	0.132	-0.846	2.356	0.358	0.055	0.012	0.002	-0.208	0.208	0.022	0.517	1.452	0.134
14	0.992	2.928	0.364	-0.157	0.082	0.009	0.672	1.829	0.167	0.033	0.005	0.000	0.620	2.085	0.142
15	-0.085	0.022	0.005	-0.466	0.716	0.151	-0.452	0.827	0.141	0.649	2.025	0.291	0.005	0.000	0.000
16	-0.064	0.012	0.006	-0.450	0.667	0.275	-0.592	1.420	0.475	0.005	0.000	0.000	-0.299	0.485	0.121
17	0.247	0.181	0.051	0.733	1.767	0.447	-0.373	0.564	0.116	-0.176	0.150	0.026	-0.357	0.692	0.106
18	-0.163	0.079	0.007	-0.043	0.006	0.001	-0.674	1.840	0.123	-0.206	0.205	0.012	0.435	1.026	0.051
19	0.450	0.603	0.113	-0.007	0.000	0.000	0.306	0.378	0.052	0.033	0.005	0.001	-0.321	0.560	0.058
20	0.789	1.850	0.293	0.583	1.116	0.160	-0.007	0.000	0.000	-0.176	0.150	0.015	0.584	1.851	0.161
21	-0.064	0.012	0.006	-0.450	0.667	0.275	-0.592	1.420	0.475	0.005	0.000	0.000	-0.299	0.485	0.121
22	-0.029	0.003	0.001	-0.696	1.593	0.448	-0.311	0.392	0.089	-0.208	0.209	0.040	-0.424	0.974	0.166
23	-1.057	3.326	0.448	0.261	0.224	0.027	0.278	0.312	0.031	0.984	4.665	0.388	0.013	0.001	0.000
24	-0.064	0.012	0.006	-0.450	0.667	0.275	-0.592	1.420	0.475	0.005	0.000	0.000	-0.299	0.485	0.121
25	-0.177	0.093	0.012	-0.459	0.693	0.080	0.862	3.010	0.282	0.187	0.168	0.013	-0.485	1.278	0.090
26	-0.416	0.514	0.102	0.527	0.912	0.163	-0.098	0.039	0.006	0.190	0.175	0.021	-0.396	0.852	0.092
27	0.361	0.388	0.083	-0.645	1.367	0.264	-0.278	0.313	0.049	-0.261	0.327	0.043	0.032	0.005	0.001
28	0.081	0.020	0.003	-0.433	0.616	0.073	0.795	2.562	0.245	-0.453	0.987	0.079	0.478	1.240	0.088
29	0.247	0.181	0.051	0.733	1.767	0.447	-0.373	0.564	0.116	-0.176	0.150	0.026	-0.357	0.692	0.106
30	0.219	0.142	0.029	-0.590	1.144	0.211	0.053	0.011	0.002	0.028	0.004	0.000	-0.278	0.419	0.047
31	-0.860	2.198	0.368	0.014	0.001	0.000	0.300	0.363	0.045	-0.778	2.912	0.302	-0.062	0.021	0.002
32	0.326	0.316	0.086	-0.399	0.524	0.129	-0.559	1.266	0.253	-0.048	0.011	0.002	0.156	0.133	0.020
33	-1.037	3.197	0.600	0.277	0.253	0.043	0.137	0.076	0.011	0.341	0.559	0.065	-0.290	0.457	0.047
34	-0.029	0.003	0.001	-0.696	1.593	0.448	-0.311	0.392	0.089	-0.208	0.209	0.040	-0.424	0.974	0.166
35	-0.035	0.004	0.000	-0.477	0.748	0.091	0.743	2.237	0.220	-0.718	2.485	0.206	-0.133	0.095	0.007
36	-0.064	0.012	0.006	-0.450	0.667	0.275	-0.592	1.420	0.475	0.005	0.000	0.000	-0.299	0.485	0.121
37	-1.001	2.983	0.470	0.032	0.003	0.000	0.419	0.709	0.082	0.128	0.078	0.008	-0.415	0.935	0.081
38	-0.994	2.939	0.214	0.667	1.461	0.096	-0.064	0.016	0.001	-0.776	2.898	0.130	0.796	3.440	0.137
39	0.920	2.518	0.123	0.079	0.021	0.001	1.324	7.098	0.254	-0.024	0.003	0.000	-1.296	9.113	0.243
40	-0.064	0.012	0.006	-0.450	0.667	0.275	-0.592	1.420	0.475	0.005	0.000	0.000	-0.299	0.485	0.121
41	-0.064	0.012	0.006	-0.450	0.667	0.275	-0.592	1.420	0.475	0.005	0.000	0.000	-0.299	0.485	0.121
42	-0.259	0.200	0.026	0.247	0.200	0.023	0.205	0.170	0.016	-0.284	0.389	0.031	0.135	0.099	0.007
43	-0.029	0.003	0.001	-0.696	1.593	0.448	-0.311	0.392	0.089	-0.208	0.209	0.040	-0.424	0.974	0.166
44	-0.885	2.330	0.354	0.076	0.019	0.003	0.471	0.898	0.100	0.393	0.745	0.070	0.196	0.207	0.017
45	0.794	1.877	0.201	0.938	2.892	0.279	0.064	0.017	0.001	0.325	0.510	0.034	0.218	0.259	0.015
46	-0.743	1.643	0.265	0.058	0.011	0.002	0.352	0.501	0.059	-0.512	1.263	0.126	0.548	1.631	0.144
47	-0.870	2.252	0.232	-0.186	0.114	0.011	0.892	3.224	0.244	0.824	3.269	0.208	0.374	0.760	0.043

Categories	Dim.1	ctr	cos2	v.test	Dim.2	ctr	cos2	v.test	Dim.3	ctr	cos2	v.test	Dim.4	ctr	cos2	v.test	Dim.5	ctr	cos2	v.test
Autoroute	0.937	3.919	0.090	2.937	1.122	6.206	0.129	3.514	0.181	0.198	0.003	0.566	1.198	10.369	0.147	3.755	-0.065	0.034	0.000	-0.204
Chemin	1.199	2.136	0.046	2.098	0.047	0.004	0.000	0.082	2.949	17.614	0.278	5.162	-0.207	0.103	0.001	-0.362	-2.850	22.026	0.259	-4.988
Departem	-0.462	6.231	0.331	-5.635	-0.243	1.915	0.092	-2.971	-0.133	0.708	0.028	-1.628	-0.049	0.114	0.004	-0.599	-0.300	4.794	0.140	-3.660
Nationale	0.917	8.755	0.232	4.723	-0.071	0.058	0.001	-0.367	-0.033	0.016	0.000	-0.172	-0.195	0.641	0.011	-1.004	0.892	15.091	0.220	4.592
RouteC	-0.811	1.630	0.036	-1.853	1.124	3.461	0.069	2.567	-0.381	0.491	0.008	-0.871	-0.635	1.619	0.022	-1.451	1.620	11.863	0.143	3.701
PeuS	-0.036	0.045	0.003	-0.556	0.238	2.148	0.140	3.665	-0.246	2.811	0.149	-3.779	0.171	1.613	0.072	2.626	0.094	0.554	0.022	1.450
Sinueux	0.089	0.110	0.003	0.556	-0.587	5.293	0.140	-3.665	0.605	6.928	0.149	3.779	-0.421	3.975	0.072	-2.626	-0.232	1.366	0.022	-1.450
Occasionnel	0.398	1.964	0.055	2.298	-0.503	3.465	0.088	-2.903	0.749	le 9.472	0.195	4.326	0.109	0.236	0.004	0.627	0.943	20.113	0.309	5.447
Regulier	-0.138	0.682	0.055	-2.298	0.175	1.203	0.088	2.903	-0.260	3.289	0.195	-4.326	-0.038	0.082	0.004	-0.627	-0.328	6.984	0.309	-5.447
Artificiel	0.868	5.233	0.127	3.494	-0.391	1.176	0.026	-1.575	1.597	24.098	0.430	6.426	-0.259	0.751	0.011	-1.040	-0.092	0.107	0.001	-0.371
MoyenAr	-0.205	0.352	0.009	-0.924	0.023	0.005	0.000	0.102	0.068	0.054	0.001	0.309	1.465	29.273	0.456	6.617	0.647	6.437	0.089	2.923
PeuAr	-0.132	0.566	0.037	-1.880	0.077	0.216	0.013	1.104	-0.356	5.657	0.270	-5.095	-0.323	5.508	0.221	-4.611	-0.147	1.292	0.046	-2.104
MoyenAg	0.642	5.115	0.143	3.709	1.230	20.725	0.525	7.100	-0.214	0.770	0.016	-1.233	-0.362	2.622	0.045	-2.088	-0.083	0.155	0.002	-0.478
PeuAg	0.361	3.234	0.139	3.650	-0.788	16.999	0.660	-7.959	-0.112	0.426	0.013	-1.135	0.156	0.981	0.026	1.580	-0.044	0.088	0.002	-0.447
TresAg	-1.551	26.233	0.706	-8.230	0.392	1.857	0.045	2.082	0.498	3.682	0.073	2.642	0.056	0.054	0.001	0.295	0.195	0.753	0.011	1.032
Forestier	0.996	13.778	0.403	6.219	0.986	14.915	0.394	6.153	0.080	0.120	0.003	0.498	0.110	0.273	0.005	0.688	-0.171	0.742	0.012	-1.068
MoyenF	-0.844	5.998	0.151	-3.811	0.233	0.505	0.012	1.051	0.553	3.512	0.065	2.499	-1.385	26.178	0.408	-6.258	0.649	6.474	0.090	2.932
PeuF	-1.344	13.434	0.330	-5.633	0.293	0.704	0.016	1.226	0.913	8.446	0.153	3.827	1.129	15.337	0.233	4.731	-0.274	1.017	0.014	-1.147
TresF	0.179	0.585	0.020	1.374	-0.972	19.144	0.582	-7.475	-0.685	11.712	0.289	-5.269	0.096	0.271	0.006	0.735	-0.058	0.111	0.002	-0.444

Categorical variables (eta2)					
	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
Typ.R	0.472	0.219	0.291	0.165	0.614
Si	0.003	0.140	0.149	0.072	0.022
occurrence	0.055	0.088	0.195	0.004	0.309
Ter.Art	0.128	0.026	0.455	0.457	0.089
Ter.Agr	0.719	0.744	0.074	0.047	0.011
Fo.Msn	0.703	0.663	0.363	0.541	0.095

Supplementary categories	Dim.1	cos2	v.test	Dim.2	cos2	v.test	Dim.3	cos2	v.test	Dim.4	cos2	v.test	Dim.5	cos2	v.test
Femelle	-0.107	0.013	-1.101	0.001	0.000	0.011	0.016	0.000	0.168	-0.084	0.008	-0.866	-0.111	0.014	-1.150
Male	0.118	0.013	1.101	-0.001	0.000	-0.011	-0.018	0.000	-0.168	0.093	0.008	0.866	0.124	0.014	1.150
Semaine	-0.048	0.007	-0.844	-0.064	0.013	-1.119	-0.018	0.001	-0.319	0.022	0.002	0.380	-0.026	0.002	-0.454
Weekend	0.155	0.007	0.844	0.205	0.013	1.119	0.058	0.001	0.319	-0.070	0.002	-0.380	0.083	0.002	0.454
Automne	-0.187	0.034	-1.811	0.124	0.015	1.202	0.103	0.010	1.000	-0.214	0.045	-2.072	0.046	0.002	0.449
Ete	0.503	0.043	2.025	-0.490	0.041	-1.974	0.063	0.001	0.254	-0.215	0.008	-0.867	-0.068	0.001	-0.273
Hiver	0.140	0.004	0.634	0.172	0.006	0.775	-0.309	0.020	-1.395	0.596	0.075	2.690	-0.224	0.011	-1.013
Printemps	-0.026	0.000	-0.121	-0.111	0.003	-0.520	-0.032	0.000	-0.152	0.175	0.007	0.818	0.141	0.005	0.660
Ecole	-0.249	0.093	-2.981	0.088	0.011	1.047	0.128	0.024	1.525	-0.074	0.008	-0.888	0.134	0.027	1.605
Vacance	0.371	0.093	2.981	-0.130	0.011	-1.047	-0.190	0.024	-1.525	0.110	0.008	0.888	-0.200	0.027	-1.605

Supplementary categorical variables (eta2)					
	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
Sexe	0.013	0.000	0.000	0.008	0.014
Semaine	0.007	0.013	0.001	0.002	0.002
Saison	0.057	0.050	0.023	0.097	0.014
PS	0.093	0.011	0.024	0.008	0.027



## Annexe 5 : Cartographies zoomées sur les hot spots

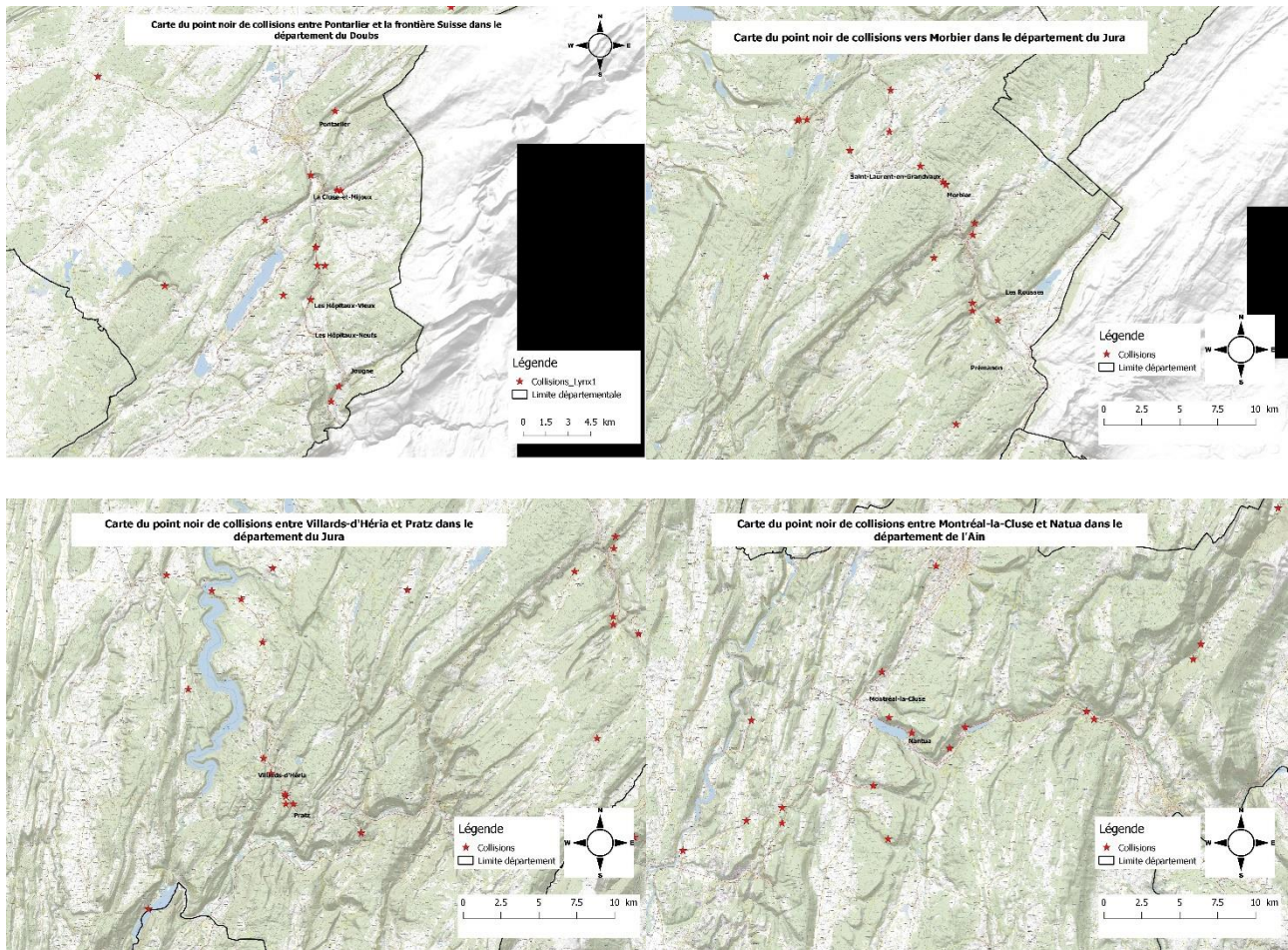


Figure 18: Cartographies des zones les plus accidentogènes sur scan 25 de la France, avec en vert les forêts.

## Annexe 6 : Photos des secteurs à collisions dans le Doubs



Photo 1 : (a) Prise de la voiture de la départementale D67B à la sortie de la commune La Cluse et Mijoux en direction de Neuchâtel. Secteur comportant 2 collisions routières. (b) Prise de vue du paysage à droite de la photo précédente, présence d'une voie de chemin de fer ainsi que de prairies et d'une forêt.





Photo 2 : (a) Prise de vue en voiture de la route nationale N57 à l'entrée de La Cluse e Mijoux en direction de Pontarlier. La route se change en couloir au pied de la falaise sous le château. (b) Photo d'un chamois, proie du lynx, présent dans les champs après la falaise en direction du Nord.



Photo 3 : (a) Prise de vue de la voiture sur la RN 57 entre La Cluse et Mijoux et Jougne, en direction de la frontière Suisse. Secteur à 4 collisions. Présence de forêt de part et d'autre, d'un mur à droite et d'un chemin forestier à gauche. (b) Prise de vu de la voiture de la même route en direction du Nord. Présence d'une voie ferrée à gauche, d'un sentier forestier en face et d'un panneau attention faune sauvage à droite.



Photo 4 : (a) Prise de vue de la voiture sur la RN57 entre la frontière Suisse et Jougne en direction du Nord. Secteur comportant 2 collisions. Présence d'une falaise grillagée à gauche et d'un sentier forestier à droite.

## Résumé

En France, le Lynx boréal *Lynx lynx* fait partie des espèces classées en danger sur la liste rouge nationale. Dans les paysages anthropisés, une des causes de mortalité majeure est liée aux collisions routières. Le projet ITTECOP ERC-Lynx s'est saisi de cette problématique, en croisant le risque de collision et l'aménagement du territoire dans l'objectif d'éviter et réduire cette mortalité. Dans cet objectif, mon stage a porté sur l'étude des routes les plus accidentogènes et les caractéristiques potentielles à leur origine. Au travers de cette étude nous avons donc cherché à décrire des typologies de routes à l'aide de statistique descriptives ainsi que quelques cartographies. L'ACM réalisée fait ressortir 3 groupes différents de cas de mortalité plus ou moins dense selon la nature et caractéristiques des routes. Ces dernières ne sont pas la seule cause probable des collisions, l'environnement immédiat ainsi que des facteurs biologiques et comportementaux ont également une influence. Nous avons suggéré auprès des acteurs concernés, en vue de renforcer l'outil ERC-Lynx et sa puissance prédictive, la recherche de nouvelles données sur les ITTs et initié leur collecte sans qu'elles puissent être utilisées à cette étape car trop hétérogène sur l'aire d'étude. Nos premiers résultats ont déjà apporté également une prise de conscience de la part de gestionnaires de routes et de l'aménagement du territoire. Il est possible d'agir en intégrant cette espèce vulnérable et emblématique trop souvent ignorée à cause, notamment de son large domaine vital. De plus, une perspective de collaboration avec la Suisse et l'Allemagne sera un atout afin d'agir à l'échelle européenne sur les causes influençant l'accidentologie et aboutir sur des préconisations communes.

• Lynx • Collisions • Typologie routière • Mesures correctrices • Ecologie routière •

## Abstract

In France, the Eurasian lynx *Lynx lynx* is one of the endangered species on the national red list. In anthropogenic landscapes, one of the major causes of death is related to road collisions. The ITTECOP ERC-Lynx project has tackled this problem, crossing the risk of collision and spatial planning with the aim of avoiding and reducing this mortality. To this end, my internship focused on the study of the most rugged roads and their potential characteristics. Through this study we have therefore sought to describe typologies of routes using descriptive statistics as well as some maps. The completed MFA highlights 3 different groups of mortality cases that are more or less dense depending on the nature and characteristics of the roads. The latter are not the only probable cause of collisions, the immediate environment as well as biological and behavioural factors also have an influence. We have suggested to stakeholders, with a view to strengthening the ERC-Lynx and its predictive power are searching for new data on ITTs and initiating their collection without being able to use them at this stage because they are too heterogeneous on the study area. Our first results have already brought about an awareness on the part of road and land use managers. It is possible to take action by integrating this vulnerable and emblematic cause, in particular its large vital field. In addition, a collaborative approach with Switzerland and Germany will be an asset in order to act at European level on the causes influencing the accident and to reach common recommendations.

• Lynx • Collisions • Road typology • Mitigation measures • Road ecology •