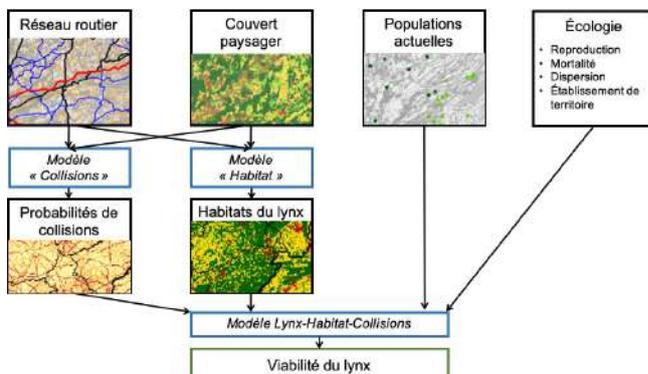


CROC
Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores

6 rue de la Banie
57590 Lucy
www.croc-crea.org

Rapport d'activité Année 2019

Programme scientifique Amélioration de l'état de conservation du Lynx boréal dans le Massif des Vosges



Destinataires du document :

Partenaires financiers, scientifiques et techniques du CROC

Diffusion libre

Réalisation des programmes 2019 :

Estelle GERMAIN, Directrice

Anaïs CHARBONNEL, Chargée d'études scientifiques

Rédaction du rapport d'activité 2019 :

Estelle GERMAIN, Directrice

Anaïs CHARBONNEL, Chargée d'études scientifiques

Citation du document :

CROC (2020) Rapport d'activité 2019. Programme scientifique : Amélioration de l'état de conservation du Lynx boréal (*Lynx lynx*) dans le Massif des Vosges. Rédaction : Germain E. & Charbonnel A., Juin 2020, 114p.

SOMMAIRE

Préambule.....	9
Composition de l'équipe salariée en 2019	10
Introduction	11
Partie 1. Plan Régional d'Actions en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges	13
Documents à consulter pour prendre connaissance du travail achevé en 2019.....	13
Réunions de travail pour le PRA Lynx Massif des Vosges.....	13
Réunions de travail / Articulation PRA/PNA/PNCL	15
Réunions de travail / Parlement du Lynx	15
Communications orales	15
Zoom sur la conférence d'experts du Lynx, 16-19 juin 2019, Bonn, Allemagne : Recommandations pour la conservation du Lynx boréal en Europe centrale et en Europe de l'ouest.....	16
Zoom sur l'action 8A du PRA « Rétablir de manière prioritaire de la connectivité au niveau du Col de Saverne ».....	17
Partie 2. ERC-Lynx : Éviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport.....	19
Documents à consulter.....	19
Réunions de travail pour le projet ERC-Lynx.....	20
Communications orales.....	20
Autres.....	20
Partie 3. Suivi de terrain avec le Réseau Loup-Lynx et appui à l'équipe SNU / Life Lynx Pfälzerwald	21
3.1. Suivi par piégeage photographique avec le Réseau Loup-Lynx.....	21
3.2. Suivi des proies prédatées par les lynx lâchés dans la forêt du Palatinat en Allemagne et qui s'aventurent en France	30
Documents à consulter.....	32
Réunions de travail pour le suivi du lynx.....	32
Communications orales	32
Références bibliographiques	33
Annexes	36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Informations sur les sites concernés par la pose des pièges photographiques dans le cadre du <u>suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges centrales appelé « LUBINE »</u> du 8 mars 2018 au 31 décembre 2019. Collaboration ONF / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.	22
Tableau 2 : Liste des espèces photographiées et nombre de nuits-sites réalisés au cours du <u>suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges centrales appelé « LUBINE »</u> du 8 mars 2018 au 31 décembre 2019. Collaboration ONF / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.	23
Tableau 3 : Informations sur les sites concernés par la pose des pièges photographiques dans le cadre du <u>suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges du Nord d'août 2019 au 31 décembre 2019</u> . Collaboration SOS Faucon Pèlerin Lynx / ONF / DDT57 / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.....	24
Tableau 4 : Liste des espèces photographiées et nombre de nuits-sites réalisés au cours du <u>suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges du Nord d'août 2019 au 31 décembre 2019</u> . Collaboration SOS Faucon Pèlerin Lynx / ONF / DDT57 / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.	25
Tableau 5 : Informations sur les sites concernés par la pose des pièges photographiques dans le cadre du <u>suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges centrales appelé « LA VANCELLE »</u> d'août 2019 au 31 décembre 2019. Collaboration ONF / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.	27
Tableau 6 : Liste des espèces photographiées et nombre de nuits-sites réalisés au cours du <u>suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges centrales appelé « LA VANCELLE »</u> d'août 2019 au 31 décembre 2019. Collaboration ONF / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.	28
Tableau 7 : Liste des espèces photographiées et nombre de nuits-sites réalisés au cours du <u>suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges centrales appelé « PROMONT »</u> d'août 2019 au 31 décembre 2019. Collaboration ONF / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Photographies illustrant le travail conduit par les groupes de travail sur la liste des actions du PRA lors des ateliers 2 de janvier-février 2019 à Saint-Dié-des-Vosges (© CROC 2019).	14
Figure 2 : Photographies illustrant les ateliers 2 des groupes de travail du PRA conduits au mois de janvier-février 2019 à Saint-Dié-des-Vosges (© CROC 2019).....	14
Figure 3 : Photographies illustrant les ateliers 3 des groupes de travail du PRA conduits au mois de mai 2019 à Saint-Dié-des-Vosges (© CROC 2019).	14
Figure 4 : Photographies illustrant la journée de restitution du PRA en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges organisée le jeudi 21 novembre 2019 à Saint-Dié-des-Vosges (© CROC 2019).	15
Figure 5 : Extrait du rapport de Stiftung KORA (2020) concernant les recommandations formulées à l'issue de la conférence des experts Lynx qui s'est tenue les 16-19 juin 2019 à Bonn (Allemagne) et à laquelle le CROC a participé au titre du PRA et du rétablissement du Lynx dans un état de conservation favorable dans le Massif des Vosges.	16
Figure 6 : Photo illustrant l'atelier n°3 du projet ERC-Lynx (© CEFE – O. Gimenez 2019).....	19
Figure 7 : Jeune de Rosa photographié le 17 février 2019 à Walschbronn (57) (Crédit photo : Claude Kurtz, SOS Faucon Pèlerin Lynx).	21
Figure 8 : A gauche, photographie de Loup gris prise le 11/07/2019 sur la commune de Lubine (88) dans le cadre de la collaboration ONF / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC. A droite, photographie de Loup gris prise le 14/10/2019 à Bellefosse (67) dans le cadre d'un suivi sans saisie des données faune (collaboration ONF / OFB / SD67 / Réseau Loup-Lynx / CROC).	23
Figure 9 : A gauche, photographie du mâle Palu (Site 11 ; Palu est né en 2017 de la femelle Kaja et du mâle Lucky). Au milieu, photographie de la femelle Gaupa (Site 11 ; lâchée le 22/02/2019 dans la forêt du Palatinat). A droite, photographie du mâle Braño (Site 4 ; lâché le 06/06/2019 dans la forêt du Palatinat). Ces trois lynx ont été photographiés dans les Vosges du Nord dans le cadre de la collaboration SOS Faucon Pèlerin Lynx / ONF / DDT57 / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.	25
Figure 10 : A gauche, photographie du mâle Arcos le 22/03/2019 dans les Hautes-Vosges (lâché le 07/03/2017 dans la forêt du Palatinat). A droite, photographie du mâle Oslo le 05/12/2019 dans les Vosges du Sud (arrivée probable depuis le Jura). Photographies réalisées en 2019 dans le cadre d'une collaboration OFB / SD68 / Réseau Loup-Lynx / CROC.....	26

Figure 11 : Photographies et localisations dans le Massif des Vosges des lynx dont les proies ont fait l'objet d'un suivi (non exhaustif) en 2019. Le Lynx Libre s'est déplacé dans les Vosges du Nord jusqu'au Vosges centrales pour finalement retourner dans la forêt du Palatinat. Lors de son déplacement des Vosges du Nord aux Vosges centrales, Libre a utilisé la passerelle de Saverne.	30
Figure 12 : Résultats des suivis de proies de lynx réalisés dans les Vosges du Nord. Le mâle Libre a également été photographié le 4 novembre 2019 sur une proie de Cerf par un chasseur sur la commune de Lutzelhouse (67). Deux clusters ont également été visités dans le secteur du Donon pour ce lynx sans conduire à la découverte de proies.	31
Figure 13 : Résultats des suivis de proies de lynx réalisés dans les Hautes-Vosges pour le lynx Arcos depuis 2017.	31

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Avis du CSRPN Grand Est sur le Plan Régional d'Actions en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges suite à la séance plénière du 20 décembre 2019 à Metz (57).	37
ANNEXE 2 : Germain E. et Charbonnel A. 2019. Le Plan Régional d'Actions en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges. Déclinaison Régionale du PNA Lynx. Avis consultatif du CSRPN Grand Est. Séance plénière du 20 décembre 2019. Conseil Régional – Hôtel de Région, Metz (57).....	43
ANNEXE 3 : Souillot D. 2019. Réduire et éviter le risque de mortalité du Lynx boréal (<i>Lynx lynx</i>) par collision avec les véhicules de transports terrestres dans le Massif du Jura. Typologie des tronçons accidentogènes et profils biologiques des lynx morts. Rapport de stage de Master 2. Université de Perpignan Via Domitia, Master Biodiversité, Écologie, Évolution Parcours « Biodiversité et Développement Durable », 48p.	53
ANNEXE 4 : Gimenez O., Gatti S., Duchamp C., Germain E., Laurent A., Zimmermann F. & Marboutin A. (2019) Spatial density estimates of Eurasian lynx (<i>Lynx lynx</i>) in the French Jura and Vosges Mountains. Ecology and Evolution: 9, 11707–11715.	103

REMERCIEMENTS

Ces remerciements viennent compléter les remerciements des personnes et organismes impliqués dans les différents rapports d'activités 2019 du CROC et cités dans le présent document. Nous tenons sincèrement à remercier tout d'abord nos partenaires financiers : l'Union européenne dans le cadre du Programme Opérationnel FEDER-FSE Lorraine et Massif des Vosges 2014-2020, Le Fonds National d'Aménagement et de Développement du Territoire (FNADT) / Commissariat à l'Aménagement du Massif des Vosges, la DREAL Grand Est, la Région Grand Est ainsi que la Fondation d'entreprise UEM.



Union européenne
Fonds européen de développement régional

Le Programme scientifique intitulé « Programme Lynx Massif des Vosges » est cofinancé par l'Union européenne dans le cadre du Programme Opérationnel FEDER-FSE Lorraine et Massif des Vosges 2014-2020.



MASSIF DES VOSGES



Dans le cadre du projet ITTECOP ERC-Lynx « Éviter, réduire et compenser la mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport » 2018-2020, nous tenons également à remercier le Ministère de la transition Écologique et Solidaire, la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité, le Club Infrastructures linéaires et Biodiversité ainsi que l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.



Nous tenons également à remercier nos partenaires techniques, scientifiques et pédagogiques :

- Les Directions Départementales des Territoires (pilotes départementaux du Réseau Loup-Lynx) des départements de la Moselle, des Vosges, de la Meurthe-et-Moselle, du Bas-Rhin, du Haut-Rhin, de la Haute-Saône et du Territoire de Belfort ;
- L'Office Français de la Biodiversité (OFB, ex ONCFS), en particulier les Directions Grand Est et Bourgogne Franche-Comté, l'équipe Loup-Lynx de Direction de la recherche et appui scientifique ainsi que les Services Départementaux du Massif des Vosges dont certains agents sont activement impliqués dans la pose et le relevé de pièges photographiques confiés par le CROC pour le suivi du Lynx ;
- L'Office National des Forêts (ONF), en particulier les Directions Territoriales Grand Est et Bourgogne Franche-Comté pour les autorisations de circulation sur les routes forestières en forêts domaniales qui nous ont été accordées ainsi que les agences et les unités territoriales (UT) dont certains agents sont activement impliqués dans la pose et le relevé de pièges photographiques confiés par le CROC pour le suivi du Lynx ;
- L'association SOS Faucon pèlerin - Lynx fortement impliqué dans la pose et le relevé de pièges photographiques confiés par le CROC pour le suivi du Lynx dans les Vosges du Nord ;
- Les Fédérations Départementales des Chasseurs (FDC) dont les territoires ont été concernés par la pose de pièges photographiques dans le cadre du suivi du Lynx ;
- Les communes qui ont été concernées par la pose de pièges photographiques dans le cadre du suivi du Lynx ;
- L'ensemble des acteurs du Plan Régional d'Actions (PRA) en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges qui s'impliquent au travers le comité de pilotage, le comité de lecture et les groupes de travail ;
- La Mairie de Saint-Dié-des-Vosges pour la mise à disposition gracieuse de salles pour l'organisation des réunions et des ateliers du PRA ;
- Le Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (CEFE) de Montpellier (UMR 5175 ; Tutelles : CNRS, Université de Montpellier, Université Paul-Valéry, EPHE) ;
- La Direction Territoriale Est du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) ;
- La Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz, en particulier l'équipe du EU-Projekt LIFE Luchs Pfälzerwald ;
- Le Parc Naturel Régional (PNR) des Vosges du Nord et le PNR des Ballons des Vosges ;
- Les Piverts ;
- L'ensemble des personnes qui participent bénévolement à la vie du CROC.

Préambule

Le CROC est une structure dynamique dont les principales missions sont la recherche scientifique en écologie appliquée et la coordination de projets multipartenaires. Ses programmes de recherche sont axés sur des problématiques actuelles en lien avec la conservation ou la gestion des carnivores. Ils ont pour objectif de participer au développement de la connaissance sur ces espèces aux mœurs discrètes, ainsi que de contribuer à améliorer la coexistence avec les activités humaines. Pour cela, le CROC s'inscrit dans une démarche multi-partenariale (universités, gestionnaires, organismes publics ou privés, etc.) afin que ses projets bénéficient de compétences complémentaires en écologie (dynamique des populations, aménagement du territoire, biostatistique, etc.) et au-delà (approche pluridisciplinaire, intégration d'une dimension humaine et sociale par exemple grâce à l'implication de sociologues). Depuis sa création en 2010, le CROC a intégré le réseau des acteurs de la recherche scientifique sur les mammifères carnivores tant au niveau régional, national qu'europpéen (transfrontalier). Le CROC est un organisme reconnu au sein de la communauté scientifique mais aussi des gestionnaires comme en témoignent la production scientifique réalisée au cours de ces 10 premières années (publications, rapports, colloques), les collaborations et les partenariats mis en place, etc.

Le présent rapport d'activité porte le programme scientifique 2019 du CROC sur l'amélioration de l'état de conservation du Lynx boréal dans le Massif des Vosges au travers :

- La rédaction du Programme Lynx Massif des Vosges (PLMV) > Plan Régional d'Actions en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges.
- La participation au projet ITTECOP (2018-2020) « Éviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport » en collaboration avec le CNRS CEFE UMR 5175, le Cerema et l'OFB.
- La conduite d'une étude la faisabilité d'un projet de thèse « Favoriser la colonisation de lynx dans le Massif des Vosges depuis le Palatinat et le Jura : évaluation de la connectivité écologique et renforcement de sa qualité fonctionnelle ». → *Mission non réalisée (voir composition de l'équipe).*
- La participation au suivi de terrain (piégeage photographique, prospections, vie du Réseau Loup-Lynx) et l'appui sur le terrain à l'équipe du LIFE+ Lynx / Palatinat dans le cas de la dispersion et de l'installation dans le Massif des Vosges de lynx lâchés en Allemagne (collecte de crottes, recherche de proies, etc.).
- La valorisation scientifique et pédagogique (publications scientifiques, articles vulgarisés, colloques, conférences, expositions, etc.), la participation à d'autres groupes de travail (Parlement du Lynx, LIFE+, etc.), les collaborations avec les acteurs dont les activités gravitent autour du Lynx dans le Massif des Vosges, en France et dans les pays limitrophes, etc. → *Ventilé dans chaque partie.*

① Informations pratiques

Domicilié en Moselle, le CROC (Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores) a été créé sous forme d'association de droit local, régie par les principes généraux du droit applicable aux contrats et obligations par les articles 21 à 79 du code civil local (Alsace-Moselle). Le siège social de l'association est basé 6 rue de la Banie à Lucy (57590). Le CROC est enregistré au registre des associations du tribunal d'instance de la ville de Metz (références : Volume 150, Folio n°6) et au registre des entreprises et des établissements (N° SIRET 522 742 741 00047 ; Code APE : 7219Z ; N° TVA intracommunautaire : FR 38522742741).



www.croc-crea.org

Composition de l'équipe salariée en 2019

En 2019, le CROC a pu maintenir les postes de sa directrice salariée ainsi que celui de sa chargée d'études scientifiques. Cependant, il n'a pas pu procéder au recrutement d'une personne pour le CDD de 6 mois prévu initialement pour la conduite de l'étude sur la faisabilité d'un projet de thèse « Favoriser la colonisation de lynx dans le Massif des Vosges depuis le Palatinat et le Jura : évaluation de la connectivité écologique et renforcement de sa qualité fonctionnelle ». En effet, le CROC a rencontré de grosses tensions de trésorerie au 1^{er} semestre 2019 du fait de retard dans le versement de subventions FEDER pour les années 2016, 2017 et 2018. Par ailleurs, Anaïs Charbonnel a quitté son poste le 30 juin 2019. Au regard des difficultés financières rencontrées, le comité de direction du CROC a décidé de ne pas embaucher une nouvelle personne pour ce poste. L'organisation du travail a été revue en conséquence (p.ex. l'étude de faisabilité n'a pu être conduite).



Estelle GERMAIN, directrice en charge de la coordination et de l'animation des missions scientifiques et pédagogiques du CROC (depuis 2010, CDI)

Avant de se spécialiser dans l'étude du comportement animal en milieu naturel, Estelle GERMAIN a suivi un cursus universitaire en écologie, environnement, analyse statistique et modélisation, dont quatre années à l'Université de Lorraine et une année à l'Université Claude Bernard Lyon 1. Elle a ensuite conduit pendant trois ans un doctorat d'université à l'URCA-CERFE sur l'hybridation entre le Chat sauvage et le Chat domestique en milieu naturel. Parallèlement, elle a suivi une formation d'animatrice scientifique à Lyon. De 2007 à 2009, elle a ensuite été attachée temporaire d'enseignement et de recherche à l'Université de Reims Champagne-Ardenne puis à l'Université de Lorraine. Depuis 2010, Estelle GERMAIN est directrice du CROC à temps plein où elle coordonne et anime les programmes scientifiques et pédagogiques, tout en assurant le bon encadrement de l'équipe. En parallèle, elle a occupé pendant 3 ans (2013 -2015) un poste d'enseignant-chercheur associé à mi-temps à l'Université de Lorraine.

Tél : + 33 (0)6 82 22 41 94 / **Email :** estelle.germain@croc-crea.org

Pour plus de détails sur le profil d'Estelle : http://croc-asso.org/croc/CROC_Estelle.html



Anaïs CHARBONNEL, chargée d'études scientifiques (depuis 2016, CDI)

Suite à l'obtention d'une licence en sciences de la vie et géosciences à l'université d'Angers, Anaïs CHARBONNEL a poursuivi ses études en réalisant un master professionnel d'Ingénierie en Écologie et en Gestion de la Biodiversité à l'université Montpellier II. Durant cette formation, elle a réalisé deux stages de recherche appliquée au CEFÉ à Montpellier et au CNERA « Avifaune migratrice » à l'ONCFS de Chizé, ce qui lui a permis d'acquérir des compétences à l'interface de la recherche et de la gestion de la faune sauvage. Elle a ensuite réalisé une thèse CIFRE (2011-2015) au laboratoire EcoLab de Toulouse en partenariat étroit avec le CEN Midi-Pyrénées afin d'étudier l'écologie du Desman des Pyrénées. Cette thèse lui a permis par la suite de devenir chargée d'études au CEN Midi-Pyrénées pour poursuivre ses travaux sur la gestion du Desman des Pyrénées. Depuis janvier 2016, Anaïs CHARBONNEL est chargée d'études scientifiques au CROC où elle a en charge les missions scientifiques et pédagogiques concernant le Lynx boréal dans le Massif des Vosges (suivi sur le terrain, rédaction du Programme Lynx Massif des Vosges, études des connectivités écologiques). Anaïs contribue également aux autres activités du CROC (terrain, analyses, pédagogie).

Pour plus de détails sur le profil d'Anaïs : http://croc-asso.org/croc/CROC_Anaïs.html

Introduction

Le Lynx boréal (*Lynx lynx*) a disparu du Massif des Vosges au cours du 17^{ème} siècle (Herrenschmidt & Léger, 1987 ; Stahl & Vandel, 1998). Les causes de cette disparition sont communes à celles des autres populations européennes de lynx : chasse, piégeage, diminution de la densité de ses proies et modification des paysages (Breitenmoser et al., 1998, 2000 ; Vandel, 2001). Au cours du 20^{ème} siècle, l'évolution des législations européennes en vigueur a laissé place à un contexte écologique favorable au retour de l'espèce (reforestation, augmentation de la densité de proies, protection de l'espèce). Comme dans d'autres régions d'Europe de l'ouest où un retour naturel apparaissait compromis voire impossible, un programme de réintroduction a été organisé dans le Massif des Vosges entre 1983 et 1993 (Kempf, 1982 ; Kempf et al., 1983 ; Herrenschmidt & Vandel, 1990 ; Stahl et al., 2000 ; Vandel et al., 2006). Au total, 21 individus (9 femelles et 12 mâles) ont été lâchés. Finalement, suite à la disparition de 9 lynx (destruction illégale, malnutrition, cause indéterminée) et à la recapture de 2 individus trop familiers, seuls 10 lynx ont participé à l'établissement du noyau de population vosgien (Vandel et al., 2006). De plus, au cours de ce programme, des tensions sont apparues entre les différentes parties prenantes du fait notamment d'un manque de communication et de concertation accompagnant le retour de l'espèce (Herrenschmidt, 1988, 1990). L'acceptation du retour du Lynx dans le Massif des Vosges ne faisant initialement pas l'unanimité, elle en est sortie d'autant plus fragilisée.

Aujourd'hui, l'état de conservation du Lynx dans le Massif des Vosges est critique. En effet, après s'être maintenue durant les années qui ont suivi les lâchés et avoir atteint une aire de présence régulière maximale avoisinant les 2 000 km² en 2004, l'aire de présence régulière du Lynx dans le massif a fortement diminué depuis 2005 (Marboutin et al., 2011 ; Laurent et al., 2012 ; Marboutin, 2013 ; L'équipe animatrice du Réseau, 2014). Cet état des lieux s'appuie sur le suivi opportuniste assuré par les correspondants du Réseau Loup - Lynx depuis 1988 (Herrenschmidt & Vandel, 1989), complété dès 2011 par différents protocoles de suivis scientifiques mis en place pour préciser la situation de l'espèce dans le massif (hivers 2012-2013 à 2015-2016, 4 sessions intensives de piégeage photographique ; hiver 2011-2012 et 2012-2013, 2 sessions intensives de pistage hivernal ; CROC, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 ; Germain, 2014a, b ; Germain et al., 2015, 2016 ; Marboutin, 2013). En 2016 (année du lancement de la rédaction du PRA), l'aire de présence régulière du Lynx dans le Massif des Vosges avoisinait les 100 km². Après une augmentation en 2017 où l'aire de présence régulière atteint 500 km² (l'équivalent de la superficie observée dans les années 90 ; L'équipe ONCFS d'animation du Réseau Loup - Lynx, 2018), elle diminue à nouveau en 2018 avec 400 km² répartis sur trois secteurs (Vosges du sud, Vosges moyennes, Vosges du Nord ; Source : ONCFS / Réseau Loup - Lynx, Schwoerer M.-L., *comm. pers.*, 24/06/2019).

Or, le Lynx est une espèce protégée et menacée d'extinction sur le territoire français (Loi n°76-629 relative à la protection de la nature, article L.411-1 du Code de l'Environnement, arrêté ministériel du 17 avril 1981 mis à jour le 23 avril 2007, arrêté ministériel du 27 mai 2009). Il est classé « En danger » sur la liste rouge UICN des espèces menacées en France (UICN France et al., 2009, 2017). La population vosgienne-palatine est quant à elle considérée « En danger critique » (Liste rouge UICN / CR ; Kaczensky et al., 2013 ; Kaczensky, 2018). Depuis 2017 (un an après le lancement de la rédaction du PRA), le Lynx figure sur la liste des espèces prioritaires pour les politiques publiques en France (Savouré-Soubelet & Meyer, 2018). Il devient une espèce retenue pour les PNA « sa situation appelant à la mise en place d'un plan d'actions coordonné » (UICN France et al., 2017). Le Lynx est également inscrit sur plusieurs listes internationales (Convention de Washington, Convention CITES) et européennes (Directive Habitat Faune Flore, Convention de Berne) justifiant la nécessité d'une protection ou la mise en place de mesures de conservation sur l'ensemble de son aire de répartition. A titre d'exemple, dans les pays de l'Union Européenne (UE), les populations de lynx sont strictement protégées par la Directive Habitat Faune Flore (CEE 92/43 du 21 mai 1992 ; Kaczensky et al., 2013).

Dans le Massif des Vosges, le Schéma Interrégional du Massif des Vosges à l'horizon 2020 cite le Lynx comme espèce à enjeu dans le cadre de l'utilisation du territoire par les différents usagers de la montagne (Commission permanente du comité de massif & Préfecture de la région Lorraine, 2015). Également, le renforcement des populations de lynx et de son acceptation par les habitants locaux au sein de la réserve de biosphère transfrontière des Vosges du Nord-Pfälzerwald figure dans les objectifs de projet de territoire à l'horizon 2025 de la Charte du PNR des Vosges du Nord (PNR Vosges du Nord, 2013). Dans le cadre de sa commission nature et paysages, le PNR des Ballons des Vosges a quant à lui confirmé son soutien à l'élevage et se propose d'accompagner la recherche d'une meilleure coexistence avec les grands carnivores (Michel, 2016). Par ailleurs, les SRCE de Lorraine, d'Alsace et de Franche-Comté intègrent le Lynx en tant qu'espèce patrimoniale, phare, emblématique ou de cohérence (selon les régions) inféodée aux milieux forestiers de plaine et de montagne (Conseil Régional de Franche-Comté & DREAL de Franche-Comté, 2014 ; Conseil Régional de Lorraine & DREAL de Lorraine, 2014 ; DREAL Alsace & Conseil Régional d'Alsace, 2014). Ces

SRCE sont en cours d'évolution vers les SRADDET, ce qui représente un enjeu majeur pour l'aménagement du territoire (Morand, 2016).

La présence du Lynx dans le Massif des Vosges constitue enfin un enjeu qui va bien au-delà des limites de ce territoire. C'est la viabilité à long terme de **la métapopulation de lynx du Rhin Supérieur** (Jura, Vosges, Palatinat, Forêt-Noire) qui est en jeu. En effet, localisé entre la forêt du Palatinat en Allemagne où le programme LIFE Luchs Pfälzerwald de réintroduction (20 lynx d'ici 2021) est en cours (Kurtz, 2015 ; Schwoerer & Scheid, 2016 ; Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz, 2015, 2016a) et le Massif du Jura qui accueille le cœur de la population française de lynx (Marboutin et al. 2011), le Massif des Vosges occupe une position stratégique au niveau ouest-européen en matière d'échanges entre populations. Toutefois, bien que la colonisation naturelle de lynx par le nord ou par le sud du massif soit possible (Cheneseau & Briaudet, 2016 ; Hurstel & Laurent, 2016a, b ; Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz, 2017e), la connectivité écologique entre ces massifs est actuellement loin d'être optimale (Zimmermann & Breitenmoser, 2007 ; Assman, 2011 ; Blanc, 2015 ; Morand, 2016).

C'est dans ce contexte (1) d'état de conservation critique du Lynx dans le Massif des Vosges (espèce patrimoniale et à présent retenue pour les PNA) et (2) d'enjeu de conservation de l'espèce au sein de la métapopulation de lynx du Rhin Supérieur, que s'inscrivent actuellement les missions du CROC.

Partie 1. Plan Régional d'Actions en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges

En 2016, le CROC a initié la rédaction du Programme Lynx Massif des Vosges (PLMV) afin de rétablir le Lynx dans un état de conservation favorable dans le massif. La rédaction du PLMV a débuté avant l'inscription du Lynx sur la liste des espèces prioritaires pour les politiques publiques en France en 2017, la rédaction en 2018 du Plan national pour la conservation du Lynx (initiative associative à visée nationale portée par le WWF et la SFEPM) et le lancement la même année de la rédaction d'un Plan National d'Actions (porté par la DREAL Bourgogne-Franche-Comté et rédigé par l'OFB).

Le PLMV a été réalisé dans le cadre d'une démarche participative, concertée et partagée avec les acteurs du territoire, jusqu'à devenir, fin 2019, la Déclinaison régionale du PNA Lynx « Massif des Vosges » ou Plan Régional d'Actions en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges.

En 2019, deux ateliers ont été organisés pour chacun des cinq groupes de travail ainsi qu'un comité de pilotage (le 4^{ème}) et une journée de restitution pour tous les groupes confondus. Finalement, après trois années de travail, la rédaction du PRA a permis la définition d'une stratégie à long terme restituée dans 18 fiches actions répondant à cinq enjeux cruciaux :

- **Enjeu 1** : Faciliter la coexistence avec les activités humaines (chasse et élevage).
- **Enjeu 2** : Restaurer la connectivité écologique entre massifs (Jura, Vosges, Palatinat, Forêt-Noire) et maintenir un habitat favorable au sein du Massif des Vosges.
- **Enjeu 3** : Réduire la mortalité d'origine anthropique (collisions et destructions illégales).
- **Enjeu 4** : Consolider le réseau d'observateurs et développer des coopérations (régionales et transfrontalières) pour un meilleur suivi et une meilleure protection du Lynx.
- **Enjeu 5** : Diffuser les connaissances sur le Lynx et sensibiliser sur les enjeux liés à sa conservation.

Le PRA Lynx Massif des Vosges a enfin été soumis le 20 décembre 2019 à l'avis consultatif du CSRPN Grand Est qui a émis un avis favorable (voir **ANNEXE 1**). Début 2020, il sera soumis par la DREAL Grand Est à la consultation du public, dernière étape pouvant conduire à une amélioration du document.

L'objectif du PRA est de rétablir le lynx dans un état de conservation favorable dans le Massif des Vosges, le plus rapidement possible et, surtout de manière durable. À partir de 2020 et pour une période de 10 ans avec un bilan à mi-parcours (2024), le PRA est placé sous la responsabilité de l'État (DREAL Grand Est) qui en assure le portage et en a délégué l'animation au CROC. **La réussite du PRA s'appuiera sur l'engagement des acteurs du territoire et sur la poursuite de la démarche participative initiée pendant sa rédaction.**

Documents à consulter pour prendre connaissance du travail achevé en 2019

Charbonnel A. & Germain E., coordination, 2019. Plan Régional d'Actions en faveur du Lynx boréal (*Lynx lynx*) dans le Massif des Vosges : rétablir le Lynx dans un état de conservation favorable dans le cadre d'une démarche participative, concertée et partagée avec les acteurs du territoire. Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores (CROC), Lucy (57), France, 258 p.

⇒ <https://www.programme-lynx-massif-des-vosges.org/phase-rédactionnelle/plan-régional-dactions>

Réunions de travail pour le PRA Lynx Massif des Vosges (KAFE, Saint-Dié-des-Vosges, 88)

22 janvier 2019 : Atelier 2 du groupe « Coexistence avec la chasse » du PLMV / **24 janvier 2019** : Atelier 2 du groupe « Habitat et connectivité écologique » du PLMV / **28 janvier 2019** : Atelier 2 du groupe « Coexistence avec l'élevage » du PLMV / **31 janvier 2019** : Atelier 2 du groupe « Suivi et conservation du Lynx » du PLMV / **5 février 2019** : Atelier 2 du groupe « Représentation et sensibilisation » du PLMV. (voir **Figures 1 et 2**)

24 avril 2019 : 4^{ème} Copil de la phase rédactionnelle du PLMV.

13 mai 2019 : Atelier 3 du groupe « Coexistence avec la chasse » du PLMV / **15 mai 2019** : Atelier 3 du groupe « Suivi et conservation du Lynx » du PLMV / **16 mai 2019** : Atelier 3 du groupe « Coexistence avec l'élevage » du PLMV / **27 mai 2019** : Atelier 3 du groupe « Habitat et connectivité écologique » du PLMV / **28 mai 2019** : Atelier 3 du groupe « Représentation et sensibilisation » du PLMV. (voir **Figure 3**)

21 novembre 2019 : Journée de restitution du Plan Régional d'Actions (PRA) en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges. (voir **Figure 4**)



Figure 1 : Photographies illustrant le travail conduit par les groupes de travail sur la liste des actions du PRA lors des ateliers 2 de janvier-février 2019 à Saint-Dié-des-Vosges (© CROC 2019).



Figure 2 : Photographies illustrant les ateliers 2 des groupes de travail du PRA conduits au mois de janvier-février 2019 à Saint-Dié-des-Vosges (© CROC 2019).



Figure 3 : Photographies illustrant les ateliers 3 des groupes de travail du PRA conduits au mois de mai 2019 à Saint-Dié-des-Vosges (© CROC 2019).



Figure 4 : Photographies illustrant la journée de restitution du PRA en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges organisée le jeudi 21 novembre 2019 à Saint-Dié-des-Vosges (© CROC 2019).

Réunions de travail / Articulation PRA/PNA/PNCL

- 19 février 2019 :** Réunion « Articulation PLMV / PNCL / PNA Lynx ». DREAL Bourgogne Franche-Comté, Dijon (21), France.
- 23 mars 2019 :** Réunion « Articulation PLMV / PNCL / PNA Lynx » en visioconférence. DREAL Grand Est, Strasbourg (67), France.
- 11-12 avril 2019 :** Groupes de travail « Suivi du Lynx » et « Coexistence avec les activités humaines » du PNA en faveur du Lynx en France. Les 11 et 12 avril 2020, Besançon (25), France.
- 20 mai 2019 :** Groupes de travail « Communication et sensibilisation » et « Animation du PNA » du PNA en faveur du Lynx en France. Les 11 et 12 avril 2020, Besançon (25), France.
- + 10/01, 18/01, 06/02, 08/02, 14/02, 25/02, 19/03, 21/03, 25/03, 09/04, 24/05, 13/06, 20/09, 27/09, 11/10, 25/10.

Réunions de travail / Parlement du Lynx

- 12 décembre 2020 :** Réunion annuelle du Parlement du Lynx organisée par le PNR des Vosges du Nord, La Petite-Pierre (57). Présentation du PRA en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges qui inclut 18 actions dont le projet médiation – chasse (action 4D) et le Parlement du Lynx (action 17A).

Communications orales

- Germain E.** 2019. Le Programme Lynx Massif des Vosges (PLMV). Améliorer l'état de conservation du Lynx boréal dans le Massif des Vosges dans le cadre d'une démarche concertée et partagée avec les acteurs du territoire. Groupes de travail « Suivi du Lynx » et « Coexistence avec les activités humaines » du PNA en faveur du Lynx en France. Les 11 et 12 avril 2020, Besançon (25), France.
- Génot J.-C., Germain E.** et Schwoerer M.L. 2019. Le Lynx dans le Massif des Vosges. Biologie, suivi, statut et actions pour sa conservation. Festival international de photographie de Montier-en-Der. Le jeudi 14 novembre 2019, Montier-en-Der (52).
- Germain E.** 2019. Le Lynx dans le Massif des Vosges. Histoire, suivi, conservation. Conférence du programme « Territoire durable ». Le vendredi 15 novembre 2019, Saint-Dié-des-Vosges (88).
- Germain E.** 2019. Le Plan Régional d'Actions en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges. Déclinaison Régionale du PNA Lynx. Réunion annuelle des correspondants du Réseau Loup-Lynx pour les départements de la Moselle, 6 décembre 2019, Saint-Quirin (57).
- Germain E.** 2019. Le Plan Régional d'Actions en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges. Déclinaison Régionale du PNA Lynx. Avis consultatif du CSRPN Grand Est. Séance plénière du 20 décembre 2019. Conseil Régional – Hôtel de Région, Metz (57). → **Voir ANNEXE 2.**

Germain E. & Schwoerer M.-L. 2019. Situation of the Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) in the French Vosges Mountains. Expert conference for conservation of the Lynx in West and Central Europe, June 16-19th 2019, Bonn, Germany.

Recommendations for the conservation of the Eurasian lynx in Western and Central Europe



At the conference in Bonn, 16–19 June 2019, a group of 53 experts from across Europe gathered to review the current situation of the Eurasian lynx in Western and Central Europe, to enunciate recommendations for the conservation and management of lynx, and to stipulate a number of standards and protocols..

The first assessment of the Eurasian lynx *Lynx lynx* in Europe was initiated by IUCN and WWF International in 1962, when the two organisations asked the Czech zoologist Josef Kratochvíl to review the status of the species across the continent. A wider audience however became only aware of the fate of this elusive species when in the early 1970s, reintroduction programmes started in Western and Central Europe. In 1990, the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats (Bern Convention) of the Council of Europe published a review of the status and the conservation needs of the lynx in Europe. Since then, a number of pan-European or transboundary conservation assessments and strategies were produced.

The situation of the lynx has remarkably improved over the past decades, and in recent years, a number of transboundary projects have been launched, which have however also revealed that there is a considerable need for more coordinated and focused conservation efforts in all autochthonous and reintroduced populations in Western and Central Europe. Therefore, KORA has, together with the Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz and

the HIT Umwelt- und Naturschutz Stiftung, initiated a lynx expert conference in Bonn. Participants gave presentations on the status of the continental populations and an overview on conservation projects (see p. 13 for an example), followed by talks on transboundary cooperation and networking (see p. 14), and on conservation solutions and practical approaches, including health and genetic challenges.

In a workshop, participants then developed concrete recommendations for advancing the conservation of lynx on Continental Europe. The recommendations covered the following topics:

- 1) Identification and delineation of evolutionary significant units or subspecies of Eurasian lynx in Continental Europe.
- 2) Spatial metapopulation concept for West- and Central Europe.
- 3) Common approaches and shared protocols for surveys and monitoring.
- 4) Genetic monitoring, management and remedy of inbred populations.
- 5) Use of suited source populations for reintroductions, reinforcements or "assisted dispersal".
- 6) Best-practice protocols for health considerations and the practical execution of translocations, including quarantine.
- 7) Long-term cooperation for the conservation of the lynx.

These recommendations were submitted to the Standing Committee of the Bern Convention and adopted by the Committee on 6 December 2019 (<https://rm.coe.int/2019-rec-204e-lynx/1680993e0b>). The proceedings, including the recommendations, will be published as a Special Issue of Cat News in 2020.

Figure 5 : Extrait du rapport de Stiftung KORA (2020) concernant les recommandations formulées à l'issue de la conférence des experts Lynx qui s'est tenue les 16-9 juin 2019 à Bonn (Allemagne) et à laquelle le CROC a participé au titre du PRA et du rétablissement du Lynx dans un état de conservation favorable dans le Massif des Vosges.

Zoom sur l'action 8A du PRA « Rétablir de manière prioritaire de la connectivité au niveau du Col de Saverne »

En 2019, un travail d'échanges entre acteurs a commencé autour du rétablissement de la connectivité au niveau du Col de Saverne. Voici une chronologie synthétique :

Le 12 février 2019, une réunion est organisée par le PNR des Vosges du Nord suite à la résolution du Parlement transfrontalier du Lynx et à son envoi à la DGTIM. L'objectif est de relancer le projet de l'éco-pont du col de Saverne. Sont invités : le Cerema, la DREAL Grand Est, l'ONCFS, une représentante de la SNU (Life Lynx Palatinat) et le CROC. Le Cerema propose de relancer la démarche par une nouvelle étude de manière à déterminer une estimation financière du projet optimisée, explorer de nouvelles pistes techniques (p.ex. décaler l'ouvrage par rapport à l'emplacement imaginé initialement, etc.) et à déterminer la largeur pertinente pour un nouvel ouvrage.

En mars 2020, suite aux ateliers 2 du Programme Lynx Massif des Vosges (PLMV), le CROC envoie les propositions d'actions à l'ensemble des acteurs dont le groupe de travail « Habitat et connectivité écologique », dont la Sanef fait partie. Dans le cadre de l'action n°9 du PLMV « Faciliter le franchissement des infrastructures de transport et réduire la mortalité », la Sanef indique qu'elle est favorable à la réalisation d'un diagnostic du fonctionnement de la passerelle actuelle. Une rencontre est programmée le 12 juin 2019 dans les locaux de la Sanef.

Le 14 mai 2019, le PNR des Vosges du Nord est invité par la SNU (Life Lynx Palatinat) à visiter l'éco-pont sur la B10 près de Hinterweidenthal entre Pirmasens et Landau dans le Palatinat en Allemagne. A cette occasion, le Cerema, la DREAL Grand Est et le CROC étaient également présents. Les discussions ont porté sur les passages à faune et le Lynx. Les acteurs français présents ont également été interrogé par un représentant de l'administration responsable de la mobilité (LBM) quant au rétablissement de la continuité écologique au niveau du Col de Saverne.

En mai 2019, suite aux ateliers 3 du PLMV, le CROC envoie les propositions d'actions actualisées. L'action 8 regroupe à présent les actions visant à « Faciliter le franchissement des infrastructures de transport et réduire la mortalité ». En particulier, l'action 8A vise à « Rétablir de manière prioritaire de la connectivité au niveau du Col de Saverne ». Plus précisément, il s'agit de :

- Collecter la bibliographie existante sur le passage à faune et l'analyser.
- Rédiger le (les) cahier(s) des charges d'une (des) étude(s) visant à définir et localiser précisément les mesures constructives et d'accompagnement les plus adaptées au rétablissement de la continuité écologique du Col de Saverne au regard des enjeux, des difficultés locales d'insertion, des modalités et contraintes techniques de construction et des coûts.
- Rédiger le (les) cahier(s) des charges des diagnostics écologiques préalables.
- Réaliser ou faire réaliser (les) l'étude(s) et les diagnostics écologiques.
- S'assurer de la mise en œuvre des conclusions de(s) l'étude(s) et de la prise en compte des diagnostics écologiques pour le rétablissement de la connectivité au niveau du Col de Saverne.
- Mettre en place des suivis des mesures mises en œuvre.

Il s'agit d'une opération prioritaire pour le noyau vosgien, à mettre en œuvre dès 2020. Elle concernera et servira à d'autres espèces de la grande et petite faune.

Le 12 juin 2019, la DREAL Grand Est, le Cerema, la Région Grand Est, le PNR des Vosges du Nord, l'ONCFS et le CROC rencontrent la Sanef dans ses locaux à Paris. L'objectif de cette réunion de travail était de relancer le dossier « Eco-pont de Saverne » afin d'y rétablir la connectivité écologique en commençant par une première rencontre des différentes parties prenantes intéressées. Un premier tour d'horizon des travaux et études déjà réalisés concernant l'éco-pont du col de Saverne a été fait. Des discussions se sont tenues autour de la proposition de la Sanef (diagnostic du fonctionnement de la passerelle actuelle) et des suites à donner. Finalement, les propositions suivantes sont acceptées par tous :

- La rédaction d'un cahier des charges par le Cerema concernant l'étude visant à proposer de nouveaux scénarios d'éco-ponts pour rétablir la connectivité tout en maintenant la passerelle actuelle à l'usage des randonneurs et autres activités de loisirs. Cette étude inclura un état des connaissances compilant les données historiques et bibliographiques complétées par un suivi par piégeage photographique de l'usage actuel de la passerelle (faune et fréquentation humaine).
- La réalisation de l'étude répondant au cahier des charges dans le cadre d'un appel d'offre. Cette étude devra aller jusqu'à des prescriptions concrètes concernant les aspects techniques, la largeur, la faisabilité, etc. Elle sera suivie par un comité de pilotage dont la composition reste à définir. Ce Copil pourrait être composé, a minima, des structures présentes lors de la présente réunion.

Cette réunion a également été l'occasion de souligner la nécessité que ce travail soit mené de manière conjointe. L'amélioration de la connectivité au col de Saverne grâce à la création d'un nouvel éco-pont a déjà fait l'objet de tentatives non-abouties par le passé. Le besoin est identifié depuis un certain temps. Le sujet prend de l'ampleur au niveau local (Plan Régional d'Actions) et national (Plan National d'Actions).

En juin 2019, dans son Plan biodiversité, la DREAL Grand Est prévoit de lancer un travail « pour tenter de résorber un certain nombre des principaux points noirs des SRCE, incluant l'éco-pont du col de Saverne. Le col de Saverne est identifié depuis de nombreuses années comme une rupture majeure des continuités écologiques dans les SRCE de Lorraine et d'Alsace ainsi que par les instances en charge du suivi du Lynx ».

Le 29 juillet 2019, le Président du PNR des Vosges du Nord écrit un courrier au Préfet de la Région Grand Est. Il lui expose ses inquiétudes concernant l'état de non-avancement de l'évolution de la « passerelle à gibier » de Saverne au regard des nombreuses études réalisées par le passé (chacune d'elle ne faisant qu'appuyer la nécessité d'agir). Ces craintes s'inscrivent dans un contexte d'urgence : le programme LIFE Luchs Pfälzerwald de réintroduction de 20 lynx d'ici 2021 dans la forêt du Palatinat et la venue de lynx dans les Vosges du Nord voire au-delà dans le massif (exemples d'Arcos dans les Hautes-Vosges et de Libre dans les Vosges moyennes).

En octobre 2019, le lynx Libre (mâle) arrive au mois de septembre 2019 dans les Vosges du Nord en provenance du Palatinat en Allemagne où il a été lâché en mars 2019 (programme LIFE Luchs Pfälzerwald de réintroduction). Au mois d'octobre, il traverse le col de Saverne et s'installe dans les Vosges Moyennes (secteur du massif du Donon). Pour traverser l'autoroute A4, il a emprunté la passerelle à gibier qui surplombe l'autoroute au niveau du Col de Saverne (confirmation par les chiens pisteurs de Michaël BACK / équipe de suivi de la SNU). En mars 2020, Libre revient dans les Vosges du Nord. Début avril, il se trouve à nouveau dans le Palatinat, à proximité de la frontière.

En novembre 2019, le Préfet de la Région Grand Est répond par courrier au président du PNR des Vosges du Nord. Il met en avant et salue l'importante implication du PNR sur le sujet de la restauration de la continuité écologique du col de Saverne. Notamment, il soutient la constitution du groupe de travail en 2019 avec la Sanef, la DREAL Grand Est, le Cerema, l'OFB (ex ONCFS), la Région Grand Est et le CROC sous l'impulsion du PNR. Le Préfet s'en remet à la vigilance de ses services (DREAL Grand Est) afin que les démarches entreprises débouchent à la résorption de ce point noir de continuité écologique identifié dans les SRCE d'Alsace et de Lorraine, le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET) de la Région Grand Est et dans le Plan Biodiversité.

Enfin, le 20 décembre 2019, le Plan Régional d'Actions (PRA) en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges reçoit un avis favorable à l'unanimité des membres du Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN) Grand Est. Porté à présent par la DREAL Grand Est et animé par le CROC, le PRA prévoit dans son action 8A de « Rétablir de manière prioritaire de la connectivité au niveau du col de Saverne ». Le pilotage de cette action au niveau du massif est porté par la DREAL Grand Est et la Sanef en lien avec le Cerema DTer Est, le PNR des Vosges du Nord, l'OFB (ex ONCFS), la Région DREAL Grand Est et le CROC (groupe de travail actuellement constitué).

Partie 2. ERC-Lynx : Éviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport

Les infrastructures de transport terrestre et leurs emprises (ITTe), qu'elles soient routières ou ferroviaires, font courir des risques majeurs pour le Lynx boréal, l'un des derniers grands carnivores européens présent en France (Morand 2016). Les ITTe contribuent en effet à détruire et morceler les habitats favorables au lynx et constituent un réel frein à leur dispersion, un processus indispensable au maintien des populations en bon état de conservation (Kramer Schadt et al. 2004 ; Zimmermann et al. 2005). D'autre part, les collisions avec les véhicules représentent l'une des principales causes de mortalité du Lynx (Hemery et al. 2013).

Dans ce contexte, le groupement composé du CEFE (CNRS UMR 5175, Montpellier), du Cerema (Direction Territoriale Est), du CROC et de l'ONCFS (Équipe Loup-Lynx, Direction de la Recherche et de l'Expertise) a été retenu pour conduire un projet de recherche appliquée ITTECOP¹ intitulé « **Éviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport / ERC-Lynx²** ». Ce projet d'une durée de 2,5 ans (2018-2020) a pour objectif de développer un outil prédictif opérationnel à destination des gestionnaires des infrastructures de transport terrestre en couplant risque de collision, viabilité des populations de Lynx et enjeux des territoires. Une originalité du projet réside dans la co-construction de l'outil prédictif avec les acteurs du territoire.

En 2019, un 3^{ème} atelier a été organisé au mois de septembre (voir **Figure 5**). Les objectifs de l'atelier étaient (1) de présenter une version complète de l'interface pour discussions et échanges avec les acteurs et (2) d'identifier avec eux les problèmes et améliorations possibles avant sa diffusion. Le Cerema a également accueilli une stagiaire de Master 2 sur le sujet « 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. ». Encadrée par le Cerema et accompagnée par le CEFE et le CROC, Delphine Souillot a finalisé son stage le 20 juin 2019 à l'occasion de sa soutenance qu'elle a réussi avec brio.



Figure 6 : Photo illustrant l'atelier n°3 du projet ERC-Lynx (© CEFE – O. Gimenez 2019).

Documents à consulter

Souillot D. 2019. 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. Rapport de stage de Master 2. Université de Perpignan Via Domitia, Master Biodiversité, Écologie, Évolution Parcours « Biodiversité et Développement Durable », 48p. → **Voir ANNEXE 3.**

¹ Infrastructure de Transport Terrestre ECOSystème et Paysage

² <https://sites.google.com/view/erclynx/>

Réunions de travail pour le projet ERC-Lynx

24 septembre 2019 : Atelier 3 du projet ERC-Lynx « Éviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx boréal par collision avec les véhicules de transport ». CIS Besançon, Besançon (25), France.
+ réunions interne à l'équipe projet les 15/02, 08/04, 15/04, 24/05, 02/08, 10/09, 18/11.

Communications orales

Bauduin S., **Charbonnel A.**, Chrétien L., Coulon A., Drouet-Hoguet N., Duchamp C., **Germain E.**, Olivier C.-A., Morand A., Souillot D. & Gimenez O. 2019. ERC-Lynx : Éviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport. Groupes de travail « Suivi du Lynx » et « Coexistence avec les activités humaines » du PNA en faveur du Lynx en France. Les 11 et 12 avril 2020, Besançon (25), France.

Bauduin S., **Charbonnel A.**, Chrétien L., Coulon A., Drouet-Hoguet N., Duchamp C., **Germain E.**, Olivier C.-A., Morand A., Souillot D. & Gimenez O. 2019. ERC-Lynx « Éviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport ». Colloque ITTECOP 2019, Fonctionnalités écologiques et territoriales des infrastructures linéaires de transport et de leurs emprises, 5-7 juin 2019, Ademe Sophia-Antipolis, Valbonne, France.

Bauduin S., **Charbonnel A.**, Chrétien L., Drouet-Hoguet N., Duchamp C., **Germain E.**, Morand A. & Gimenez O. 2019. Co-construction d'une plateforme pour tester l'impact d'aménagements. Cas d'étude : le Lynx boréal en Europe centrale. Séminaire OïkoLab, 26-27 juin 2019, Sorèze, France.

Bauduin S., **Charbonnel A.**, Chrétien L., Coulon A., Drouet-Hoguet N., Duchamp C., **Germain E.**, Olivier C.-A., Morand A., Souillot D. & Gimenez O. 2019. ERC-Lynx : Éviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport. Journée d'échanges « Continuités écologiques et collisions avec la faune : des données aux solutions ». Centre de ressources Trame verte et bleue en partenariat avec le Ministère de la transition écologique et solidaire, 2 juillet 2019, Grande Arche de la Défense, Paris (75).

Bauduin S., **Charbonnel A.**, Chrétien L., Drouet-Hoguet N., Duchamp C., **Germain E.**, Morand A. & Gimenez O. 2019. Guiding decision-making to mitigate lynx-vehicle collisions using spatially-explicit individual-based models. JIEM-Nantes 2019. Les 22 et 23 octobre 2019, Nantes (44).

Bauduin S., **Charbonnel A.**, Chrétien L., Drouet-Hoguet N., Duchamp C., **Germain E.**, Morand A. & Gimenez O. 2019. Projet ERC-Lynx - Un outil d'aide à la décision dans la gestion des collisions lynx-véhicules. Semaine technique de l'UPAD à l'ONFCS, novembre 2019, (-).

Bauduin S., **Charbonnel A.**, Chrétien L., Coulon A., Drouet-Hoguet N., Duchamp C., **Germain E.**, Olivier C.-A., Morand A., Souillot D. & Gimenez O. 2019. Co-construction d'un outil d'aide à la décision dans la gestion des collisions lynx-véhicules. Réunion de restitution du PRA en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges. Le jeudi 21 novembre 2020, Saint-Dié-des-Vosges (88).

Bauduin S., **Charbonnel A.**, Chrétien L., Coulon A., Drouet-Hoguet N., Duchamp C., **Germain E.**, Olivier C.-A., Morand A., Souillot D. & Gimenez O. 2019. Co-construction d'un outil d'aide à la décision dans la gestion des collisions lynx-véhicules. Réunion de SNCF Réseau / Développement Durable. Le 28 novembre 2019, Seine-Saint-Denis (93).

Autres

Parution en 2019 d'un article sur le projet ERC-Lynx « Un outil destiné aux territoires pour réduire l'accidentologie du Lynx » **sur le site internet du Cerema** <https://www.cerema.fr/fr/actualites/outil-destine-aux-territoires-reduire-accidentologie-du-lynx>.

Partie 3. Suivi de terrain avec le Réseau Loup-Lynx et appui à l'équipe SNU / Life Lynx Pfälzerwald

3.1. Suivi par piégeage photographique avec le Réseau Loup-Lynx

En 2019, le CROC a poursuivi le suivi nommé « LUBINE » initié en 2018 dans les Vosges centrales. En plus de récupérer les photographies (via Dropbox) et d'élaborer les tableaux (données faune), le CROC a participé à un relevé des appareils sur le terrain au côté de l'ONF.

Suite à la découverte d'une proie à Walschbronn (57) par SOS Faucon Pèlerin Lynx sur laquelle un jeune de la femelle Rosa (lâchée dans la forêt du Palatinat le 13/04/2017) a ensuite été photographié le 17 février 2019 (voir **Figure 2**), l'idée de la mise en place d'un suivi en limite de la forêt du Palatinat afin de suivre les mouvements des lynx sans collier en provenance de la forêt du Palatinat.



Figure 7 : Jeune de Rosa photographié le 17 février 2019 à Walschbronn (57) (Crédit photo : Claude Kurtz, SOS Faucon Pèlerin Lynx).

Le CROC s'est ainsi également impliqué en 2019 dans le lancement d'un nouveau suivi par piégeage photographique du Lynx dans les Vosges du Nord en limite de la forêt du Palatinat en Allemagne dans le cadre d'une collaboration SOS Faucon Pèlerin Lynx / ONF / DDT57 / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC. Un peu plus de 20 pièges photographiques ont été mis à la disposition de l'association SOS Faucon Pèlerin Lynx qui assure la communication locale auprès des chasseurs notamment ainsi que le travail de terrain avec l'ONF. En complément de la mise à disposition du matériel, le CROC assure quant à lui la récupération des photographies et l'élaboration des tableaux de données faunistiques. Pour la mise en place de ce suivi, la DDT57 a réalisé une information auprès des communes mosellanes des Vosges du Nord, de la fédération départementale des chasseurs, du directeur de l'ONF, du commandant du Camp militaire de Bitche, du Président du PNR des Vosges du Nord et du Président du Centre Régional de la Propriété forestière de Moselle. Les emplacements des pièges photographiques ont été choisis de manière collégiale sur la base de la localisation des données historiques collectées par le Réseau Loup-Lynx (base de données gérée par l'OFB) combinée aux données connues des lynx du Palatinat présents dans les Vosges du Nord (collier GPS), de la topographie locale (recherche des lignes de crêtes, de zones rocheuses par exemple) et de la connaissance du terrain.

Enfin, en 2019, le CROC a remis 20 pièges photographiques à l'OFB et l'ONF pour le suivi Loup-Lynx dans le Massif des Vosges (SD67/ONF/Vosges centrales et SD68/Hautes-Vosges et Vosges du Sud). Le traitement des données se fait uniquement pour les espèces Loup et Lynx (voire d'autres espèces non communes du Massif des Vosges).

L'état d'avancement de ces suivis au 31 décembre 2019 est présenté ci-après sous la forme (1) d'un tableau descriptif des sites concernés par la pose de pièges photographiques (forêts, communes, éventuelles zones sensibles comme les réserves, les APB, etc.) et (2) d'un tableau synthétique faisant état de la liste des espèces de faune sauvage photographiées.

En 2020, ces suivis par piégeage photographique se poursuivent dans le Massif des Vosges.

Tableau 1 : Informations sur les sites concernés par la pose des pièges photographiques dans le cadre du suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges centrales appelé « LUBINE » du 8 mars 2018 au 31 décembre 2019. Collaboration ONF / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.

Maille CROC	Site de pose	Forêt	Commune	INSEE	Département	Région	Nombre de nuits-pièges Réalisé	Périmètres réglementaires ou d'inventaires concernés						Nombre de zones
								GTV Tétrás Zone de quiétude	PNR des Ballons des Vosges	ZNIEFF I Cretes des hauteurs de la foret de la Vancelle au col de la Hingrie	ZNIEFF II Massif Vosgien	ZPS Hautes-Vosges, Haut-Rhin Massif Vosgien		
MV0555	Site 1	Forêt domaniale de Colroy-Lubine	Lubine	88275	Vosges	Lorraine	270	•	•		•		•	4
MV0555	Site 2	Forêt domaniale de Colroy-Lubine	Lubine	88275	Vosges	Lorraine	82	•	•		•		•	4
MV0535	Site 3	Forêt communale d'Urbeis	Urbeis	67499	Bas-Rhin	Alsace	178		•		•			2
MV0556	Site 4	Forêt communale de Sainte-Croix-Aux-Mines	Sainte-Croix-aux-Mines	68294	Haut-Rhin	Alsace	195		•		•			2
MV0536	Site 5	Forêt communale de Rombach-Le-Franc	Fouchy	67143	Bas-Rhin	Alsace	363	•	•		•	•		4
MV0536	Site 6	Forêt communale d'Urbeis	Urbeis	67499	Bas-Rhin	Alsace	413							0
MV0534	Site 7	Forêt domaniale de Colroy-Lubine	Lubine	88275	Vosges	Lorraine	428		•		•			2
MV0535	Site 8	Forêt domaniale de Colroy-Lubine	Lubine	88275	Vosges	Lorraine	393		•		•			2
MV0471	Site 9 pose 1	/	Sainte-Blaise-la-Roche	67424	Bas-Rhin	Alsace	4							0
MV0493	Site 9 pose 2	Forêt communale de Saint-Blaise-La-Roche	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	220							0
MV0514	Site 9 pose 3	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	170							0
MV0471	Site 10 pose 1	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	219							0
MV0493	Site 10 pose 2	/	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	234							0
SOMME							3169	3	7	0	7	1	2	

Tableau 2 : Liste des espèces photographiées et nombre de nuits-sites réalisés au cours du suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges centrales appelé « LUBINE » du 8 mars 2018 au 31 décembre 2019. Collaboration ONF / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.

Maille CROC	Site de pose	Forêt	Commune	INSEE	Département	Région	Nombre de nuits-pièges Réalisé	Photos D'animaux	Espèces photographiées														Nombre d'espèces								
									Autres animaux	Canidés			Félinés		Mustélidés		Oiseaux		Ongulés			Petits mammifères									
									Animal indéterminé	Chien	Loup gris	Renard roux	Chat domestique	Chat sauvage	Chat sauvage doux	Blaireau européen	Martre des pins	Mustélidé indéterminé	Fouine	Geai des chênes	Grand Corbeau	Oiseau indéterminé	Cerf élaphe	Chamois	Chevreuil	Ongulé indéterminé	Sanglier	Lièvre d'Europe	Marmotte des Alpes		
MV0555	Site 1	Forêt domaniale de Colroy-Lubine	Lubine	88275	Vosges	Lorraine	270	105				•		•										•	•	•	•				7
MV0555	Site 2	Forêt domaniale de Colroy-Lubine	Lubine	88275	Vosges	Lorraine	82	1																							1
MV0535	Site 3	Forêt communale d'Urbeis	Urbeis	67499	Bas-Rhin	Alsace	178	46	•					•	•					•				•							8
MV0556	Site 4	Forêt communale de Sainte-Croix-Aux-Mines	Sainte-Croix-aux-Mines	68294	Haut-Rhin	Alsace	195	165	•	•														•	•	•	•	•			10
MV0536	Site 5	Forêt communale de Rombach-Le-Franc	Fouchy	67143	Bas-Rhin	Alsace	363	204	•					•										•	•	•	•	•			8
MV0536	Site 6	Forêt communale d'Urbeis	Urbeis	67499	Bas-Rhin	Alsace	413	246	•	•														•	•	•	•	•			6
MV0534	Site 7	Forêt domaniale de Colroy-Lubine	Lubine	88275	Vosges	Lorraine	428	144	•	•														•	•	•	•	•			7
MV0535	Site 8	Forêt domaniale de Colroy-Lubine	Lubine	88275	Vosges	Lorraine	393	82	•	•	•	•												•	•	•	•	•			9
MV0471	Site 9 pose 1	/	Sainte-Blaise-la-Roche	67424	Bas-Rhin	Alsace	4	3																	•						2
MV0493	Site 9 pose 2	Forêt communale de Saint-Blaise-La-Roche	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	220	171	•	•														•	•	•	•				5
MV0514	Site 9 pose 3	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	170	72	•	•														•	•	•	•				4
MV0471	Site 10 pose 1	/	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	219	551	•	•				•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•		15
MV0493	Site 10 pose 2	/	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	234	630	•	•				•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•		15
SOMME							3169	2420	10	7	1	9	2	5	4	6	2	2	4	1	1	2	11	5	11	5	13	6	2		



Figure 8 : A gauche, photographie de Loup gris prise le 11/07/2019 sur la commune de Lubine (88) dans le cadre de la collaboration ONF / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC. A droite, photographie de Loup gris prise le 14/10/2019 à Bellefosse (67) dans le cadre d'un suivi sans saisie des données faune (collaboration ONF / OFB / SD67 / Réseau Loup-Lynx / CROC).

Tableau 3 : Informations sur les sites concernés par la pose des pièges photographiques dans le cadre du suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges du Nord d'août 2019 au 31 décembre 2019. Collaboration SOS Faucon Pèlerin Lynx / ONF / DDT57 / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.

Maille CROC	Site de pose	Forêt	Commune	INSEE	partem	Région	Nombre de nuits-pièges Réalisé	Périmètres réglementaires ou d'inventaires concernés						Nombre de zones	
								PNR Vosges du Nord	RB De Lutzelhardt-Adelsberg	Vergers Et Foret De Walschbronn	ZNIEFF I Terrain Militaire De Bitche	Forets Du Pays De Bitche Et Gites A Chiropteres	ZNIEFF II Pays De Bitche		ZPS Forêts, Rochers Et Étangs Du Pays De Bitche
MV0004	Site 1	Foret privée	Walschbronn	57741	Moselle	Lorraine		•		•					2
MV0004	Site 2	Foret privée	Walschbronn	57741	Moselle	Lorraine		•		•					2
MV0029	Site 3	Foret domaniale G	Roppeviller	57594	Moselle	Lorraine		•							1
MV0037	Site 4	Foret domaniale G	Haspelschiedt	57301	Moselle	Lorraine		•							1
MV0040	Site 5	Camp Militaire	Roppeviller	57594	Moselle	Lorraine		•				•			3
MV0040	Site 6	Foret domaniale St	Roppeviller	57594	Moselle	Lorraine		•				•			3
MV0051	Site 7	Camp Militaire	Haspelschiedt	57301	Moselle	Lorraine		•				•			3
MV0051	Site 8	Foret domaniale St	Bitche	57089	Moselle	Lorraine		•				•	•		3
MV0050	Site 9	Foret domaniale St	Bitche	57089	Moselle	Lorraine		•				•	•		3
MV0071	Site 10	Foret domaniale St	Eguelshardt	57188	Moselle	Lorraine		•				•	•	•	4
MV0041	Site 11	Foret domaniale St	Sturzelbronn	57661	Moselle	Lorraine		•				•	•		3
MV0040	Site 12	Foret domaniale St	Roppeviller	57594	Moselle	Lorraine		•				•	•		3
MV0053	Site 13	Foret domaniale St	Sturzelbronn	57661	Moselle	Lorraine		•	•			•	•		4
MV0028	Site 14	Foret domaniale G	Hanviller	57294	Moselle	Lorraine		•							1
SOMME								14	1	2	3	6	9	1	

Tableau 4 : Liste des espèces photographiées et nombre de nuits-sites réalisés au cours du suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges du Nord d'août 2019 au 31 décembre 2019. Collaboration SOS Faucon Pèlerin Lynx / ONF / DDT57 / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.

Maille CROC	Site de pose	Forêt	Commune	INSEE	Département	Région	Nombre de nuits-pièges Réalisé minimal	nombre de nuits-pièges réalisé maximal	Photos D'animaux	Espèces photographiées													Nombre d'espèces	
										Autres animaux Animal indéterminé	Canidés Renard roux	Félidés			Mustélidés Blaireau européen Fouine	Oiseaux Hibou moyen-duc Geai des chênes	Ongulés			Petits mammifères Lièvre d'Europe				
												Chat indéterminé	Chat sauvage	Lynx boréal			Cerf élaphe	Chevreuril	Ongulé indéterminé		Sanglier			
MV0004	Site 1	Forêt privée	Walschbronn	57741	Moselle	Lorraine	98	103	90	•	•							•	•	•	•	•	•	7
MV0004	Site 2	Forêt privée	Walschbronn	57741	Moselle	Lorraine	102	103	412	•	•		•	•	•			•	•	•	•	•	•	10
MV0029	Site 3	Forêt domaniale Goendersberg	Roppeviller	57594	Moselle	Lorraine	70	136	184	•	•							•	•	•	•			6
MV0037	Site 4	Forêt domaniale Goendersberg	Haspelschiedt	57301	Moselle	Lorraine	89	136	138		•		•	•				•	•	•	•			8
MV0040	Site 5	Camp Militaire	Roppeviller	57594	Moselle	Lorraine	53	116	88	•								•	•	•	•			4
MV0040	Site 6	Forêt domaniale Sturzelbronn	Roppeviller	57594	Moselle	Lorraine	79	110	102	•	•		•	•				•	•	•	•			8
MV0051	Site 7	Camp Militaire	Haspelschiedt	57301	Moselle	Lorraine	71	86	16									•	•		•			3
MV0051	Site 8	Forêt domaniale Sturzelbronn	Bitche	57089	Moselle	Lorraine	91	105	77		•							•	•	•	•			6
MV0050	Site 9	Forêt domaniale Sturzelbronn	Bitche	57089	Moselle	Lorraine	69	138	105	•		•						•	•	•	•			6
MV0071	Site 10	Forêt domaniale Sturzelbronn	Eguelshardt	57188	Moselle	Lorraine	73	142	132	•	•		•					•	•	•	•			7
MV0041	Site 11	Forêt domaniale Sturzelbronn	Sturzelbronn	57661	Moselle	Lorraine	110	116	115		•		•	•				•	•	•	•			7
MV0040	Site 12	Forêt domaniale Sturzelbronn	Roppeviller	57594	Moselle	Lorraine	72	72	99		•							•	•		•			4
MV0053	Site 13	Forêt domaniale Sturzelbronn	Sturzelbronn	57661	Moselle	Lorraine	83	127	48	•								•	•	•	•			4
MV0028	Site 14	Forêt domaniale Goendersberg	Hanviller	57294	Moselle	Lorraine	87	116	10												•			1
SOMME							1147	1606	1616	8	10	1	7	2	5	2	1	1	12	14	11	13	2	



Figure 9 : A gauche, photographie du mâle Palu (Site 11 ; Palu est né en 2017 de la femelle Kaja et du mâle Lucky). Au milieu, photographie de la femelle Gaupa (Site 11 ; lâchée le 22/02/2019 dans la forêt du Palatinat). A droite, photographie du mâle Braño (Site 4 ; lâché le 06/06/2019 dans la forêt du Palatinat). Ces trois lynx ont été photographiés dans les Vosges du Nord dans le cadre de la collaboration SOS Faucon Pèlerin Lynx / ONF / DDT57 / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.



Figure 10 : A gauche, photographie du mâle Arcos le 22/03/2019 dans les Hautes-Vosges (lâché le 07/03/2017 dans la forêt du Palatinat). A droite, photographie du mâle Oslo le 05/12/2019 dans les Vosges du Sud (arrivée probable depuis le Jura). Photographies réalisées en 2019 dans le cadre d'une collaboration OFB / SD68 / Réseau Loup-Lynx / CROC.

Tableau 5 : Informations sur les sites concernés par la pose des pièges photographiques dans le cadre du suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges centrales appelé « LA VANCELLE » d'août 2019 au 31 décembre 2019. Collaboration ONF / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.

Maille CROC	Station de pose	Forêt	Commune	INSEE	Département	Région	Nombre de nuits-pièges Réalisé	Périmètres réglementaires ou d'inventaires concernés	Nombre de zones
								ZNIEFF I Crêtes des hauteurs de la forêt de la Vancelle au col de la Hingrie	
MV0559	Site 1	Forêt domaniale de La Vancelle	Neubois	67317	Bas-Rhin	Alsace	181	•	1
MV0558	Site 2 pose 1	Forêt communale de Breitenau	Breitenau	67062	Bas-Rhin	Alsace	129	•	1
MV0537	Site 3 pose 1	Forêt domaniale de La Vancelle	Breitenau	67062	Bas-Rhin	Alsace	181	•	1
SOMME							491	3	

Tableau 6 : Liste des espèces photographiées et nombre de nuits-sites réalisés au cours du suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges centrales appelé « LA VANCELLE » d'août 2019 au 31 décembre 2019. Collaboration ONF / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.

Maille CROC	Station de pose	Forêt	Commune	INSEE	Département	Région	Nombre de nuits-pièges Réalisé	Photos D'animaux	Espèces photographiées							Nombre d'espèces
									Autres animaux Animal indéterminé	Canidés Renard roux	Oiseaux Pigeon ramier	Ongulés Cerf élaphe Chamois Chevreuil Sanglier				
MV0559	Site 1	Forêt domaniale de La Vancelle	Neubois	67317	Bas-Rhin	Alsace	181	181	•	•	•		•	•	•	5
MV0558	Site 2 pose 1	Forêt communale de Breitenau	Breitenau	67062	Bas-Rhin	Alsace	129	14				•	•	•	•	4
MV0537	Site 3 pose 1	Forêt domaniale de La Vancelle	Breitenau	67062	Bas-Rhin	Alsace	181	167	•					•	•	2
SOMME							491	362	2	1	1	1	2	3	3	

Tableau 7 : Liste des espèces photographiées et nombre de nuits-sites réalisés au cours du suivi du Lynx par piégeage photographique dans les Vosges centrales appelé « PROMONT » d'août 2019 au 31 décembre 2019. Collaboration ONF / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC.

Maille CROC	Station de pose	Forêt	Commune	INSEE	Département	Région	Nombre de nuits-pièges Réalisé	Photos D'animaux	Espèces photographiées								Nombre d'espèces	
									Canidés		Mustélidés	Oiseaux	Ongulés					
								Chien	Renard roux	Blaireau européen	Gobemouche gris	Cerf élaphe	Chevreuil	Mouton	Sanglier	Vache (Highland)		
MV0472	Site 1 pose 1	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	159	179	•	•	•		•	•	•		6	
MV0472	Site 2	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	120	70	•	•			•	•	•		5	
MV0494	Site 3	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	170	112	•	•	•		•	•	•		6	
MV0472	Site 4 pose 1	Forêt communale de Ranrupt (bordure)	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	162	161	•	•	•	•	•	•	•	•	8	
SOMME							611	522	4	4	3	1	3	4	1	4	1	

3.2. Suivi des proies prédatées par les lynx lâchés dans la forêt du Palatinat en Allemagne et qui s'aventurent en France

En parallèle de ces sessions de suivis par piégeage photographique, le CROC apporte un appui technique sur le terrain depuis 2017 à l'équipe de la Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz (SNU) suite à la dispersion voire l'installation dans le Massif des Vosges de certains des lynx lâchés.

Grâce au collier GPS, les données collectées (de manière relativement régulière même s'il peut parfois s'écouler un certain temps, quelques jours à plusieurs semaines, sans recevoir de nouvelles localisations) permettent, entre autres, de réaliser un suivi des proies capturées par les Lynx. En effet, lorsqu'un Lynx revient durant plusieurs jours sur un même lieu précis et que l'on observe un cluster de localisations, cela indique généralement la présence d'une proie qu'il revient consommer. Il est alors parfois possible de se rendre sur le terrain afin d'identifier la proie (espèce, sexe, classe d'âge), tout en veillant à ne pas y aller trop tôt au risque de déranger le prédateur dans son rythme de consommation de la proie.

En 2019, les lynx concernés par ces suivis sont Arcos dans les Hautes-Vosges, Libre dans les Vosges du Nord et les Vosges centrales ainsi que Gaupa et Braño dans les Vosges du Nord (voir **Figure 10**). Le CROC s'est chargé : (1) des échanges avec la SNU sur les données GPS des lynx et les clusters potentiels, (2) de l'élaboration des cartes de terrain et des vérifications nécessaires en lien notamment avec les forêts et les aires protégées, (3) de relayer l'information aux acteurs locaux pour les prospections de terrain (DDT, OFB, Réseau Loup Lynx, ONF, PNR).



Figure 11 : Photographies et localisations dans le Massif des Vosges des lynx dont les proies ont fait l'objet d'un suivi (non exhaustif) en 2019. Le Lynx Libre s'est déplacé dans les Vosges du Nord jusqu'au Vosges centrales pour finalement retourner dans la forêt du Palatinat. Lors de son déplacement des Vosges du Nord aux Vosges centrales, Libre a utilisé la passerelle de Saverne.

Les résultats des prospections conduites depuis 2017 jusqu'au 31 décembre 2019 sont présentés dans la **Figure 11** et la **Figure 12**.

+ Camp militaire de Bitche



Brano (depuis octobre 2019)

5 sorties de terrain (6 clusters visités)
3 chevreuils (poils)



Gaupa (depuis mars 2019)

6 sorties de terrain (6 clusters visités)
4 chevreuils (carcasse, pattes, peau)
1 bichette (carcasse)



Libre (en septembre 2019)

3 sorties de terrain (3 clusters visités)
1 chevreuil (poils)
A faon de Cerf (carcasse)



2

Figure 12 : Résultats des suivis de proies de lynx réalisés dans les Vosges du Nord. Le mâle Libre a également été photographié le 4 novembre 2019 sur une proie de Cerf par un chasseur sur la commune de Lutzelhouse (67). Deux clusters ont également été visités dans le secteur du Donon pour ce lynx sans conduire à la découverte de proies.



Arcos (parcours jusqu'aux Hautes-Vosges, 2017-2019)

17 sorties de terrain (36 clusters visités)
Chevreuils : 9 (+ 3 échantillons de poils en analyse)
Cerfs : 5
Chamois : 4 (+ 1 Réseau Loup Lynx)
Pigeon : 1



Figure 13 : Résultats des suivis de proies de lynx réalisés dans les Hautes-Vosges pour le lynx Arcos depuis 2017.

En 2020, ces suivis des proies des lynx se poursuivent dans le Massif des Vosges.

Documents à consulter

Gimenez O., Gatti S., Duchamp C., **Germain E.**, Laurent A., Zimmermann F. & Marboutin A. (2019) Spatial density estimates of Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the French Jura and Vosges Mountains. *Ecology and Evolution*: 9, 11707–11715. → **Voir ANNEXE 4.**

Réunions de travail pour le suivi du lynx

5 avril 2019 : Réunion pour la mise à disposition de 20 pièges photographiques à l'OFB pour le suivi Loup-Lynx dans le Massif des Vosges (SD67 et SD68).

20 juin 2019 : Réunion de lancement d'un suivi par piégeage photographique du Lynx dans les Vosges du Nord en limite de la forêt du Palatinat en Allemagne dans le cadre d'une collaboration SOS Faucon Pèlerin Lynx / ONF / DDT57 / OFB / Réseau Loup-Lynx / CROC. Mise à disposition de 20 pièges photographiques à l'association SOS Faucon Pèlerin Lynx.

12 août 2019 : Sortie de terrain pour le relevé des pièges photographiques posés dans le cadre du suivi nommé « Lubine » dans les Vosges centrales avec l'ONF. Renouvellement de matériel (piles).

+ 08/01, 07/03, 14/03, 06/05, 27/06, 13/09, 23/10, 14/11, 05/12.

Communications orales

Germain E. 2019. Présentation des travaux du CROC pour l'amélioration de l'état de conservation du Lynx boréal (*Lynx lynx*) dans le Massif des Vosges. Groupes de travail « Suivi du Lynx » et « Coexistence avec les activités humaines » du PNA en faveur du Lynx en France. Les 11 et 12 avril 2020, Besançon (25), France.

Germain E. 2019. Suivi des proies sauvages des lynx de la forêt du Palatinat venant dans le Massif des Vosges : bilan 2017-2019. Réunion annuelle des correspondants du Réseau Loup-Lynx pour les départements de la Moselle, 6 décembre 2019, Saint-Quirin (57). *Communication orale*

+ autres communications couplées avec la présentation du PRA Lynx Massif des Vosges (voir page 13).

Références bibliographiques³

- Assmann C. 2011. Etude de la connectivité des massifs des Vosges et du Jura au niveau de la trame forestière. Master FAGE. Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement. Université de Nancy, 51p.
- Blanc L. 2015. Dynamique des populations d'espèces rares et élusives : Le Lynx Boréal en Europe. Thèse en Biologie des populations et Ecologie, Université de Montpellier 2, UMR CNRS 5175 (Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive), 268p.
- Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, C., Okarma, H., Kaphegyi, T., Kaphegyi-Wallmann, U., & Müller, U. M. 1998. A large carnivore initiative for Europe. The action plan for the conservation of the Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) in Europe. WWF international, Suisse.
- Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, C., Okarma, H., Kaphegyi, T., Kaphegyi-Wallmann, U., & Müller, U. M. 2000. Action Plan for the conservation of the Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) in Europe. Nature and environment 112, 68p.
- Chenesseau D. & Briaudet P.-E. 2016. Destin de lynx, trombinoscope insolite de lynx identifiés par piégeage photographique : Bingo ! Du massif jurassien aux Vosges, il n'y a qu'un pas... de lynx. Actualité. Bulletin Lynx du Réseau, 20 : 9-10.
- Commission permanente du comité de massif & Préfecture de la région Lorraine (2015) Le Schéma Interrégional du Massif des Vosges à l'horizon 2020, un projet de développement durable, une ambition pour le massif, 163p.
- Conseil Régional de Franche-Comté & DREAL de Franche-Comté (2014) Schéma Régional de cohérence écologique - Tome 1 - Diagnostics des enjeux régionaux, interrégionaux et transfrontaliers, 243p.
- Conseil Régional de Lorraine & DREAL de Lorraine (2014) Schéma Régional de Cohérence Ecologique - Volume 1 - Diagnostic et enjeux régionaux, 208p.
- 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 J., 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 J., 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.
- Diot-Labusé C. (2015) Démocratie participative. Guide des outils pour agir. État des lieux et analyses / 3. Fondation Nicolas Hulot pour la Nature et l'Homme (FNH). 59p.
- DREAL Alsace & Conseil Régional d'Alsace (2014) Schéma Régional de Cohérence Ecologique de l'Alsace, rapport environnemental, 156p.
- Germain E. 2014a. Suivi par piégeage photographique du Lynx dans le Massif des Vosges. Session intensive 2014 / Sud de l'autoroute A4 / Février-Mars 2014. Partenariat de recherche CROC & ONCFS (N°DR04-2013-004), 13p.
- Germain E. 2014b. Suivi par piégeage photographique du Lynx dans le massif Vosgien : session intensive 2014. Bulletin Lynx du Réseau, 19: 22-25.
- Germain E., Clasquin M. & Schwoerer M.-L. 2015. Suivi par piégeage photographique du Lynx dans le Massif des Vosges. Session intensive 2015 / Vosges du Nord / Février-Mars 2015. Partenariat de recherche CROC-ONCFS-Réseau Loup-Lynx (N°DR04-2013-004), 15p.
- Germain E., Clasquin M. & Schwoerer M.-L. 2016. Suivi par piégeage photographique du lynx dans le massif des Vosges / Session intensive 2015 dans les Vosges du Nord. Technique et Recherche. Bulletin Lynx du Réseau, 20: 19-22.
- Hemery, A., Doré, A., Basille, M., Bonenfant, C., Gaillard, J. M., Marboutin, E., & Mauz, I. 2013. 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. Poster présenté au colloque

³ Hors documents présentés en annexe de ce rapport ;

- Infrastructures de Transports Terrestres, ECOSystèmes et Paysages (ITTECOP), 26-27 septembre 2013, Valbonne.
- Herrenschmidt, V. 1988. Le lynx : cas de réintroduction d'un superprédateur. Colloque « Réintroduction et soutien de populations d'espèces animales », 6 au 8 décembre 1988, Saint Jean du Gard.
- Herrenschmidt, V. 1990. Le Lynx : un cas de réintroduction de superprédateur. *Le Revue d'Ecologie (La Terre et la Vie)*, Suppl 5: 159-174.
- Herrenschmidt, V., & Léger F. 1987. Le Lynx *Lynx lynx* dans le nord-est de la France. La colonisation du massif jurassien français et la réintroduction de l'espèce dans le massif vosgien. *Ciconia* 2: 131–151.
- Herrenschmidt V. & Vandel J.-M. 1989. Dossier Lynx, commission d'observations, Commissions d'expertise, Formation. Office National de la Chasse, CNERA Petite Faune Sédentaire de Plaine, Section prédation, 69p.
- Herrenschmidt, V., & Vandel J.-M., 1990. Le lynx dans les Vosges, le Jura et les Alpes. Office national de la chasse, 1-4.
- Hurstel A. & Laurent A. 2016a. Rapport de monitoring 2015. Observatoire des Carnivores Sauvages. 32 p.
- Hurstel A. & Laurent A. 2016b. Première preuve de dispersion du Lynx d'Eurasie (*Lynx lynx*) du Jura vers les Vosges. *Ciconia*, 40: 1-6.
- Kaczensky P., Chapron G., von Arx M., Huber D., Andrén H. & Linnell J. (eds). 2012. Status, management and distribution of large carnivores - bear, lynx, wolf & wolverine - in Europe. Part 1 and 2. Report to the EU Commission, 72p.
- Kramer Schadt, S., Revilla, E., Wiegand, T., & Breitenmoser, U. 2004. Fragmented landscapes, road mortality and patch connectivity: Modelling influences on the dispersal of Eurasian lynx. *Journal of Applied Ecology*, 41, 711–723.
- Kurtz C. 2015. Le projet de réintroduction du lynx dans le Palatinat allemand. *La Gazette des grands prédateurs*, 55: 26-28.
- L'équipe animatrice du Réseau. 2014. Bilan national d'évolution de l'aire de présence détectée du Lynx. Les données du Réseau. *Bulletin Lynx du Réseau*, 19: 26-27.
- Laurent A., Léger F., Briaudet P.-E., Léonard Y., Bataille A. & Goujon G. 2012. Evolution récente (2008-2010) de la population de Lynx en France. *Faune Sauvage*, 294: 38-39.
- Marboutin E. 2013. Note sur le statut du Lynx dans les Vosges. *Bulletin Lynx du Réseau*, 18: 14-17.
- Marboutin E., Duchamp C., Moris P., Briaudet P.-E., Léger F., Laurent A., Léonard Y. & Catusse M. 2011. Le suivi du statut de conservation de la population de lynx en France : bilan pour la période triennale 2008-2010. *Bulletin Lynx du Réseau*, 17: 24-29.
- Marc M. 2015. Le Lynx dans le massif des Vosges : propositions d'actions en faveur de l'habitat, des connectivités écologique et sociologique. Rapport de fin d'études, CROC, Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores, Lucy, France, 39p.
- Morand A. 2016. Le Lynx : risques routiers et mesures correctrices – état des lieux et recommandations. Cerema Direction Territoriale Est, 93p.
- PNR Vosges du Nord (2013) Charte du Parc naturel régional des Vosges du Nord. Projet de Territoire Horizon 2025. Avis final, 140p.
- Savouré-Soubelet A. & Meyer S. (2018) Liste hiérarchisée d'espèce pour la conservation en France. Espèces prioritaires pour l'action publique. V2. Mise à jour 2017. UMS 2016 PatriNat. 21p.
- Scheid, C. (2018) Projet de réintroduction de Lynx dans la forêt du Palatinat - Actualités. Réunion annuelle 2018 des correspondants grands prédateurs (loup-lynx) pour les départements du Bas-Rhin et de la Moselle, le 10 décembre 2018, La Petite-Pierre.
- Schworerer M.-L. & Scheid C. 2016. Le projet « Life Lynx » de réintroduction du félin sur le palatinat Allemand entre dans sa phase opérationnelle. *Bulletin Lynx du Réseau*, 20: 2.
- Stahl, P., & Vandel J.-M., 1998. Le lynx boréal *Lynx lynx* (Linné, 1758). *Encyclopédie des carnivores de France* n° 19. Société française pour l'étude et la protection des mammifères, Paris (Muséum national d'histoire naturelle, 57 rue Cuvier, 75231).
- Stahl, P., Vandel J.-M., & Migot P. 2000. La réintroduction du lynx sur le massif vosgien. *Le courrier de la nature* 25–27.
- Stiftung KORA 2020. KORA Jahresbericht 2019. KORA Bericht Nr. 90. Juin 2020. 24p.
- 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.
- Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz 2016. Höfken: Die ersten Luchse sind frei! Heute wurden die ersten

3 von insgesamt Heute wurden die ersten 3 von insgesamt 20 Luchsen im Pfälzerwald freigelassen. Mainz, 27.07.2016. Presse mitteilung, 3p.

Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz 2017. Arcos est en France. Le lynx suisse a pris une orientation vers le sud et a désormais passé la frontière française. Mayence, le 28.03.2017 Presse mitteilung, 2p.

Vandel, J.-M. 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.

Vandel J.-M., Stahl P., Herrenscheidt V. & Marboutin E. 2006. Reintroduction of the lynx into the Vosges mountain massif: From animal survival and movements to population development. *Biological conservation*, 131: 370-385.

Zimmermann F. & Breitenmoser U. 2007. Potential distribution and population size of the Eurasian lynx *Lynx lynx* in the Jura Mountains and possible corridors to adjacent ranges. *Wildlife Biology*, 13: 406-416.

Zimmermann, F., Breitenmoser Wursten, C., & Breitenmoser, U. 2005. Natal dispersal of Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in Switzerland. *Journal of Zoology*, 267, 381–395.

Annexes

ANNEXE 1 : Avis du CSRPN Grand Est sur le Plan Régional d'Actions en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges suite à la séance plénière du 20 décembre 2019 à Metz (57).



Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel du Grand Est

Avis n° 2019 – 51		
Séance plénière du 20 décembre 2019 Présidence : Serge Muller	Objet : Plan régional d'actions en faveur du Lynx boréal dans le massif des Vosges	Vote : Favorable

Contexte

Le Lynx boréal (*Lynx lynx*) est l'une des trois espèces de grands carnivores présentes en France. Ses exigences écologiques sont relativement fortes au regard de ses besoins en termes d'habitat, dont l'élément prédominant est la forêt, et de ressource alimentaire. Le Lynx se nourrit principalement d'ongulés sauvages (chevreuils, chamois) bien qu'il puisse parfois consommer des proies domestiques (moutons, chèvres). Ce régime alimentaire est à l'origine de conflits avec deux catégories d'acteurs, les chasseurs et les éleveurs, pour lesquels la coexistence avec le félin peut être difficile. Par ailleurs, le Lynx est un mauvais colonisateur. À ce titre, la connectivité fonctionnelle est un élément clé aussi bien pour les besoins journaliers des lynx dans leurs domaines vitaux que pour l'expansion des populations, le mixage génétique et, dans le cas du Massif des Vosges, la viabilité d'une métapopulation ouest-européenne de lynx (Jura, Vosges, Palatinat, Forêt-Noire).

Aujourd'hui, l'état de conservation du Lynx dans le Massif des Vosges est critique. L'espèce, pourtant protégée par différents textes de lois au niveau national et européen, est au bord de l'extinction. C'est dans ce contexte que le CROC a initié en 2016 la rédaction du Programme Lynx Massif des Vosges (PLMV) afin de rétablir l'état de conservation du Lynx dans le massif grâce à l'identification et la mise en œuvre d'actions. Ce travail a été réalisé dans une démarche concertée et partagée avec les acteurs du territoire.

La rédaction du PLMV a débuté officiellement fin 2016, avant l'inscription du Lynx sur la liste des espèces prioritaires pour les politiques publiques en France (2017) et le lancement de la rédaction de deux plans nationaux d'actions : le Plan national pour la conservation du Lynx boréal (SFEPM/WWF France) et le PNA Lynx (MTES/DREAL Bourgogne-Franche-Comté/ONCFS). Dans ce contexte, un rapprochement entre les trois initiatives pour leur mise en cohérence a conduit à la reconnaissance des actions du PLMV pour le rétablissement de la conservation du Lynx dans le Massif des Vosges, jusqu'à devenir la Déclinaison régionale du PNA Lynx « Massif des Vosges ».

Enfin, après trois années de travail, la rédaction du PRA a permis l'identification des besoins de conservation du Lynx dans le Massif des Vosges et la définition d'une stratégie à long terme restituée dans 18 fiches actions répondant à cinq enjeux cruciaux (coexistence avec les activités humaines, restauration de la connectivité écologique, réduction de la mortalité d'origine anthropique, consolidation des suivis et des coopérations, sensibilisation et communication).

À partir de 2020 et pour une période de 10 ans avec un bilan à mi-parcours (2024), le PRA sera placé sous la responsabilité de l'État qui en assurera le pilotage et en délèguera l'animation à une structure locale. Sa réussite s'appuiera sur l'engagement des acteurs du territoire et sur la poursuite de la démarche participative initiée lors de sa rédaction.

Questions au CSRPN

Il est demandé au CSRPN de se prononcer sur la pertinence du plan régional d'actions en faveur du Lynx boréal dans les Vosges pour rétablir l'état de conservation de l'espèce.

Supports de réflexion

Charbonnel A., Germain E., coordination, 2019, Plan régional d'actions en faveur du Lynx boréal (*Lynx lynx*) dans le massif des Vosges : rétablir l'état de conservation du lynx dans le cadre d'une démarche participative, concertée et partagée avec les acteurs du territoire, Centre de Recherches et d'Observation sur les Carnivores (CROC), Lucy (57), 254 p.

Présentation en séance d'Estelle Germain, directrice du Centre de Recherches et d'Observation sur les Carnivores (CROC)

Rapports de Matthieu Gaillard et François Guérol, membres du CSRPN

Analyse

La rédaction de la déclinaison régionale du PNA Lynx intitulé « Plan Régional d'Actions en faveur du Lynx boréal dans le massif des Vosges » a été confiée au Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores (CROC). Le document de 255 pages est très dense en informations.

La première partie du document est consacrée à un état des connaissances sur l'espèce. Cette partie bibliographique est très riche et remarquablement rédigée. Il s'agit là d'un état des lieux sans précédent et certainement quasi exhaustif qui mériterait à lui seul une publication. Cet état des lieux aborde tour à tour les différents aspects de l'écologie de l'espèce et de ses populations, sa distribution à différentes échelles spatiales, sa place et son rôle dans les écosystèmes, son éco-éthologie et bien évidemment la coexistence avec les activités humaines. Bien que cette partie fasse 130 pages, elle représente un outil indispensable à la définition et à la compréhension des différentes actions proposées par la suite.

Après avoir brièvement présenté le massif des Vosges puis les besoins et enjeux de conservation, la mise en œuvre du PRA est présentée et détaillée dans une dernière partie.

Après s'être maintenu suite aux lâchés effectués dans les années 80, le Lynx est désormais en danger critique dans le massif vosgien. La population issue des relâchés des années 80 a *a priori* aujourd'hui disparu et les quelques individus actuellement présents ont récemment colonisé le massif. La colonisation du massif par le nord à partir du Palatinat (programme de lâchés actuellement en cours) ou par le sud à partir du Jura est possible mais la connectivité entre les massifs (Jura-Vosges-Palatinat) est loin d'être optimale. Cependant, que le retour du Lynx dans les Vosges s'opère naturellement ou à partir d'une éventuelle opération de renforcement, il apparaît clairement que le contexte socio-économique n'y est pas préparé et que la coexistence avec les éleveurs et les chasseurs demeure un sujet sensible.

Le plan fait assez clairement ressortir que le Massif vosgien constitue un habitat de bonne qualité (milieux très favorables et proies sauvages abondantes) pour le Lynx et que sa présence durable est essentiellement liée à deux facteurs : son acceptation locale et les connectivités avec les autres noyaux de la population ouest-européenne.

C'est donc logiquement que ce plan d'action s'articule autour de 4 axes et 5 enjeux relatifs à la facilitation de la coexistence avec la chasse et l'élevage, la réduction de la mortalité d'origine anthropique, l'habitat et la restauration de la connectivité écologique, la consolidation et l'optimisation du suivi et de la conservation du lynx, les représentations, la diffusion des connaissances et la sensibilisation sur les enjeux.

18 actions sont proposées.

Chaque fiche action est solidement construite, informative et présentée avec un même format. La priorité, les axes auxquels elle se rapporte, le contexte, les objectifs, la description de l'action, les indicateurs de suivi et d'évaluation, les liens avec les autres actions, etc., sont clairement indiqués.

10 actions sont prioritaires de niveau 1, 7 de niveau 2 et 1 de niveau 3.

En séance, quelques questions ont été posées sur la pertinence de regrouper certaines actions, par exemple l'Action n° 1 « Prendre en compte la présence du Lynx dans l'activité de chasse » et l'Action n° 4 « Communiquer avec le monde de la chasse » ou l'Action n° 2 « Soutenir l'élevage pour faciliter la coexistence avec le Lynx » et l'Action n° 5 « Communiquer avec les éleveurs ». Mais la définition de chacune de ces actions est issue des groupes de travail, souvent après de longs échanges et de multiples versions et il apparaît difficile de modifier ces fiches actions sur leur formalisme.

Les rapporteurs font remarquer qu'aucune action ne prévoit un renforcement de la population vosgienne (qui se compose, à la date de finalisation du document, de trois mâles adultes). Le PRA ne prévoit pas cette action mais l'Action 11 « Étudier l'avenir du lynx dans le Massif des Vosges » devra permettre, en fonction de l'évolution de la population vosgienne, notamment suite au programme en cours dans le Palatinat (et dont deux des individus actuellement présents dans les Vosges sont issus) d'envisager toutes les solutions pour « identifier les solutions/mesures (renforcement de la population, amélioration des connectivités intra et inter-massifs, etc.), les plus adéquates pour optimiser/garantir la pérennité du Lynx dans le Massif des Vosges ».

Avis du CSRPN

Le CSRPN émet un avis favorable au Plan régional d'actions 2020-2029 en faveur du Lynx boréal dans le massif des Vosges. La mise en œuvre de ce plan devrait permettre l'acceptation de la présence de l'espèce par l'ensemble des acteurs socio-économiques et améliorer la connectivité des populations avec celles du Jura d'une part et celles du Palatinat d'autre part.

Recommandations

Le CSRPN souhaite, qu'à terme, les avancées pour l'acceptation du Lynx puissent se traduire par l'étude d'un éventuel renforcement de la population du Massif vosgien, dans l'hypothèse où celle-ci ne se restaurerait pas spontanément suite aux différentes actions réalisées.

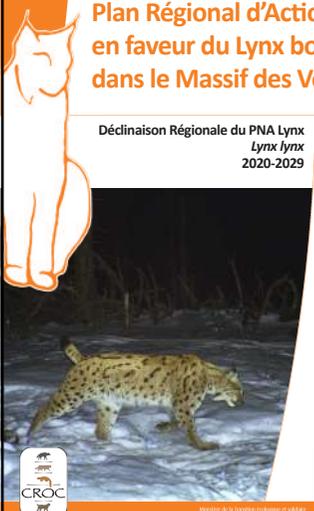
Fait le 13-1-2020



Le président du CSRPN
Serge Muller

ANNEXE 2 : Germain E. et Charbonnel A. 2019. Le Plan Régional d'Actions en faveur du Lynx dans le Massif des Vosges. Déclinaison Régionale du PNA Lynx. Avis consultatif du CSRPN Grand Est. Séance plénière du 20 décembre 2019. Conseil Régional – Hôtel de Région, Metz (57).

Plan Régional d'Actions en faveur du Lynx boréal dans le Massif des Vosges



Déclinaison Régionale du PNA Lynx
Lynx lynx
2020-2029

CSRPN Grand Est

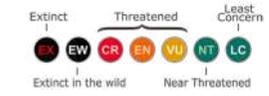
Séance plénière
Vendredi 20 décembre 2019
Metz (57)

Avis consultatif

Estelle GERMAIN
CROC / Chargée de recherche / Animatrice du PRA Lynx « Massif des Vosges »




Statut de protection



Extinct
Extinct in the wild
Threatened
Near Threatened
Least Concern



Catégorie Liste rouge mondiale : LC
Catégorie Liste rouge Européenne : LC
Catégorie Liste rouge France : EN
Population Vosges-Palatinat : CR





Espèce protégée Arrêté du 23 avril 2007 (modifié le 15/09/2012)
Espèce protégée menacée d'extinction Arrêté du 9 juillet 1999 (modifié le 27/05/2009)
Liste des espèces prioritaires pour les politiques publiques (depuis 2017)
Plan National d'Actions (rédaction lancée en 2018)
 → Plan national pour la conservation du lynx boréal / WWF France, SFEPM / 2019
 → PNA Lynx « Etat » / DREAL Bourgogne-Franche-Comté, ONCFS / 2020

Directive Habitats Faune-Flore modifiée : Annexes II et IV (V)
Convention de Berne : Annexe III

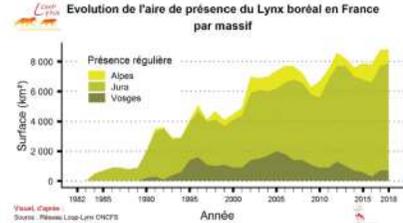
Convention de Washington : Annexe II
Règlement communautaire CITES : Annexe A



© CROC 2019

Le Lynx dans le Massif des Vosges

- Disparition au cours du 17^{ème} siècle
- Programme de réintroduction 1983-1993
- Aire de présence régulière la baisse depuis 2005
- ≈ 400 km² en 2018
- **En danger critique d'extinction**



Evolution de l'aire de présence du Lynx boréal en France par massif

Présence régulière
Alpes
Jura
Vosges

Surface (km²)

Année

Source : CROC
Sources : Réseau Lynx ONCFS
Travaux : SAC2, novembre 2018



© Graven-establ. de L'Imprimerie palatine 1871



© Jean Lenoir
Bouc, avant son relâcher dans les Vosges en 1983. Photo Jean Leveigne, paru dans la Gazette des grands prédateurs n° 2



© Jean Kitzinger

3

Sources : Marboutin (2013) ; Cheneraou & Braudet (2016) ; Hurstel & Laurent (2016) ; Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz (2017) ; L'équipe animatrice du Réseau Loup-Lynx 2019

Le Lynx dans le Massif des Vosges

Massif des Vosges : noyau au positionnement stratégique pour la connectivité des populations de lynx d'Europe occidentale



Lynx boréal 2018
Présence Maille 10km

Présence
Régulière
Occasionnelle

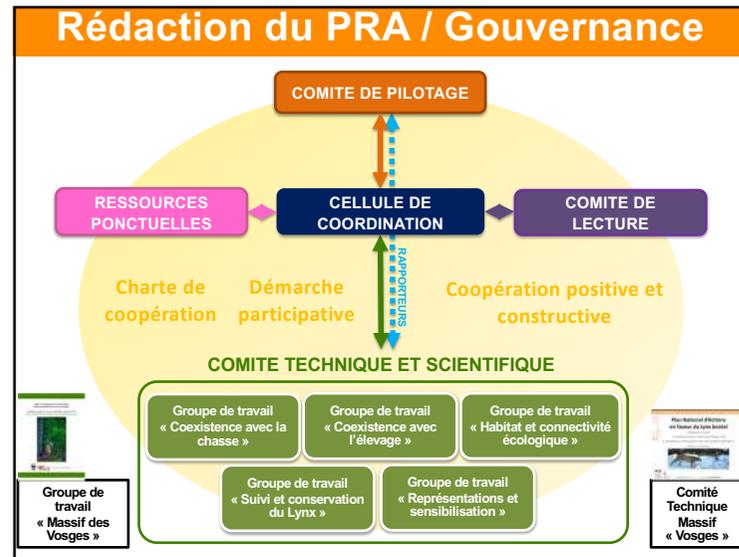
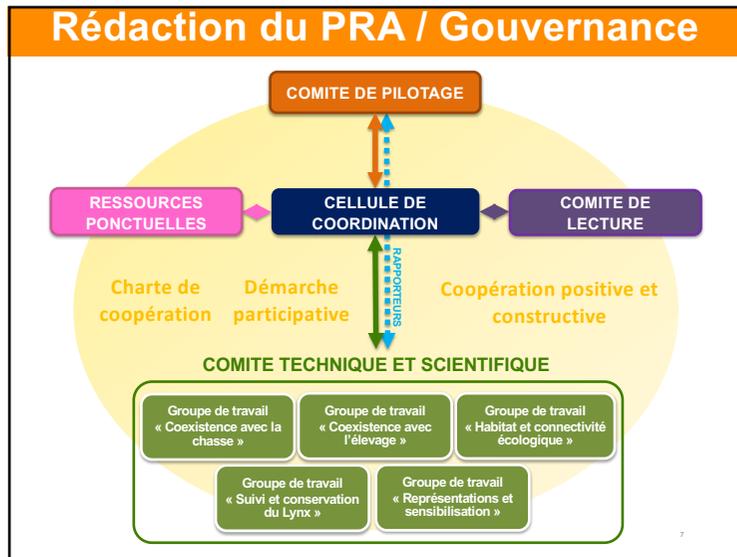
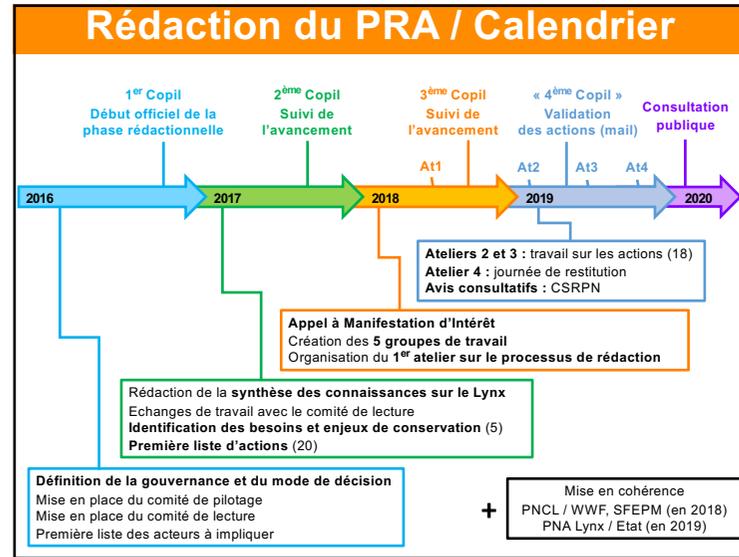
10km Grilles :
Projet du Réseau - Réseau Europe pré 1993/95
Données : ONCFS, novembre 2018
Projet : 0004241 - 11/01/2019

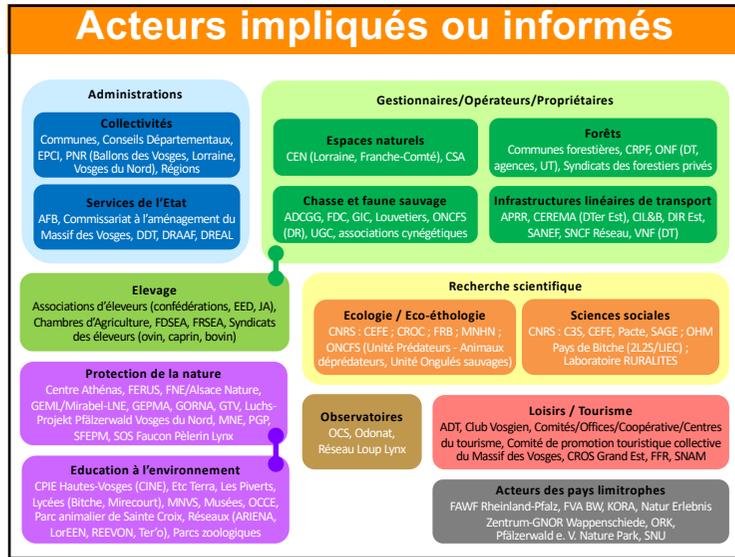


Métapopulation du Rhin Supérieur : Jura / Vosges / Palatinat / Forêt-Noire

4

Sources : Marboutin (2013) ; Cheneraou & Braudet (2016) ; Hurstel & Laurent (2016) ; Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz (2017) ; L'équipe animatrice du Réseau Loup-Lynx 2019





Ateliers 1 <small>Jun 2018</small>	Ateliers 2 <small>Janvier - Février 2019</small>	Ateliers 3 <small>Avril 2019</small>
Présentation du PLMV	Validation de la charte	Rédaction des actions (avancement)
Validation du processus	Discussion, modification et validation de la liste des actions	1 ^{er} rapprochement PNA
Premiers échanges		
 <small>© CROC 2018</small>	 <small>© CROC 2019</small>	 <small>© CROC 2019</small>
 <small>© CROC 2018</small>	 <small>© CROC 2019</small>	 <small>© CROC 2019</small>


© CROC 2019


© CROC 2019


© CROC 2019


© CROC 2019


© CROC 2019

Ateliers 2

Janvier - Février 2019



Journée de restitution avec les cinq groupes de travail et le Copil


© CROC 2019

© CROC 2019

Le jeudi 21 novembre 2019 à Saint-Dié-des-Vosges.

Le PRA Lynx « Massif des Vosges »

Aire géographique

L'objectif du PRA est de rétablir l'état de conservation du Lynx dans le Massif des Vosges (entité géographique).

Afin de répondre aux besoins et enjeux de conservation du Lynx dans le massif, les actions pourront être conduites au sein d'un périmètre plus large (périmètre d'action).



Le PRA Lynx « Massif des Vosges »

Enjeux par ordre de priorité

- ✓ **Enjeu 1 :** Faciliter la coexistence avec les activités humaines (chasse, élevage)
- ✓ **Enjeu 2 :** Restaurer la connectivité écologique entre massifs (Jura / Vosges / Palatinat / Forêt-Noire) et maintenir un habitat favorable au sein du Massif des Vosges
- ✓ **Enjeu 3 :** Réduire la mortalité d'origine anthropique : collisions et destructions illégales
- ✓ **Enjeu 4 :** Consolider le réseau d'observateurs et développer des coopérations (régionales et transfrontalières) pour un meilleur suivi et une meilleure protection du Lynx
- ✓ **Enjeu 5 :** Diffuser les connaissances sur le Lynx et sensibiliser sur les enjeux liés à sa conservation



Le PRA Lynx « Massif des Vosges »

18 actions à mettre en œuvre

Axe de travail	Domaine	N° action
Axe 1	P/G	1
		2
		3
	C	4
		5
Axe 2	E	6
		7
	C	8
9		
Axe 3	E	10
		11
	P/G	12
		13
Axe 4	E	14
		15
	C	16
		17
C	18	

Axe 1 : Coexistence avec les activités humaines (chasse et élevage)

Axe 2 : Habitat et connectivité écologique

Axe 3 : Suivi et conservation du Lynx

Axe 4 : Représentations et sensibilisation

E	Etudes
P/G	Protection et gestion
C	Communication

15

Le PRA Lynx « Massif des Vosges »

18 actions à mettre en œuvre

Axe de travail	Domaine	N° action	Titre de l'action
Axe 1	P/G	1	Prendre en compte la présence du Lynx dans l'activité de chasse
		2	Soutenir l'élevage pour faciliter la coexistence avec le Lynx
		3	Lutter contre la destruction illégale de lynx
	C	4	Communiquer avec le monde de la chasse
		5	Communiquer avec les éleveurs

16

Action n°1 Prendre en compte la présence du Lynx dans l'activité de chasse				
Axe	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
Domaine	Etude		Protection et gestion	Communication
Zones	Sept départements du Massif des Vosges			
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> Permettre la prise en compte du Lynx dans l'activité de chasse ; Clarifier le positionnement des organismes représentant le monde de la chasse vis-à-vis de la présence du Lynx et sa conservation ; Atténuer les conflits avec le monde de la chasse ; Aller vers une meilleure acceptation de la présence du Lynx ; Aller vers une meilleure coexistence avec le monde de la chasse ; Aller vers l'implication du monde de la chasse dans la conservation du Lynx ; 			
Description	A) Créer un groupe de travail pour conduire une réflexion concernant : <ul style="list-style-type: none"> La prise en compte de la présence du Lynx dans l'attribution des plans de chasse et la réalisation des minima La prise en compte de la présence du Lynx dans la location des baux de chasse Les possibilités de gestion de la population Le dérangement potentiel du Lynx par l'activité de chasse (pendant les périodes du rut et d'élevage des jeunes) → Aboutir à des propositions réalistes et acceptables par tous dans le cadre des mesures réglementaires et de leurs limites.		Pilotage au niveau du massif par la DDT57 (FDC57) et la DDT88 (FDC88) en lien avec les 5 autres DDT (FDC quand la gestion des plans de chasse sera déléguée aux FDC)	
	B) Proposer d'intégrer le Lynx dans les Schémas Départementaux de Gestion Cynégétique (espèce faisant partie de la faune locale, espèce protégée et menacée d'extinction en France)		Pilotage au niveau du massif par la FDC 88 avec l'appui des six autres FDC	
	C) Rédiger un mémorandum « Massif des Vosges »			

Action n°2 Soutenir l'élevage pour faciliter la coexistence avec le Lynx				
Axe	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
Domaine	Etude		Protection et gestion	Communication
Zones	Sept départements du Massif des Vosges			
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> Poursuivre et améliorer l'accompagnement des éleveurs dans les démarches, les procédures d'indemnisation et les mesures de protection des troupeaux ; Atténuer les conflits avec les activités d'élevage ; Aller vers une meilleure coexistence avec les activités d'élevage ; 			
Description	A) En cas d'attaque(s) sur troupeaux, instruire les procédures de mobilisation des crédits d'urgence (mesures de protection) et d'indemnisation de prédation dans les meilleurs délais		Pilotage départemental par les sept DDT en lien avec la DRAAF GE, les chambres d'agriculture	
	B) Conduire une réflexion concernant : <ul style="list-style-type: none"> La prise en charge technique, matériel, humaine (temps de travail et savoir-faire) et financière de l'installation des mesures de protection en prenant en considération le modèle d'élevage et son environnement L'identification des parcelles vulnérables et la hiérarchisation des possibilités de leur protection (définir un gradient de protection à l'échelle de la parcelle : protégeable à non protégeable) Les mesures de protection adaptées selon le mode de conduite de l'élevage et son environnement (...) 		Pilotage au niveau du massif par la Chambre d'agriculture régionale GE (à confirmer)	
	C) Mettre en place des cellules d'action dédiées à l'accompagnement des éleveurs (en prévention et en cas d'attaques)			
	D) Soutenir l'action de médiation élevage - Lynx sur le territoire des PNR des Vosges du Nord et des Ballons des Vosges (prévention en lien avec 2C)		Pilotage au niveau du massif par le PNR BV	

Le PRA Lynx « Massif des Vosges »

18 actions à mettre en œuvre

Axe de travail	Domaine	N° action	Titre de l'action
Axe 1	P/G	1	Prendre en compte la présence du Lynx dans l'activité de chasse
		2	Soutenir l'élevage pour faciliter la coexistence avec le Lynx
		3	Lutter contre la destruction illégale de lynx
	C	4	Communiquer avec le monde de la chasse
		5	Communiquer avec les éleveurs
Axe 2	E	6	Affiner les connaissances sur l'habitat, les corridors et les obstacles aux déplacements du Lynx
	P/G	7	Maintenir, restaurer les zones d'habitat favorable et les corridors
	C	8	Faciliter le franchissement des infrastructures linéaires de transport et réduire la mortalité
	C	9	Communiquer sur l'habitat du Lynx avec les gestionnaires, les aménageurs et les décideurs

Action n°8 Faciliter le franchissement des infrastructures linéaires de transport et réduire la mortalité				
Axe	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
Domaine	Etude		Protection et gestion	Communication
Zones	Sept départements du Massif des Vosges Département du Doubs Coopération transfrontalière et inter-massifs (Palatinat, Vosges, Jura et Forêt-Noire)			
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> Améliorer la transparence écologique ; Améliorer la franchissabilité des ILT pour le Lynx ; Faciliter ses déplacements au sein du Massif des Vosges et vers les massifs voisins ; Réduire les risques de mortalité ; S'assurer de la prise en compte du Lynx dans les politiques publiques liées aux ILT afin de répondre à ses besoins optimaux ; 			
Description	A) Rétablir de manière prioritaire la connectivité au niveau du Col de Saverne Une (des) étude(s) visant à définir et localiser précisément les mesures constructives et d'accompagnement les plus adaptées au rétablissement de la continuité écologique au regard des enjeux, des difficultés locales d'insertion, des modalités et contraintes techniques de construction et des coûts.		Pilotage au niveau du massif par la DREAL GE et la Sanef en lien avec le Cerema, le PNR VN, l'OFB (ex ONCFS), la Région GE et le CROC	
	B) Mettre en place des mesures et agir sur les points noirs pour réduire le risque de mortalité et faciliter le déplacement des lynx Créer un groupe d'experts ; Travailler sur les mesures de réduction des collisions à destination des usagers et sur les mesures de réduction des collisions à destination des lynx ; Faire des propositions concrètes en adéquation avec la réalité de terrain et mettre en place ces mesures.		Pilotage au niveau du massif par la DREAL GE et le Cerema en lien avec les gestionnaires d'infrastructures	
	C) Évaluer et renforcer la prise en compte du Lynx dans les politiques publiques liées aux infrastructures de transport		Pilotage au niveau du massif par la DREAL GE et la Région GE	

Le PRA Lynx « Massif des Vosges »

18 actions à mettre en œuvre

Axe de travail	Domaine	N° action	Titre de l'action
Axe 1	P/G	1	Prendre en compte la présence du Lynx dans l'activité de chasse
		2	Soutenir l'élevage pour faciliter la coexistence avec le Lynx
	C	3	Lutter contre la destruction illégale de lynx
		4	Communiquer avec le monde de la chasse
		5	Communiquer avec les éleveurs
Axe 2	E	6	Affiner les connaissances sur l'habitat, les corridors et les obstacles aux déplacements du Lynx
		7	Maintenir, restaurer les zones d'habitat favorable et les corridors
	P/G	8	Faciliter le franchissement des infrastructures linéaires de transport et réduire la mortalité
		9	Communiquer sur l'habitat du Lynx avec les gestionnaires, les aménageurs et les décideurs
Axe 3	E	10	Suivre l'évolution de la répartition du Lynx avec des méthodes adaptées au noyau vosgien
		11	Étudier l'avenir du Lynx dans le Massif des Vosges
	P/G	12	Renforcer la coopération régionale/transfrontalière et dynamiser le réseau de suivi existant
		13	Prendre en charge les lynx orphelins et les lynx blessés

21

Action n°11	Étudier l'avenir du lynx dans le Massif des Vosges				1	2	3
Axe	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4			
Domaine	Etude		Protection et gestion	Communication			
Zones	Sept départements du Massif des Vosges Coopération transfrontalière et inter-massifs (Vosges-Jura-Palatinat-Forêt Noire)						
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> Synthétiser les connaissances actuelles sur l'histoire du Lynx dans le Massif des Vosges et l'évaluation de l'état de conservation du noyau vosgien ; Analyser la viabilité du noyau vosgien selon différents scénarios ; Éclairer et préciser l'avenir de ce noyau sur le long terme ; Formuler des recommandations et les mettre en œuvre ; 						
Description	<p>A) Mettre en place un groupe de travail sur l'avenir du Lynx dans le Massif des Vosges</p> <p>Groupe de travail d'une vingtaine de scientifiques aux profils variés (écologie, sciences sociales, etc.) pour identifier les solutions/mesures (renforcement de la population, amélioration des connectivités intra et inter-massifs, etc.), les plus adéquates pour optimiser/garantir la pérennité du Lynx dans le Massif des Vosges.</p> <p>B) Partager les conclusions du groupe de travail (11A) et mettre en œuvre les recommandations/mesures retenues par les acteurs du territoire</p> <ul style="list-style-type: none"> Proposer des recommandations pour optimiser ou garantir la pérennité du Lynx dans le Massif des Vosges. Ouvrir le groupe de travail scientifique à d'autres acteurs pour porter à connaissance ces résultats et recommandations. Discuter et mettre en œuvre ces recommandations en concertation avec les acteurs du territoire. 				<p>Pilotage au niveau du massif par le CEFE, le CROC et l'OFB (ex ONCFS)</p>		

Le PRA Lynx « Massif des Vosges »

18 actions à mettre en œuvre

Axe de travail	Domaine	N° action	Titre de l'action
Axe 1	P/G	1	Prendre en compte la présence du Lynx dans l'activité de chasse
		2	Soutenir l'élevage pour faciliter la coexistence avec le Lynx
	C	3	Lutter contre la destruction illégale de lynx
		4	Communiquer avec le monde de la chasse
		5	Communiquer avec les éleveurs
Axe 2	E	6	Affiner les connaissances sur l'habitat, les corridors et les obstacles aux déplacements du Lynx
		7	Maintenir, restaurer les zones d'habitat favorable et les corridors
	P/G	8	Faciliter le franchissement des infrastructures linéaires de transport et réduire la mortalité
		9	Communiquer sur l'habitat du Lynx avec les gestionnaires, les aménageurs et les décideurs
Axe 3	E	10	Suivre l'évolution de la répartition du Lynx avec des méthodes adaptées au noyau vosgien
		11	Étudier l'avenir du Lynx dans le Massif des Vosges
	P/G	12	Renforcer la coopération régionale/transfrontalière et dynamiser le réseau de suivi existant
		13	Prendre en charge les lynx orphelins et les lynx blessés
Axe 4	E	14	Recenser, compléter et évaluer les études sur les représentations
		15	Renforcer les dispositifs de sensibilisation et de communication autour du Lynx
	C	16	Valoriser l'image du Lynx et renforcer son acceptation grâce au développement local
		17	Poursuivre et généraliser la concertation avec les acteurs du territoire

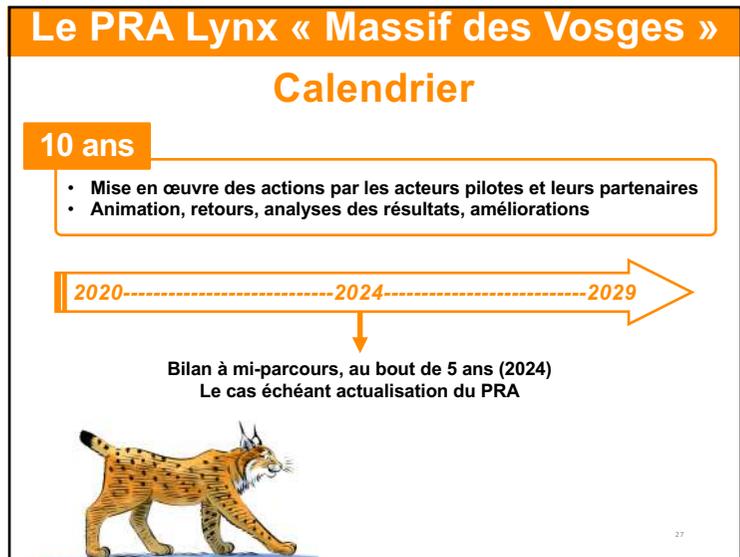
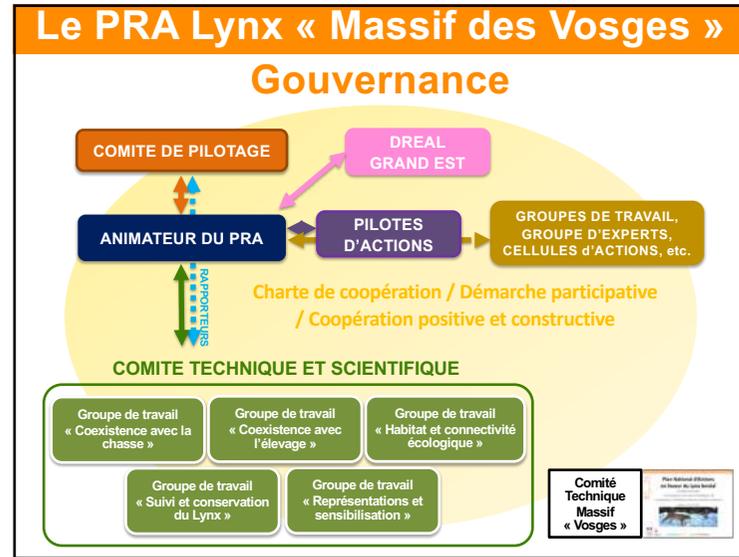
23

Action n°17	Poursuivre et généraliser la concertation avec les acteurs du territoire				1	2	3
Axe	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4			
Domaine	Etude		Protection et gestion	Communication			
Zones	Sept départements du Massif des Vosges Coopération transfrontalière (Vosges du Nord-Palatinat)						
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> Poursuivre la mise en place de projets de concertation avec l'ensemble des acteurs du territoire ; Améliorer l'acceptation de la présence du Lynx ; Améliorer la coexistence avec les activités humaines ; 						
Description	<p>A) Poursuivre le Parlement du Lynx dans les Vosges du Nord (deuxième phase du Parlement)</p> <ul style="list-style-type: none"> Réunir annuellement les membres du Parlement du Lynx afin de faire un bilan de l'avancement des engagements pris par les différents acteurs dans le Livre blanc de 2016. Poursuivre les échanges entre le Parlement du Lynx et le Parlement transfrontalier. <p>B) Mettre en place un processus participatif dans le PNR des Ballons des Vosges pour aboutir à la rédaction d'un Livre blanc (s'appuyer sur le Parlement du Lynx)</p> <ul style="list-style-type: none"> S'inspirer de la démarche du « Parlement du Lynx » mise en place dans les Vosges du Nord. Faire appel à des facilitateurs/médiateurs professionnels pour animer le processus de concertation. <p>C) Conduire d'autres actions de concertation dans le massif en associant les différents groupes d'intérêts</p>				<p>Pilotage dans les Vosges du Nord par le PNR VN</p> <p>Pilotage dans les Hautes-Vosges par le PNR BV</p> <p>Pilotage au niveau du massif par le PNR VN et le PNR BV</p>		

Le PRA Lynx « Massif des Vosges »

18 actions à mettre en œuvre

Axe de travail	Domaine	N° action	Titre de l'action
Axe 1	PIG	1	Prendre en compte la présence du Lynx dans l'activité de chasse
		2	Soutenir l'élevage pour faciliter la coexistence avec le Lynx
	C	3	Lutter contre la destruction illégale de lynx
		4	Communiquer avec le monde de la chasse
		5	Communiquer avec les éleveurs
Axe 2	E	6	Affiner les connaissances sur l'habitat, les corridors et les obstacles aux déplacements du Lynx
		7	Maintenir, restaurer les zones d'habitat favorable et les corridors
	PIG	8	Faciliter le franchissement des infrastructures linéaires de transport et réduire la mortalité
		9	Communiquer sur l'habitat du Lynx avec les gestionnaires, les aménageurs et les décideurs
Axe 3	E	10	Suivre l'évolution de la répartition du Lynx avec des méthodes adaptées au noyau vosgien
		11	Étudier l'avenir du Lynx dans le Massif des Vosges
	PIG	12	Renforcer la coopération régionale/transfrontalière et dynamiser le réseau de suivi existant
		13	Prendre en charge les lynx orphelins et les lynx blessés
Axe 4	E	14	Recenser, compléter et évaluer les études sur les représentations
		15	Renforcer les dispositifs de sensibilisation et de communication autour du Lynx
	C	16	Valoriser l'image du Lynx et renforcer son acceptation grâce au développement local
		17	Poursuivre et généraliser la concertation avec les acteurs du territoire
C	18	Coordonner et mettre en œuvre le PRA Lynx Massif des Vosges	



ANNEXE 3 : Souillot D. 2019. 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. Rapport de stage de Master 2. Université de Perpignan Via Domitia, Master Biodiversité, Écologie, Évolution Parcours « Biodiversité et Développement Durable », 48p.

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'Étude 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^{er} 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^{ème} 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^{ème} et le 20^{ème} 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 km² 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 km² 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 km² et les mâles 760 km² 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).

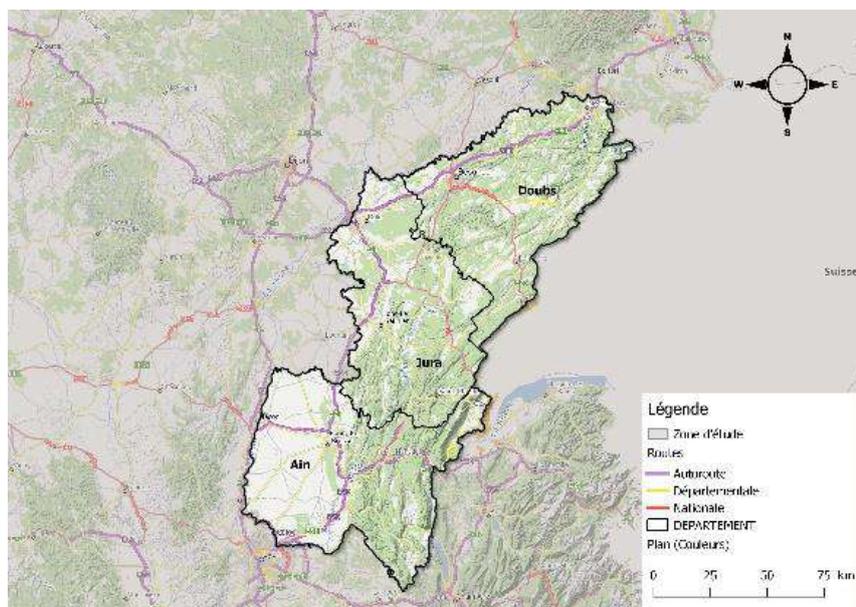


Figure 2 : Délimitation de la zone d'étude, le Massif Jurassien ; zoom sur ces 3 départements, le Doubs, le Jura et l'Ain.

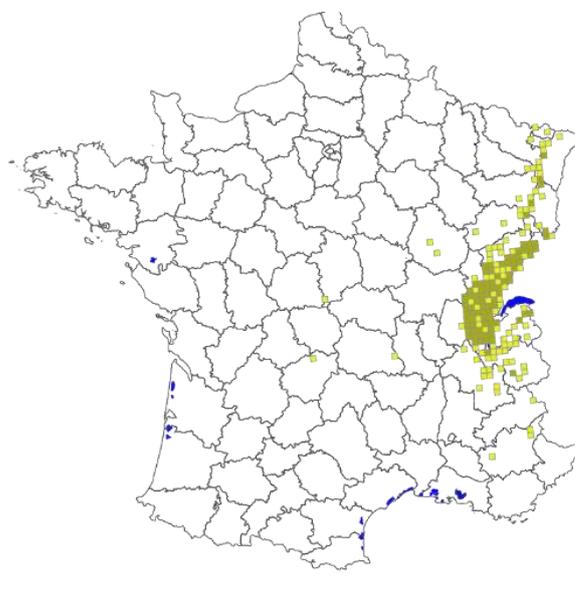


Figure 3 : Carte de répartition du Lynx boréal, en France en 2017 (ONCFS 2019). Le vert représente les zones de présences régulières tandis que le jaune correspond à la présence occasionnelle de l'espèce.

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 km² dont 9860 km² 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 ²)			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^{er} 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 (environ 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 1km² 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 supprimées 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 2.859×10^{-14} , 2.2×10^{-16} , 1.153×10^{-9} et 3.804×10^{-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 = 2.2×10^{-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 2.2×10^{-16} , 3.683×10^{-9} en agriculture, pour les forêts et milieux semi-naturels 0.004681, et enfin une même p-value de 2.2×10^{-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 X² 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 X² 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 ou 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 multivariés 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 X^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.

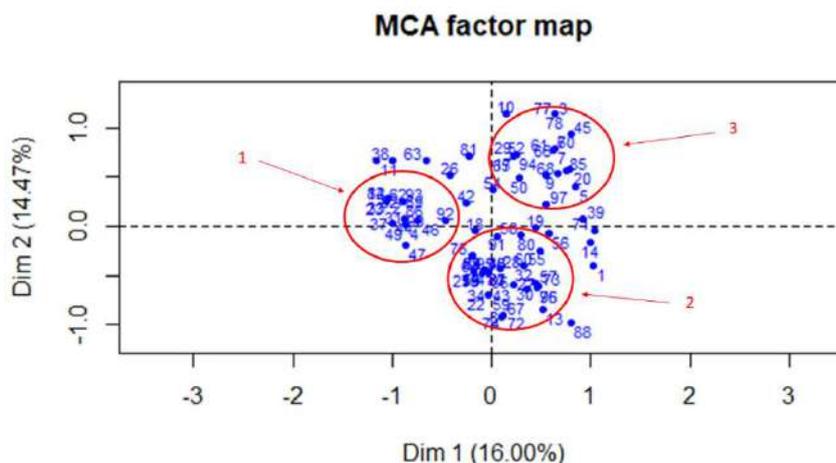


Figure 4 : Graphique de la répartition des individus de l'ACM suivant les dimensions 1 et 2, réalisé sous RStudio.

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.

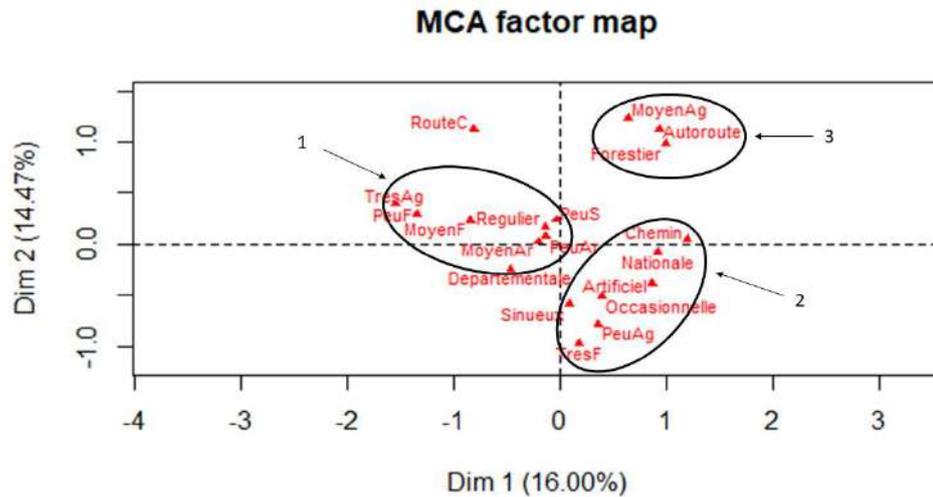


Figure 5 : Graphique de la répartition des modalités des variables actives sur les dimensions 1 et 2, réalisé sous RStudio.

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.

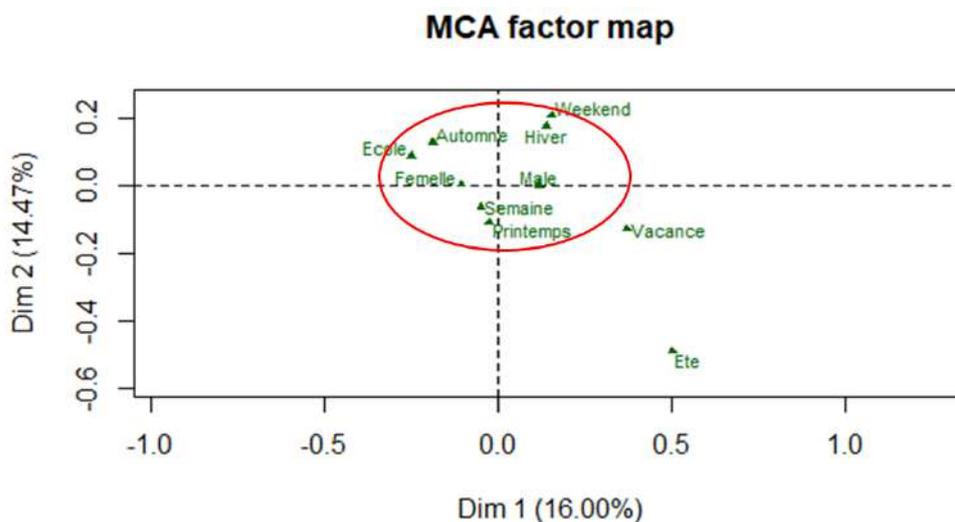
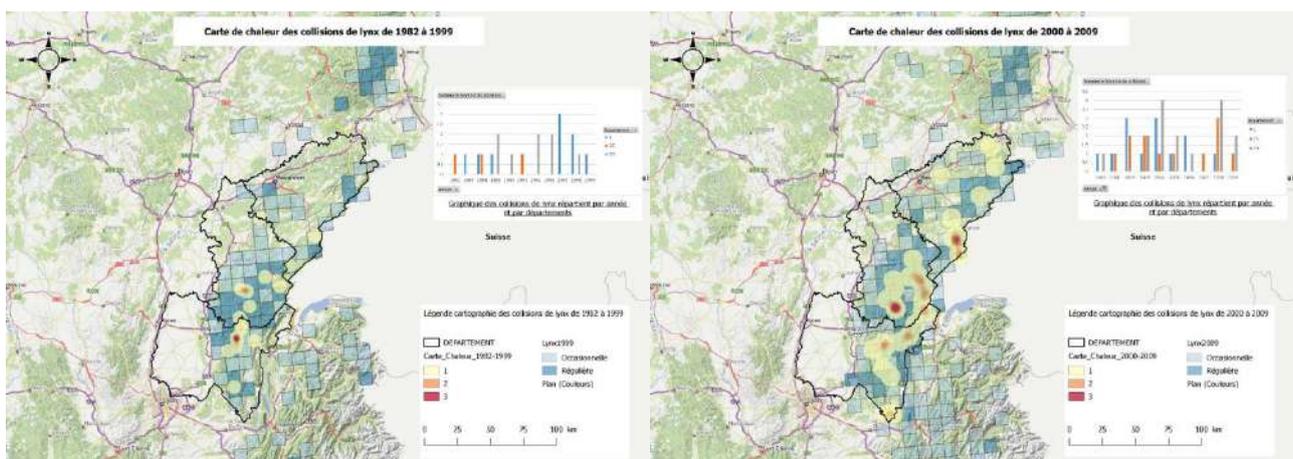


Figure 6 : Graphique de la répartition des modalités des variables supplémentaires suivant les dimensions 1 et 2, réalisé sous RStudio.

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 Marmirole 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.



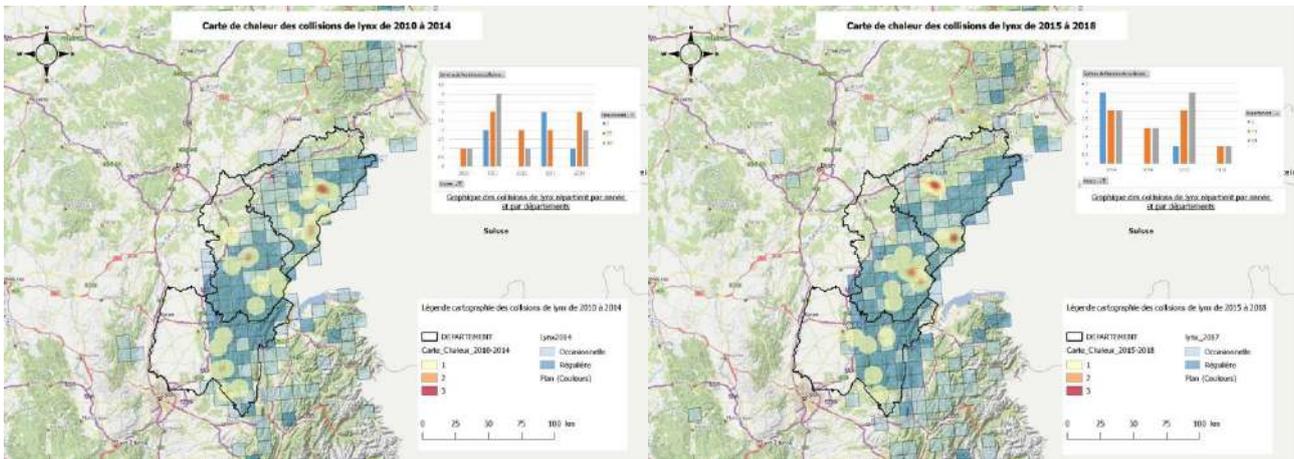


Figure 7: Cartes de chaleurs des collisions de lynx. En haut à gauche de 1982 à 1999 ; en haut à droite de 2000 à 2009 ; en bas à gauche de 2010 à 2014 ; en bas à droite de 2015 à 2018

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.

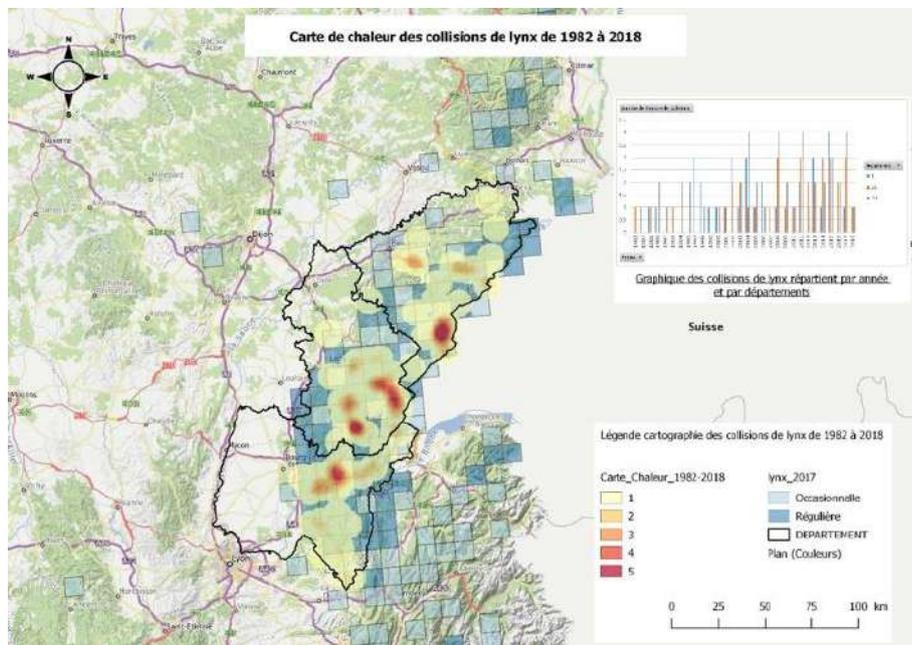


Figure 8 : Carte de chaleur sur les collisions routières du Lynx dans le Massif du Jura entre 1982 et 2018, réalisée sur QGIS.

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.

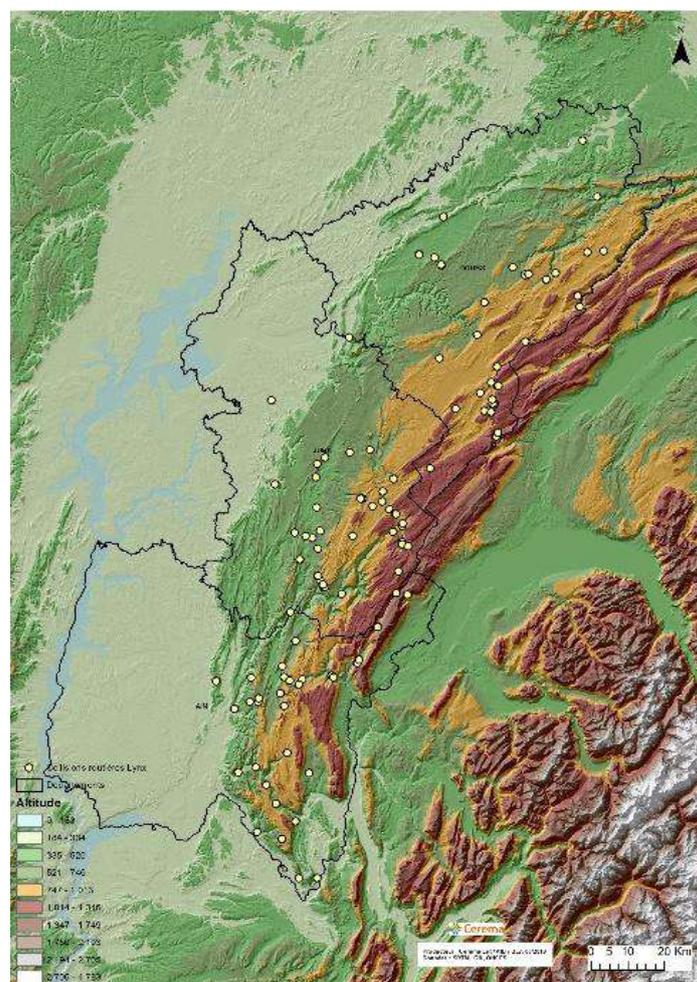


Figure 9 : Cartographie des données mortalités vis-à-vis de l'altitude

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.

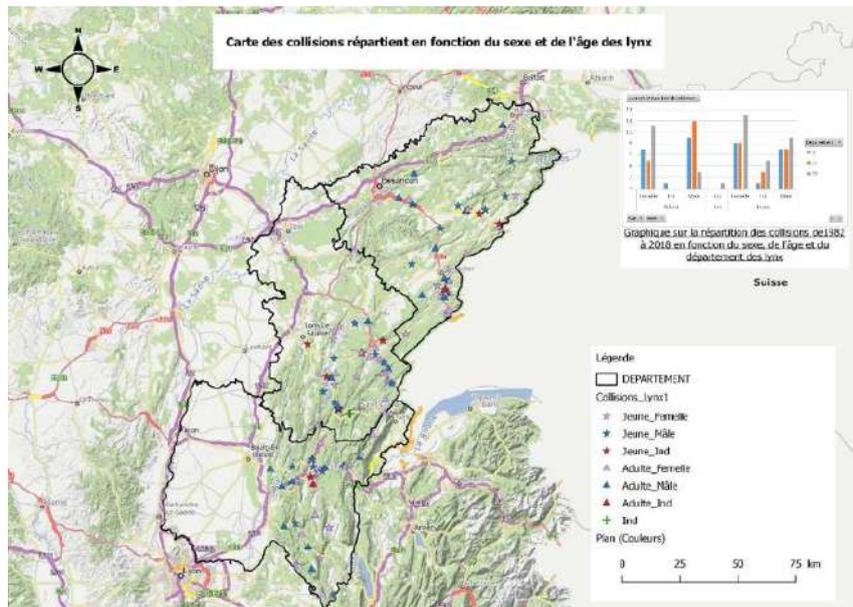


Figure 10 : Cartographie des collisions suivant le sexe et l'âge des individus.

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 déterminés 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.F., 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 J.M., (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 L.N., FUNK S.M., (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 U.M., (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 J.M., 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 J.V., ADAMEC M., ALVARES F., ANDERS O., BALCIAUSKAS L., BALYS V., BEDO P., BEGO F., BLANCO J.C., 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 R.W., NOWAK S., ODDEN J., OZOLINS J., PALOMERO G., PAUNOVIC M., PERSSON J., POTOČNIK H., QUENETTE P.Y., RAUER G., REINHARDT I., RIGG R., RYSER A., SALVATORI V., SKRBINSEK T., STOJANOV A., SWENSON J.E., SZEMETHY L., TRAJCE A., TSINGARSKA-SEDEFČEVA 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^{er} janvier 2018
Date de fin : 30 juin 2020

POUR ALLER PLUS LOIN

[www.stiles.google.com/viaw/
erclynx/](http://www.stiles.google.com/viaw/erclynx/)

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

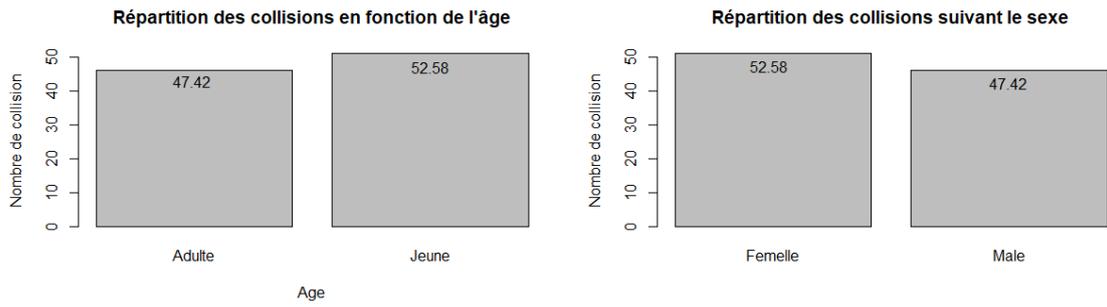


Figure 11: Diagrammes en bâton réalisés sous RStudio pour les variables Age et Sexe. Le jeu de données est composé de (n=51) 52.58 % de Jeunes et pareillement pour les Femelles (n=51, contre 47.42% (n=46) d'Adultes et de Mâles (n=46).

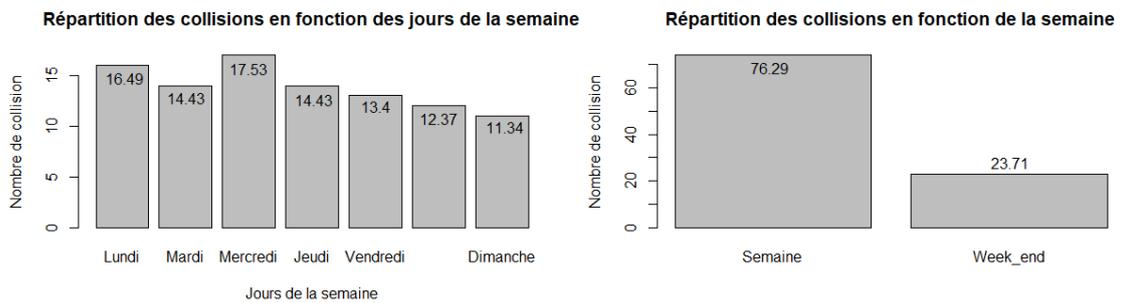


Figure 12 : Diagrammes en bâton réalisés sous RStudio pour les variables Jours et Semaine. Les deux graphes montrent une tendance moins importante pour le week-end soit samedi et dimanche.

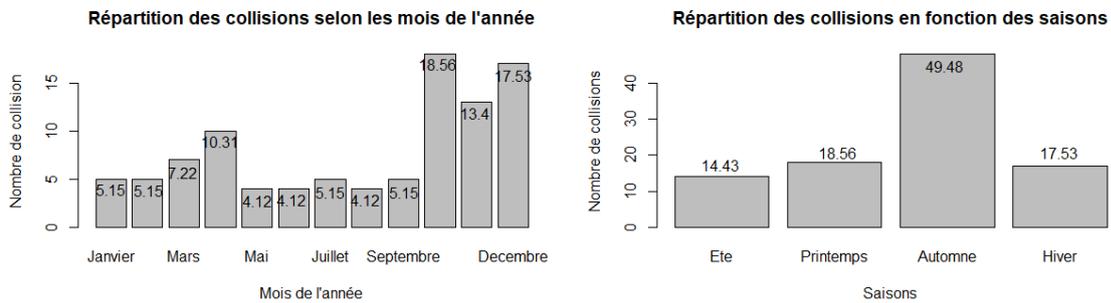


Figure 13 : Diagrammes en bâton des variables Mois et Saisons, réalisés sous le logiciel RStudio. Les mois de fin d'années semblent être les plus accidentés comme pour l'automne.

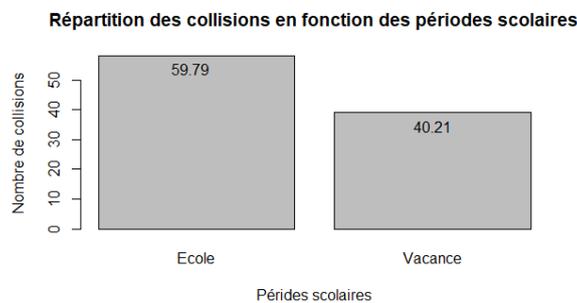


Figure 14 : Diagramme en bâton sur la variable PS (période scolaire) réalisé sous le logiciel RStudio.

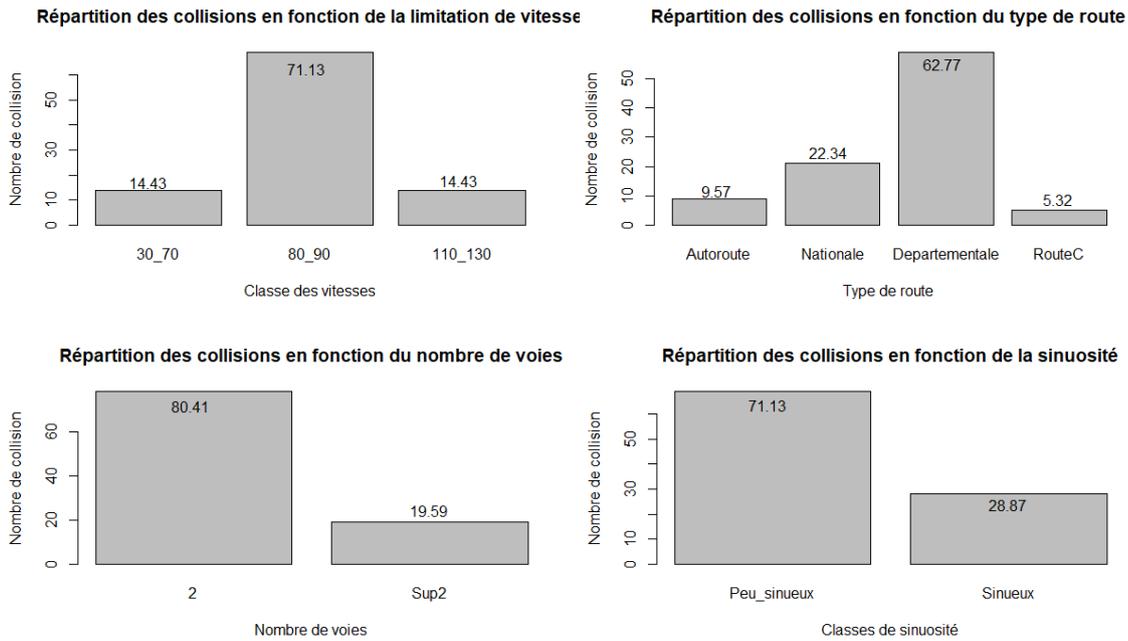


Figure 15 : Diagrammes en bâton réalisés sous RStudio sur les variables Limitation de vitesse, Type de route, Nombre de voies et Sinuosité. Les 4 graphes montrent des répartitions hétérogènes des données.

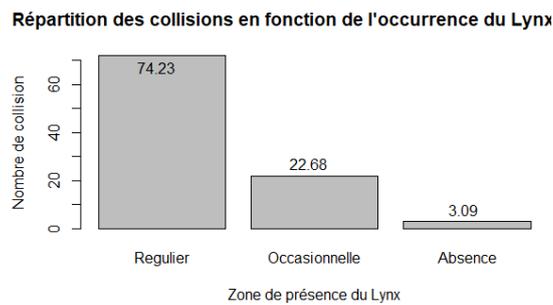
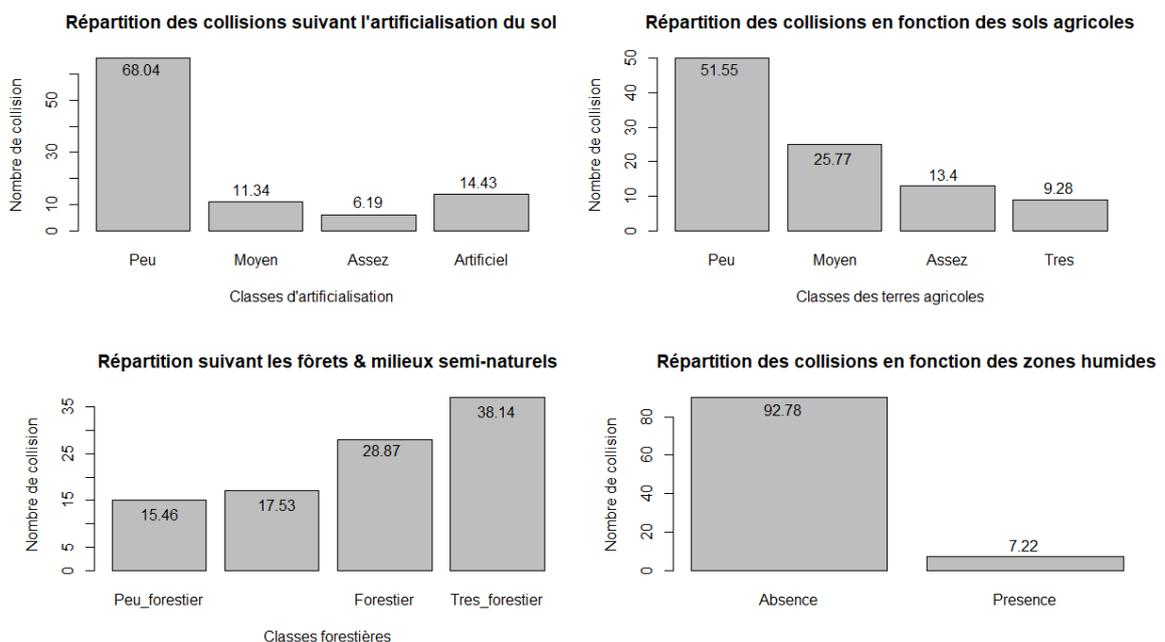


Figure 16 : Diagramme en bâton de la variable occurrence réalisé sous RStudio. Répartition très hétérogène des données suivant les classes de présence du Lynx.



Répartition des collisions en fonction de la surface en eau

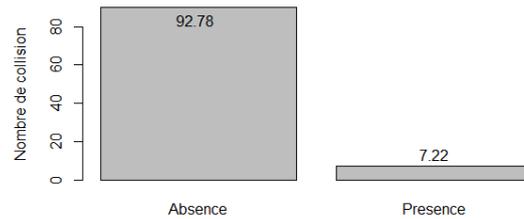


Figure 17 : Diagrammes en bâton réalisés sous RStudio des variables habitats, soit territoire artificialisé, territoire agricole, forêts et milieux semi-naturels, zones humides et surface en eau. En référence aux 5 grands habitats de Corine Land Cover.

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	0.011	0.495	1.330	0.080	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	19.472	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

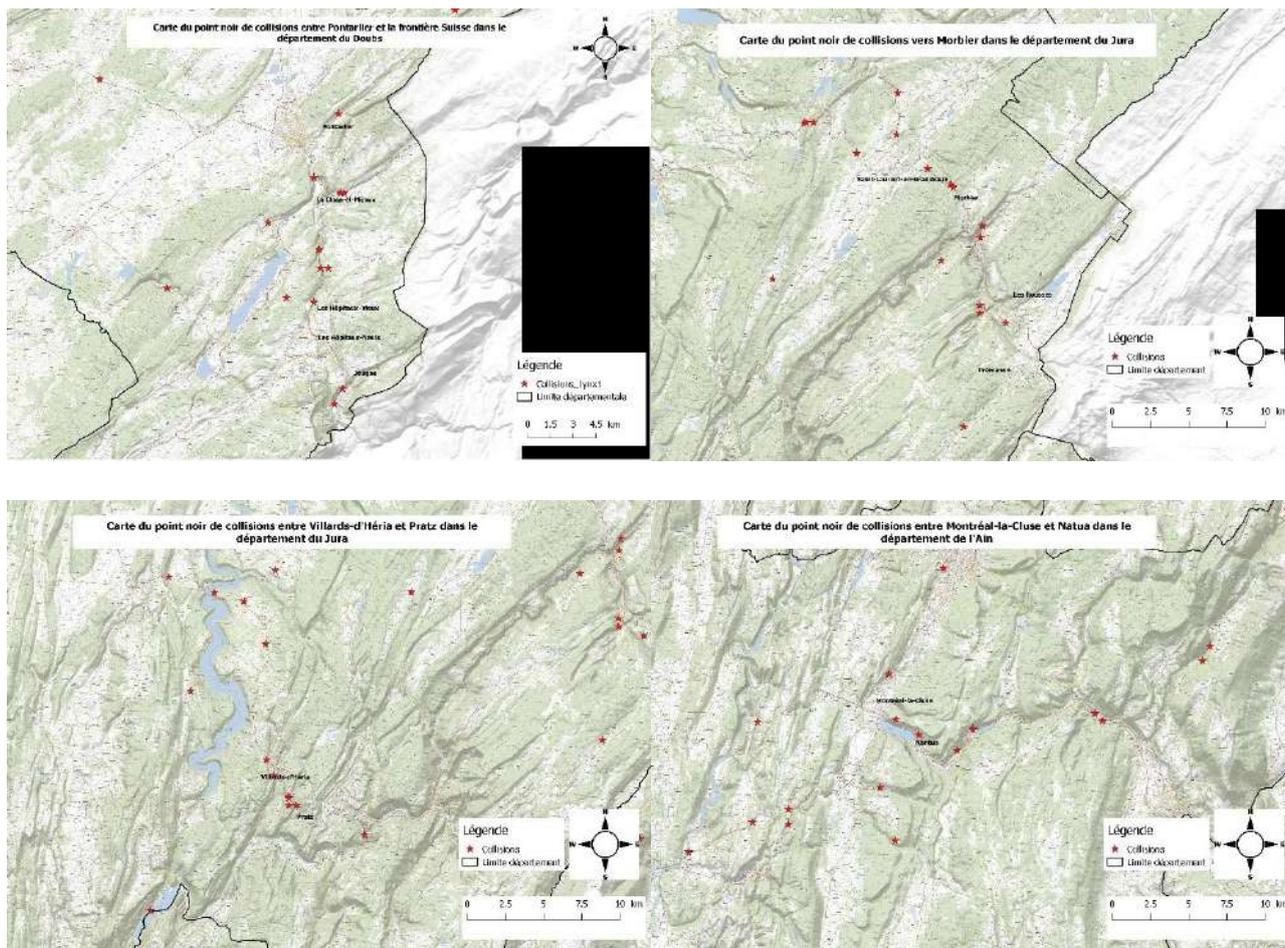


Figure 18: Cartographies des zones les plus accidentogènes sur scan 25 de la France, avec en vert les forêts.

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 •

ANNEXE 4 : Gimenez O., Gatti S., Duchamp C., Germain E., Laurent A., Zimmermann F. & Marboutin A. (2019) Spatial density estimates of Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the French Jura and Vosges Mountains. *Ecology and Evolution*: 9, 11707–11715.

ORIGINAL RESEARCH

Spatial density estimates of Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the French Jura and Vosges Mountains

Olivier Gimenez¹  | Sylvain Gatti² | Christophe Duchamp³ | Estelle Germain⁴ | Alain Laurent² | Fridolin Zimmermann⁵  | Eric Marboutin²

¹CEFE, CNRS, EPHE, IRD, Univ Montpellier, Univ Paul Valéry Montpellier 3, Montpellier, France

²Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, Gières, France

³Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, Gap, France

⁴Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores (CROC), Lucy, France

⁵KORA, Muri, Switzerland

Correspondence

Olivier Gimenez, CEFE, CNRS, EPHE, IRD, Univ Montpellier, Univ Paul Valéry Montpellier 3, Montpellier, France.
Email: olivier.gimenez@cefe.cnrs.fr

Funding information

Centre National de la Recherche Scientifique; European Union within the framework of the Operational Program FEDER-FSE "Lorraine et Massif des Vosges 2014-2020"; Direction Régionale de l'Environnement, l'Aménagement et le Logement; Région Grand Est; Zoo d'Amnéville; Fondation d'entreprise UEM; Fondation Nature & Découvertes; Fondation Le Pal Nature; Chasseur d'images magazine; ONCFS; CIL&B; MTES (ITTECOP); FRB; "Mission pour l'Interdisciplinarité" through the "Osez l'Interdisciplinarité" initiative; "Commissariat à l'Aménagement du Massif des Vosges" for the FNADT ("Fonds National d'Aménagement et de Développement du Territoire")

Abstract

Obtaining estimates of animal population density is a key step in providing sound conservation and management strategies for wildlife. For many large carnivores however, estimating density is difficult because these species are elusive and wide-ranging. Here, we focus on providing the first density estimates of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the French Jura and Vosges mountains. We sampled a total of 413 camera trapping sites (with two cameras per site) between January 2011 and April 2016 in seven study areas across seven counties of the French Jura and Vosges mountains. We obtained 592 lynx detections over 19,035 trap days in the Jura mountains and 0 detection over 6,804 trap days in the Vosges mountains. Based on coat patterns, we identified a total number of 92 unique individuals from photographs, including 16 females, 13 males, and 63 individuals of unknown sex. Using spatial capture–recapture (SCR) models, we estimated abundance in the study areas between 5 ($SE = 0.1$) and 29 (0.2) lynx and density between 0.24 ($SE = 0.02$) and 0.91 ($SE = 0.03$) lynx per 100 km². We also provide a comparison with nonspatial density estimates and discuss the observed discrepancies. Our study is yet another example of the advantage of combining SCR methods and noninvasive sampling techniques to estimate density for elusive and wide-ranging species, like large carnivores. While the estimated densities in the French Jura mountains are comparable to other lynx populations in Europe, the fact that we detected no lynx in the Vosges mountains is alarming. Connectivity should be encouraged between the French Jura mountains, the Vosges mountains, and the Palatinate Forest in Germany where a reintroduction program is currently ongoing. Our density estimates will help in setting a baseline conservation status for the lynx population in France.

KEYWORDS

camera trapping, large carnivores, noninvasive sampling, photo identification, spatially explicit capture–recapture models

1 | INTRODUCTION

Obtaining estimates of animal population density is a key step in providing sound conservation and management strategies for wildlife (Williams, Nichols, & Conroy, 2002). For many large carnivores however, estimating density is difficult because these species are elusive and wide-ranging, resulting in low detection rates (Obbard, Howe, & Kyle, 2010). To deal with these issues, noninvasive techniques, such as camera trapping and DNA sampling, are increasingly used (Kelly, Betsch, Wultsch, Mesa, & Mills, 2012). These noninvasive techniques generate data that can be analyzed with capture–recapture methods to estimate densities (Royle, Chandler, Sollmann, & Gardner, 2014).

Standard capture–recapture models for closed populations (Otis, Burnham, White, & Anderson, 1978) have long been used to estimate animal abundance and density, including many large carnivores (Gerber, Ivan, & Burnham, 2014; Mumma, Zieminski, Fuller, Mahoney, & Waits, 2015). However, when converting abundance into density, density estimates are highly sensitive to the size of user-defined area assumed to reflect the effective sampling area (White, Anderson, Burnham, & Otis, 1982). In addition, individual heterogeneity in detection due to spatial variation in the distance of home ranges to the sampling devices may lead to biased density estimates (Otis et al., 1978). Spatial capture–recapture (SCR) models deal with these issues by explicitly incorporating spatial locations of detections (Borchers, 2012; Borchers & Efford, 2008; Efford, 2004; Royle & Young, 2008), and they are increasingly used to estimate densities of large carnivores (Alexander, Gopalaswamy, Shi, & Face, 2015; Broekhuis & Gopalaswamy, 2016; Goldberg et al., 2015; López-Bao et al., 2018; Pesenti & Zimmermann, 2013; Stetz, Mitchell, & Kendall, 2018).

Here, we focus on the threatened Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the French Jura and Vosges mountains (see Chapron et al., 2014 for a map of its distribution in Europe; see also <https://www.lcie.org/Large-carnivores/Eurasian-lynx> for recent updates). As in many regions of western Europe (Breitenmoser, 1998), lynx was extirpated from France between the 17th and 20th centuries due to habitat degradation, persecution by humans and decrease in prey availability (Vandel & Stahl, 2005). Shortly, after their initial reintroduction in Switzerland in the 1970s (Breitenmoser, Breitenmoser-Würsten, & Capt, 1998), lynx naturally increased their range and started recolonizing France by repopulating forests on the French side of the Jura (Vandel & Stahl, 2005). Reintroductions also occurred in the French Vosges mountains between 1983 and 1993 with the perspective of establishing a population there (Vandel, Stahl, Herrenschmidt, & Marboutin, 2006). The species is listed as endangered in the IUCN Red list and is of conservation concern in France due to habitat fragmentation, poaching, and collisions with cars and trains. Currently, the French population of lynx is restricted to three mountain ranges: the Vosges in northeastern France, the Jura, and the Alps, with little connectivity between them most likely due to human-made linear infrastructures. While the Northern Alps are slowly being recolonized with lynx mostly coming from the Jura (Marboutin et al., 2012), the Jura holds the bulk of the French lynx population. In contrast, the lynx presence in the Vosges mountains remained stable following

the reintroductions and has been continuously decreasing since 2005 (Laurent et al., 2012).

Despite their conservation status, little information on abundance and density of lynx in France exist. In this study, we used SCR and standard capture–recapture models to provide the first estimate of lynx abundance and density using camera trap surveys implemented in the French Jura and Vosges mountains from 2011 to 2016. Based on these results, we discuss research and management priorities for the effective conservation of lynx in France.

2 | METHODS

2.1 | Ethics statement

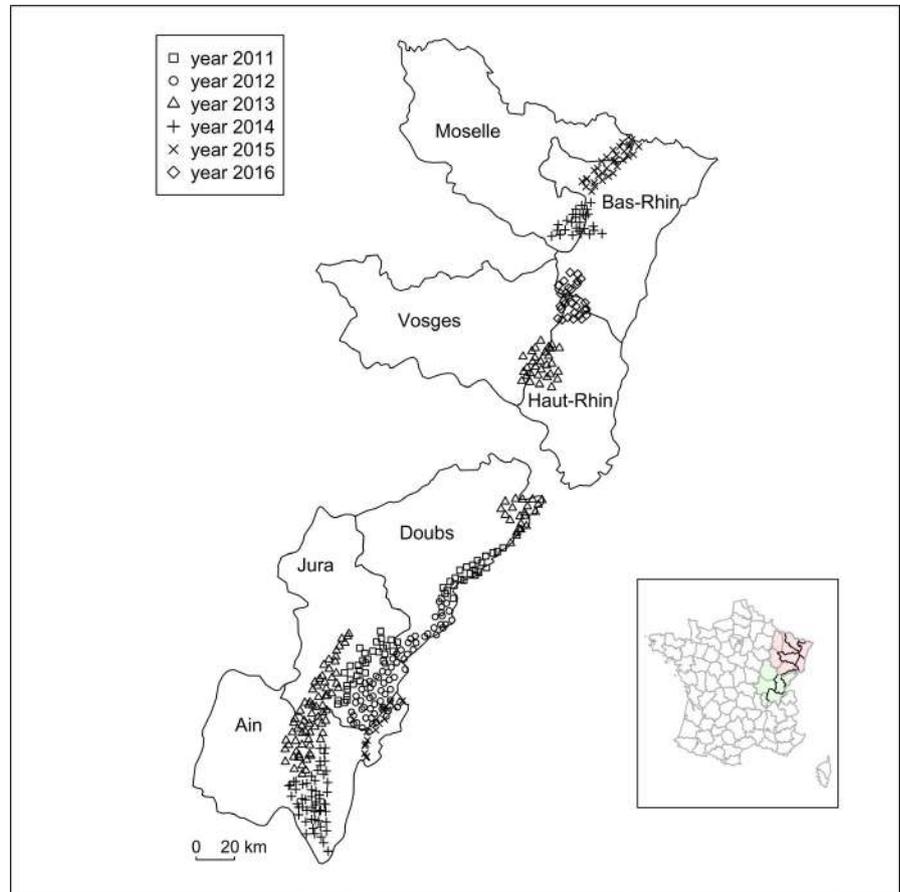
We used noninvasive methods for data collection, which did not involve manipulation or handling of any living organism. Therefore, approval from an animal ethics committee was not required. Cameras were set on public or private forests with the permission of local authorities or local owners, respectively. We advertised the study and the presence of camera traps to the local stakeholders and the public visiting the areas. In agreement with French legislation, we deleted photographs permitting the identification of goods or people.

2.2 | Study area and sampling design

The study area encompassed three counties of the French Jura mountains, namely Ain, Doubs and Jura, and four counties of the Vosges mountains, namely Vosges, Haut-Rhin, Bas-Rhin, and Moselle (Figure 1). Elevation ranged from 163 to 1,718 m above sea level in the Jura mountains, and from 104 to 1,422 m in the Vosges mountains. The human population density was 88 per km² in the Jura mountains and 170 per km² in the Vosges mountains. The Jura mountains were 50% forest on average (Breitenmoser et al., 2007), and the Vosges mountains were 70% forest on average (DREAL Grand Est, 2018). The rest of the area was permanent pastures, arable land, and human settlements. Sampling occurred over 6 years, between January 2011 and April 2016, mostly in winter and spring, with surveys lasting between 2 and 4 months. We considered two study areas in 2011, 2014, and 2015, three study areas in 2013, and one study area in 2012 and 2016 through camera trapping (Figure 1).

We divided each study area into a grid of 2.7 × 2.7 km cells applying a systematic design where one out of two cells was sampled (Zimmermann, Breitenmoser-Würsten, Molinari-Jobin, & Breitenmoser, 2013), hence ensuring that at least one camera trap was set in each potential lynx home range (between 100 and 250 km², see Breitenmoser-Würsten et al., 2007). To maximize detectability, we set (nonbaited) camera traps in forested habitats, based on previous signs of lynx presence and on local knowledge, at optimal locations where landscape and terrain features were likely to channel lynx movements on more predictable paths (on forest roads, hiking trails, and to a lesser extent on game paths; Blanc, Marboutin, Gatti, & Gimenez, 2013). Camera was settled within a single session continuously during 60 days between February and beginning of March with little variation between sites.

FIGURE 1 Map of the study area in the French Jura and Vosges mountains. The study area encompassed seven counties (Ain, Jura and Doubs in the Jura mountains and Vosges, Haut-Rhin, Bas-Rhin and Moselle in the Vosges mountains) that were monitored through 413 camera trapping sites (298 in the Jura mountains and 115 in the Vosges mountains; two camera traps were set per site), each within a 2.7×2.7 km cell. The inset map represents the French counties (gray borders), the counties that were considered in the study (black borders), the Jura mountains (green shaded area) and the Vosges mountains (red shaded area)



At each trapping location, we set two Xenon white flash camera traps (models: Capture, Ambush and Attack; Cuddeback) with passive infrared trigger mechanisms to photograph both flanks of an animal. We checked camera traps weekly to change memory cards, batteries and to remove fresh snow after heavy snowfall. Based on unique coat patterns, we identified individual lynx on photographs (Zimmermann & Foresti, 2016). The recognition of individual was computer-induced, not fully automated. We used the Extract-compare[®] software that compares the lynx spot pattern with a library of previously extracted pattern and proposes potential matches according to a score (<http://conservationresearch.org.uk/Home/ExtractCompare>). The observer can confirm the lynx identification or not and browse through the highest-ranking proposed matches. The final decision is made by the observer based on an additional visual examination of the entire photograph set for this particular lynx. Pictures for which no match was found with the software were visually checked against our entire photograph library. Only when the match was undeniable was the individual recorded as a match, otherwise it was recorded as a new individual. All captures that did not fit automated or associated visual confirmation with no doubt, because of a poor picture quality (e.g., blurry, overexposed), were classified as “unconfirmed” and excluded from the analyses. We recorded the date, time, sex whenever possible, and location of each photographic capture of a lynx. During the time of year our study took place, juvenile lynx (<1 year old) can still be with their mother (Zimmermann, Breitenmoser-Würsten, & Breitenmoser, 2005). In our analysis, we retained only independent lynx, that is, adult lynx

or emancipated individuals based on physical characteristics or previous knowledge of their age or status (from photographic evidence). We defined a capture occasion as 5 successive trap nights (Blanc et al., 2013), dissociating trapping events from individual photograph to avoid pseudo-replications.

2.3 | Spatial capture–recapture analyses

We used spatial capture–recapture (SCR) models to estimate lynx densities (Royle et al., 2014). In contrast with standard (nonspatial) capture–recapture models, SCR models use the spatial locations of captures to infer the activity center (or home range) of each individual. We assumed that individual encounters are Bernoulli random variables with individual- and trap-specific detection probabilities. More precisely, the detection probability p_{ij} of an individual i at trap j is assumed to decrease as the distance (d_{ij}) from its activity center increases according to a detection function. We used the half-normal detection function, $p_{ij} = p_0 \exp(-d_{ij}^2/(2\sigma^2))$, where p_0 is the probability of detecting an individual when the trap is located exactly at its center of activity and σ is the spatial scale (or movement) parameter that controls the shape of the detection function. For one of the two study areas in the French Jura mountains in years 2011 and 2013, we detected only a few individuals (see the columns Doubs in Table 1). To increase the effective sample size, we combined the data from these two sampling areas using common detection and spatial parameters for both areas, while estimating density

TABLE 1 Main characteristics and results of the lynx camera trap survey carried out in (a) the French Jura mountains and (b) the French Vosges mountains

(a) Year/County	2011/ Doubs	2011/Jura	2012/Jura & Doubs	2013/ Doubs	2013/Ain & Jura	2014/Ain	2015/Ain
Period of trap activity	January–April	February–April	February–April	February–April	February–April	February–April	February–May
Number of active camera traps	48	66	148	44	142	118	30
Number of trapping days (average/area)	63	59	69	63	58	59	99
Number of capture occasions ⁱ	15	15	17	14	13	13	21
Number of detections	22	42	130	25	117	158	38
Number of detected individuals	4	9	21	6	19	23	10
Number of females, unknown, males	1, 1, 2	1, 7, 1	2, 14, 5	1, 4, 1	2, 13, 4	4, 16, 3	2, 8, 0
Number of detections/ind: mean, min, max	3, 2, 4	2.8, 1, 6	2.5, 1, 10	2.7, 1, 6	3.6, 1, 11	3.3, 1, 9	2.2, 1, 5
(b) Year/County	2013/Haut-Rhin & Vosges	2014/Bas-Rhin & Moselle	2015/Bas-Rhin & Moselle	2016/Bas & Haut-Rhin			
Period of trap activity	December–January	February–April	February–April	February–April			
Number of active traps	60	50	60	60			
Number of trapping days (average/area)	52	59	57	59			
Number of detections	0	0	0	0			

ⁱA capture occasion is defined as 5 successive trap days.

separately (e.g., Rocha, Sollmann, Ramalho, Ilha, & Tan, 2016). We defined a state-space, that is, the area encompassing all potential activity centers of the observed individuals, by building a grid that buffered outermost camera trap locations by 15 km (corresponding to at least 2σ ; Royle et al., 2014) with a resolution of 1.5 km (or pixels of area 2.25 km²). We fitted SCR models in the maximum likelihood framework using the R package oSCR (Sutherland, Muñoz, Miller, & Grant, 2016; Sutherland, Royle, & Linden, 2019).

For comparison, we also estimated abundance using standard (nonspatial) capture–recapture models (Otis et al., 1978). We dropped the spatial information and considered only the detections and nondetections for each individual. We considered two models, M0 in which the detection probability is the same for all individuals, and Mh in which the detection probability varies among individuals. We fitted standard models in the maximum likelihood framework using the R package Rcapture (Baillargeon & Rivest, 2007). We estimated density as the ratio of estimated abundance over an effective trapping area (ETA). ETA was estimated by adding a buffer to the trapping area equal to the mean maximum distance moved (MMDM) or half of it (HMMDM). We calculated the MMDM by averaging the maximum distances between capture locations for all individuals detected at more than one site.

3 | RESULTS

We collected data from 413 camera trapping sites (two camera traps were set per site) resulting in 25,839 trap days (Table 1). In total, we identified 92 lynx over 532 detection events in the Jura mountains,

including 16 females, 13 males, and 63 individuals of unknown sex. The number of detections per individual was 2.6 on average and varied from 1 to 11. In contrast, we collected no lynx photograph in the Vosges mountains; therefore, we did not proceed with analyses for this area.

For the Jura mountains, abundance estimates were similar whether we used spatial or nonspatial models, although always slightly higher for the former. Estimated abundance among study areas varied between 5 (SE = 0.1) and 29 (0.2) lynx in the spatial analyses, between 4 (0.7) and 23 (0.7) with model M0, and between 5 (1.7) and 28 (3.6) with model Mh. Estimated density varied between 0.24 (0.02) and 0.91 (0.03) lynx per 100 km² in the spatial analyses (Table 2). In the nonspatial analyses, the density varied between 0.31 (0.05) and 0.78 (0.02) lynx per 100 km² under model M0 and between 0.34 (0.06) and 0.95 (0.12) under model Mh when the MMDM was used. When we used HMMDM, the density varied between 0.57 (0.10) and 1.46 (0.16) lynx per 100 km² under model M0 and between 0.67 (0.12) and 1.43 (0.16) under model Mh.

From the spatial analyses, we used the model estimates to produce density surfaces within the state-space (Figure 2). The density per pixel of area 2.25 km² ranged from 0 to 0.20 individuals in the Jura mountains.

4 | DISCUSSION

By using camera trap sampling and SCR models, we provided the first multi-site density estimates for lynx that will help in setting a baseline conservation status for the French lynx population. The

TABLE 2 Lynx abundance and density estimates obtained from spatial and nonspatial capture–recapture analyses of camera trapping data collected in the French Jura mountains

Year/County	2011/Doubs	2011/Jura	2012/Jura-Doubs	2013/Doubs	2013/Ain-Jura	2014-Ain	2015-Ain
SCR abundance (SE)	5 (0.1)	12 (0.1)	29 (0.2)	7 (0.1)	21 (0.1)	29 (0.2)	12 (0.1)
SCR density (SE)	0.24 (0.02)	0.44 (0.02)	0.67 (0.02)	0.36 (0.02)	0.54 (0.02)	0.91 (0.03)	0.64 (0.03)
p_0 logit scale (SE)	-2.94 (0.24)		-2.01 (0.20)	-2.57 (0.20)		-2.34 (0.19)	-3.01 (0.42)
σ log scale (SE)	8.89 (0.14)		8.54 (0.08)	8.95 (0.06)		8.80 (0.07)	8.97 (0.19)
M0 abundance (SE)	4 (0.7)	9 (0.7)	21 (0.6)	6 (0.3)	19 (0.8)	23 (0.7)	11 (1.2)
Mh abundance (SE)	5 (1.7)	10 (1.8)	25 (2.8)	7 (1.2)	25 (4.1)	28 (3.6)	11 (1.2)
MMDM (km)	9.1	16.2	8.9	9.1	18.2	13.6	12.1
ETA with MMDM (km ²)	1,991	2,930	3,089	1,171	4,954	2,936	1,549
M0 density MMDM (SE)	0.31 (0.05)	0.31 (0.02)	0.68 (0.02)	0.51 (0.02)	0.38 (0.02)	0.78 (0.02)	0.71 (0.08)
Mh density MMDM (SE)	0.39 (0.13)	0.34 (0.06)	0.81 (0.09)	0.60 (0.10)	0.50 (0.08)	0.95 (0.12)	0.70 (0.08)
ETA with HMMDM (km ²)	697	1,491	2,111	659	2,673	1,668	753
M0 density HMMDM (SE)	0.57 (0.10)	0.60 (0.05)	0.99 (0.03)	0.91 (0.05)	0.71 (0.03)	1.38 (0.04)	1.46 (0.16)
Mh density HMMDM (SE)	0.72 (0.24)	0.67 (0.12)	1.18 (0.13)	1.06 (0.18)	0.93 (0.15)	1.68 (0.21)	1.43 (0.16)

Note: Densities are provided in number of lynx per 100 km². For 2011 and 2013, parameters of the spatial capture–recapture model (p_0 and σ) are common to both areas in each year.

Abbreviations: ETA, effective trapping area; HMMDM, half mean maximum distance moved; M0, the (nonspatial) capture–recapture model with homogeneous detection probability; Mh, the (nonspatial) capture–recapture model with heterogeneous detection probability; MMDM, mean maximum distance moved; SCR, spatial capture–recapture; SE, standard error.

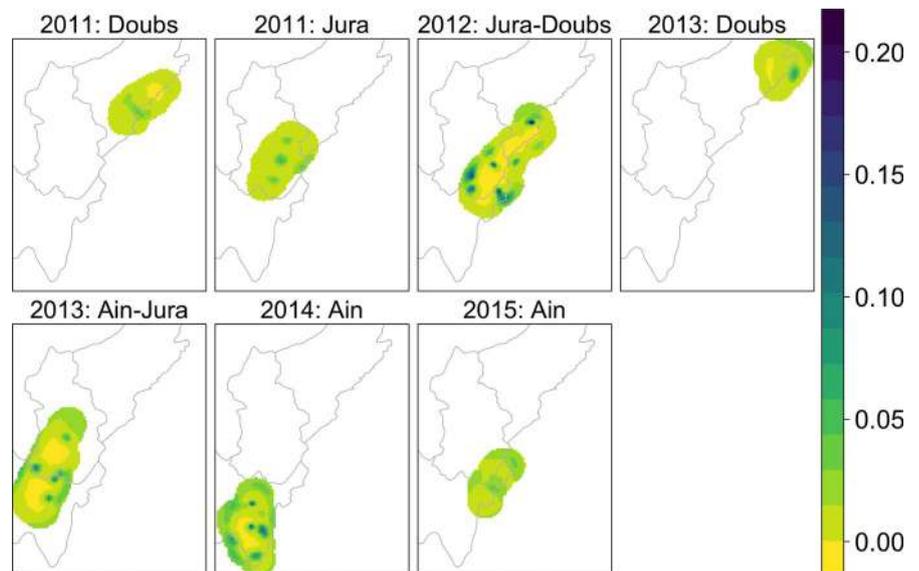
multi-site dimension of our study allows exploring variability in the density estimates across landscapes. Our study is yet another example of the potential of combining SCR methods and noninvasive sampling techniques to estimate abundance and density for elusive and wide-ranging species, like large carnivores (Alexander et al., 2015; Broekhuis & Gopalaswamy, 2016; Goldberg et al., 2015; López-Bao et al., 2018; Pesenti & Zimmermann, 2013; Stetz et al., 2018).

When examining densities across study areas in the French Jura mountains, we found spatial variation between the three counties, with Doubs area having the lowest densities, Ain the highest densities, and Jura intermediate densities. Our density estimates

were of similar magnitude to other lynx populations in Europe: 1.47 and 1.38 lynx/100 km² in the Northwestern Swiss Alps (Pesenti & Zimmermann, 2013), 0.58 (Štiavnica mountains) and 0.81 individuals/100 km² (Velká Fatra National Park) in Slovakia (Kubala et al., 2017) and 0.9 individuals/100 km² in the Bavarian Forest National Park in Germany (Weingarth et al., 2012).

While Kubala et al. (2017) and Pesenti and Zimmermann (2013) used SCR models, (Weingarth et al., 2012) used standard capture–recapture models with HMMDM to estimate densities, which makes them difficult to compare (Gerber, Karpanty, & Kelly, 2012). Indeed, in other carnivore studies, the use of HMMDM also produced similar

FIGURE 2 Lynx (*Lynx lynx*) density maps in the French Jura mountains. The density scale is in lynx per 2.25 km² (pixel resolution is 1,500 m × 1,500 m). We obtained the estimated abundance in each map by summing up the densities in each pixel altogether. Yellow is for low densities, green for medium densities, and blue for high densities; the density scales are specific to each map. Note that the interpretation of these plots as density maps is subject to caution (see the vignette “scr-densitiesurface” of the SECR R package; Efford, 2019)



density estimates to SCR models (Pesenti & Zimmermann, 2013), while in others, including ours, the SCR estimates were closer to the MMDM estimates (Obbard et al., 2010) or intermediate between the MMDM and HMMDM estimates (Reppucci, Gardner, & Lucherini, 2011). When looking at reference values for densities across the distribution range of the species, it may be biologically meaningful to use the MMDM density estimate as a reference as it covers the whole potential of animal movements. On the other hand, because SCR models make space explicit whereas standard model-based densities are sensitive to the definition of the effective sampling area, we recommend the use of SCR models to estimate lynx densities.

Our lynx density estimates might suffer from potential sources of bias that need to be discussed. First, the period of sampling is important to account for when setting up camera trap surveys (Weingarth et al., 2015). We conducted our survey outside the dispersal period, during the lynx mating season (February–March mostly). We did so to avoid capturing transient individuals and to increase detectability because of high lynx activity and relatively reduced human activities (Zimmermann & Foresti, 2016). However, some individuals might have moved in and out of the study areas, especially males who cover greater distances during the mating season. Whereas the presence of nonresident individuals can affect the calculation of (H) MMDM, and in turn density estimated with standard capture–recapture models, SCR density estimates were found to be robust to the presence of transient individuals (Royle, Fuller, & Sutherland, 2016). Second, males have larger home ranges than females (Pesenti & Zimmermann, 2013), which leads to heterogeneity in the SCR model parameter estimates. Because there were too few males and females identified and lots of individuals with unknown sex, sex-specific SCR analyses (Sollmann et al., 2011) produced unreliable abundance and density estimates (results not shown). If detection heterogeneity is ignored in capture–recapture models, abundance is underestimated (Cubaynes et al., 2010), therefore our density estimates are probably biased low and should be considered as a conservative metric. The determination of sex could be improved by (a) combining the photographic surveys with genetic surveys, (b) conducting deterministic surveys over several years (e.g., Pesenti & Zimmermann, 2013), (c) conducting an opportunistic camera trapping survey all over years and setting camera traps at fresh lynx kills, (d) setting infrared flash camera traps capable of taking burst of images in rapid sequence at marking sites regularly used by the lynx (e.g., Vogt, Zimmermann, Kölliker, & Breitenmoser, 2014).

Last, we did not detect any individuals in the Vosges mountains, even though the sampling effort was similar to that implemented in the Jura mountains (Table 1). Despite the release of 21 lynx between 1983 and 1993 (out of which only 10 survived; Vandel et al., 2006), connectivity with the Jura mountains was and still is difficult to emerge because of artificial habitat fragmentation (highways and high-speed train railways). In recent years, very few signs of presence of lynx have been collected in the Vosges mountains through opportunistic monitoring (mostly direct observations, more rarely footprints or hairs). In 2018, the regular presence area of lynx was of 400 km² with signs of presence both in the north, in the center,

and south of the massif. Currently, only two males are identified with photographs. One came from the Palatinate Forest in Germany (from a reintroduction program) and installed his home range in the Hautes-Vosges in 2017. The second one came from the Jura mountains from where he dispersed in 2015. There are also some punctual incursions of lynx from Palatinate forest in the north Vosges. Overall, our findings are likely to be representative of the current critical situation of the lynx in the Vosges mountains.

We envision several perspectives to our work. First, while density estimates are of primary interest for conservation, understanding the mechanisms underlying trends in abundance is required to make sound conservation decisions (Williams et al., 2002). SCR models have been extended to open populations (Gardner, Reppucci, Lucherini, & Royle, 2010) and can be used to estimate demographic parameters (survival, reproduction) of large carnivores (Whittington & Sawaya, 2015). Unfortunately, because of logistic constraints, we could not sample the same areas over several years, which precludes a standard application of these models. A solution may lie in the combination of the data we collected through systematic camera trap surveys with additional data in the SCR framework, such as occupancy data (Blanc, Marboutin, Gatti, Zimmermann, & Gimenez, 2014) or opportunistic camera trap data (Tenan, Pedrini, Bragalanti, Groff, & Sutherland, 2017). Second, in addition to traffic-induced mortality and conflicts with human activities, the expansion of lynx populations is limited by habitat fragmentation (Kramer-Schadt, Revilla, Wiegand, & Breitenmoser, 2004), hence the need to assess connectivity with other populations (Zimmermann & Breitenmoser, 2007). SCR models can be used to quantify landscape connectivity by replacing the Euclidean distance between camera traps and home range centers by the least-cost path (Royle, Chandler, Gazenski, & Graves, 2013; Sutherland, Fuller, & Royle, 2015). For lynx, this will require setting up traps across a gradient of habitat types, not only forested habitats, so that resistance to movement can be estimated.

In conclusion, our lynx density estimates for the French Jura mountains complement nicely the estimates recently provided for the Northwestern Swiss Alps (Pesenti & Zimmermann, 2013). The use of camera trapping coupled with SCR models in both France and Switzerland was the result of a cooperation between the two countries with the perspective of a transboundary monitoring (Gervasi et al., 2016; Vitkalova et al., 2018). This approach would prove useful to accurately estimate densities in other areas where habitats and prey availability might differ, and overall lynx detectability varies. Also, collecting and adding movement data from GPS-collared lynx would be useful (Linden, Sirén, & Pekins, 2018; Tenan et al., 2017) to try and infer the connections between subpopulations.

The case can be made for monitoring the return of the lynx in the French Alps. Indeed, small-scale camera trapping surveys and opportunistic observations are currently active and producing signs of lynx presence. However, the lack of a coordinated and intensive sampling effort prevents us from being able to estimate abundance and density and inferring trends.

In contrast, the situation in the Vosges mountains is alarming with no individuals detected over the study period. Because the

Vosges mountains are located between the French Jura mountains and the Palatinate Forest in Germany where a reintroduction program is ongoing (program LIFE13 NAT/DE/000755), the lynx colonization in the Vosges mountains remains possible both by the north and the south. Incidentally, two cases of lynx dispersal in the Vosges mountains from neighboring mountains have been recently observed (Hurstel & Laurent, 2016; program LIFE13 NAT/DE/000755). To ensure the detection of lynx in the Vosges mountains, we recommend reinforcing collaborative monitoring by involving all field stakeholders and enhancing communication on the species signs of presence.

In this context, obtaining accurate and comparable lynx densities will be crucial to closely monitor population trends at the national scale and inform management policies for the effective conservation of the Eurasian lynx in France.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank the staff from the French National Game and Wildlife Agency (ONCFS), the CROC, the Forest National Agency (ONF), the “Directions Départementales des Territoires,” the “Fédérations Départementales des Chasseurs,” the Regional Natural Parks, the environmental protection associations and all the volunteers from the “Réseau Loup Lynx” who collected the photographs during the camera trapping session. OG was funded by CNRS and the “Mission pour l'Interdisciplinarité” through the “Osez l'Interdisciplinarité” initiative. CD, EM, and SG were funded by ONCFS. CEFE and CROC were funded by CIL&B, MTES (ITTECOP), and FRB through the research program ERC-Lynx. CROC was funded by the European Union within the framework of the Operational Program FEDER-FSE “Lorraine et Massif des Vosges 2014–2020,” the “Commissariat à l'Aménagement du Massif des Vosges” for the FNADT (“Fonds National d'Aménagement et de Développement du Territoire”), the DREAL Grand Est (“Direction Régionale de l'Environnement, l'Aménagement et le Logement”), the “Région Grand Est,” the “Zoo d'Amnéville,” the “Fondation d'entreprise UEM,” the “Fondation Nature & Découvertes,” the “Fondation Le Pal Nature,” and the *Chasseur d'images* magazine. This study could not have been conducted without authorizations from and agreements with municipalities, environmental managers, and owners.

CONFLICT OF INTEREST

None declared.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

OG wrote the paper and all co-authors commented on the manuscript. OG and SG analyzed the data. AL, CD, EG, EM, and SG coordinated the study designs, the data collection, and interpretation, with help from FZ for setting the experimental design in the Jura mountains.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The Eurasian lynx is an endangered species with high conservation stakes. Interactions with human activities are problematic and lead to poaching and anthropogenic pressures. Providing accurate information on lynx locations can be detrimental to the conservation status of the species. As a consequence, the original data could not be shared.

ORCID

Olivier Gimenez  <https://orcid.org/0000-0001-7001-5142>

Fridolin Zimmermann  <https://orcid.org/0000-0003-3861-246X>

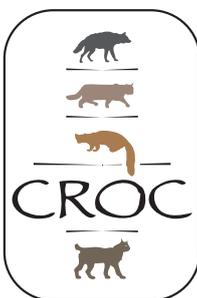
REFERENCES

- Alexander, J. S., Gopalaswamy, A. M., Shi, K., & Face, R. P. (2015). Value: Towards robust estimates of snow leopard densities. *PLoS ONE*, *10*, e0134815. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134815>
- Baillargeon, S., & Rivest, L.-P. (2007). Rcapture: Loglinear models for capture-recapture in R. *Journal of Statistical Software*, *19*, 1–31.
- Blanc, L., Marboutin, E., Gatti, S., & Gimenez, O. (2013). Abundance of rare and elusive species: Empirical investigation of closed versus spatially explicit capture-recapture models with lynx as a case study. *The Journal of Wildlife Management*, *77*, 372–378. <https://doi.org/10.1002/jwmg.453>
- Blanc, L., Marboutin, E., Gatti, S., Zimmermann, F., & Gimenez, O. (2014). Improving abundance estimation by combining capture-recapture and occupancy data: Example with a large carnivore. *Journal of Applied Ecology*, *51*, 1733–1739. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12319>
- Borchers, D. (2012). A non-technical overview of spatially explicit capture-recapture models. *Journal of Ornithology*, *152*, 435–444. <https://doi.org/10.1007/s10336-010-0583-z>
- Borchers, D. L., & Efford, M. G. (2008). Spatially explicit maximum likelihood methods for capture-recapture studies. *Biometrics*, *64*, 377–385. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2007.00927.x>
- Breitenmoser, U. (1998). Large predators in the Alps: The fall and rise of man's competitors. *Biological Conservation*, *83*, 279–289. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(97\)00084-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(97)00084-0)
- Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, C., & Capt, S. (1998). Re-introduction and present status of the lynx (*Lynx lynx*) in Switzerland. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, *10*. <https://doi.org/10.4404/hystrix-10.1-4118>
- Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, C., Capt, S., Molinari-Jobin, A., Molinari, P., & Zimmermann, F. (2007). Conservation of the lynx *Lynx lynx* in the Swiss Jura Mountains. *Wildlife Biology*, *13*, 340–355. [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2007\)13\[340:COTLL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2007)13[340:COTLL]2.0.CO;2)
- Breitenmoser-Würsten, C., Zimmermann, F., Stahl, P., Vandel, J.-M., Molinari-Jobin, A., Molinari, P., ... Breitenmoser, U. (2007). Spatial and Social stability of a Eurasian lynx *Lynx lynx* population: An assessment of 10 years of observation in the Jura Mountains. *Wildlife Biology*, *13*, 365–380. [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2007\)13\[365:SASSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2007)13[365:SASSO]2.0.CO;2)
- Broekhuis, F., & Gopalaswamy, A. M. (2016). Counting cats: Spatially explicit population estimates of cheetah (*Acinonyx jubatus*) using unstructured sampling data. *PLoS ONE*, *11*, e0153875. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153875>
- Chapron, G., Kaczensky, P., Linnell, J. D. C., von Arx, M., Huber, D., Andren, H., ... Boitani, L. (2014). Recovery of large carnivores in

- Europe's modern human-dominated landscapes. *Science*, 346, 1517–1519. <https://doi.org/10.1126/science.1257553>
- Cubaynes, S., Pradel, R., Choquet, R., Duchamp, C., Gaillard, J.-M., Lebreton, J.-D., ... Gimenez, O. (2010). Importance of accounting for detection heterogeneity when estimating abundance: The case of French wolves. *Conservation Biology*, 24, 621–626. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01431.x>
- da Rocha, D. G., Sollmann, R., Ramalho, E. E., Ilha, R., & Tan, C. K. W. (2016). Ocelot (*Leopardus pardalis*) density in Central Amazonia. *PLoS ONE*, 11, e0154624. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154624>
- DREAL Grand Est (2018). *Diagnostic partagé du massif des Vosges pour une vision transversale du territoire et de ses enjeux*. Retrieved from <https://www.grandest.fr/piece-n07-rapport-du-sraddet-1sur3-diagnostic>
- Efford, M. (2004). Density estimation in live-trapping studies. *Oikos*, 106, 598–610. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.13043.x>
- Efford, M. (2019). *secr: Spatially explicit capture-recapture models. R package version 3.2.1*. [Internet]. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=secr>
- Gardner, B., Reppucci, J., Lucherini, M., & Royle, J. A. (2010). Spatially explicit inference for open populations: Estimating demographic parameters from camera-trap studies. *Ecology*, 91, 3376–3383. <https://doi.org/10.1890/09-0804.1>
- Gerber, B. D., Ivan, J. S., & Burnham, K. P. (2014). Estimating the abundance of rare and elusive carnivores from photographic-sampling data when the population size is very small. *Population Ecology*, 56, 463–470. <https://doi.org/10.1007/s10144-014-0431-8>
- Gerber, B. D., Karpanty, S. M., & Kelly, M. J. (2012). Evaluating the potential biases in carnivore capture–recapture studies associated with the use of lure and varying density estimation techniques using photographic-sampling data of the Malagasy civet. *Population Ecology*, 54, 43–54. <https://doi.org/10.1007/s10144-011-0276-3>
- Gervasi, V., Brøseth, H., Gimenez, O., Nilsen, E. B., Odden, J., Flagstad, Ø., & Linnell, J. D. C. (2016). Sharing data improves monitoring of transboundary populations: The case of wolverines in central Scandinavia. *Wildlife Biology*, 22, 95–106. <https://doi.org/10.2981/wlb.00142>
- Goldberg, J. F., Tempa, T., Norbu, N., Hebblewhite, M., Mills, L. S., Wangchuk, T. R., & Lukacs, P. (2015). Examining temporal sample scale and model choice with spatial capture–recapture models in the common leopard *Panthera pardus*. *PLoS ONE*, 10, e0140757. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140757>
- Hurstel, A., & Laurent, A. (2016). Première preuve de dispersion du Lynx d'Eurasie (*Lynx lynx*) du Jura vers les Vosges. *Ciconia*, 40, 1–6.
- Kelly, M., Betsch, J., Wultsch, C., Mesa, B., & Mills, L. (2012). Noninvasive sampling for carnivores. In L. Boitani & R. A. Powell (Eds.), *Carnivore ecology and conservation: A handbook of techniques* (pp. 47–69). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Kramer-Schadt, S., Revilla, E., Wiegand, T., & Breitenmoser, U. (2004). Fragmented landscapes, road mortality and patch connectivity: Modelling influences on the dispersal of Eurasian lynx. *Journal of Applied Ecology*, 41, 711–723. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00933.x>
- Kubala, J., Smolko, P., Zimmermann, F., Rigg, R., Tám, B., Il'ko, T., ... Breitenmoser, U. (2017). Robust monitoring of the Eurasian lynx *Lynx lynx* in the Slovak Carpathians reveals lower numbers than officially reported. *Oryx*, 53, 548–556. <https://doi.org/10.1017/S003060531700076X>
- Laurent, A., Léger, F., Briaudet, P. E., Léonard, Y., Bataille, A., & Goujon, G. (2012). Evolution récente (2008–2010) de la population de Lynx en France. *Faune Sauvage*, 294, 38–39.
- Linden, D. W., Sirén, A. P. K., & Pekins, P. J. (2018). Integrating telemetry data into spatial capture–recapture modifies inferences on multi-scale resource selection. *Ecosphere*, 9, e02203. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2203>
- López-Bao, J. V., Godinho, R., Pacheco, C., Lema, F. J., García, E., Llana, L., ... Jiménez, J. (2018). Toward reliable population estimates of wolves by combining spatial capture–recapture models and non-invasive DNA monitoring. *Scientific Reports*, 8, 2177. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20675-9>
- Marboutin, E., Duchamp, C., Moris, P., Briaudet, P.-E., Léonard, Y., & Catusse, M. (2012). Survey of the Lynx distribution in the French Alps: 2005–2009 update. *Acta Biologica Slovenica*, 55, 29–34.
- Mumma, M. A., Zieminski, C., Fuller, T. K., Mahoney, S. P., & Waits, L. P. (2015). Evaluating noninvasive genetic sampling techniques to estimate large carnivore abundance. *Molecular Ecology Resources*, 15, 1133–1144. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12390>
- Obbard, M. E., Howe, E. J., & Kyle, C. J. (2010). Empirical comparison of density estimators for large carnivores. *Journal of Applied Ecology*, 47, 76–84. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01758.x>
- Otis, D. L., Burnham, K. P., White, G. C., & Anderson, D. R. (1978). Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife Monographs*, 76, 3–135. <https://doi.org/10.2307/2287873>
- Pesenti, E., & Zimmermann, F. (2013). Density estimations of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the Swiss Alps. *Journal of Mammalogy*, 94, 73–81. <https://doi.org/10.1644/11-MAMM-A-322.1>
- Reppucci, J., Gardner, B., & Lucherini, M. (2011). Estimating detection and density of the Andean cat in the high Andes. *Journal of Mammalogy*, 92, 140–147. <https://doi.org/10.1644/10-MAMM-A-053.1>
- Royle, J. A., Chandler, R. B., Gazenski, K. D., & Graves, T. A. (2013). Spatial capture–recapture models for jointly estimating population density and landscape connectivity. *Ecology*, 94, 287–294. <https://doi.org/10.1890/12-0413.1>
- Royle, J. A., Chandler, R. B., Sollmann, R., & Gardner, B. (2014). *Spatial capture-recapture* [Internet]. New York, NY: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-01222-7>
- Royle, J. A., Fuller, A. K., & Sutherland, C. (2016). Spatial capture–recapture models allowing Markovian transience or dispersal. *Population Ecology*, 58, 53–62. <https://doi.org/10.1007/s10144-015-0524-z>
- Royle, J. A., & Young, K. V. (2008). A hierarchical model for spatial capture–recapture data. *Ecology*, 89, 2281–2289. <https://doi.org/10.1890/07-0601.1>
- Sollmann, R., Furtado, M. M., Gardner, B., Hofer, H., Jácomo, A. T. A., Tórres, N. M., & Silveira, L. (2011). Improving density estimates for elusive carnivores: Accounting for sex-specific detection and movements using spatial capture–recapture models for jaguars in central Brazil. *Biological Conservation*, 144, 1017–1024. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.12.011>
- Stetz, J. B., Mitchell, M. S., & Kendall, K. C. (2018). Using spatially-explicit capture–recapture models to explain variation in seasonal density patterns of sympatric ursids. *Ecography*, 42, 237–248. <https://doi.org/10.1111/ecog.03556>
- Sutherland, C., Fuller, A. K., & Royle, J. A. (2015). Modelling non-Euclidean movement and landscape connectivity in highly structured ecological networks. *Methods in Ecology and Evolution*, 6, 169–177. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12316>
- Sutherland, C., Muñoz, D. J., Miller, D. A. W., & Grant, E. H. C. (2016). Spatial capture–recapture: A promising method for analyzing data collected using artificial cover objects. *Herpetologica*, 72, 6–12. <https://doi.org/10.1655/HERPETOLOGICA-D-15-00027>
- Sutherland, C., Royle, J. A., & Linden, D. W. (2019). oSCR: A spatial capture–recapture R package for inference about spatial ecological processes. *Ecography*, 42, 1459–1469. <https://doi.org/10.1111/ecog.04551>
- Tenan, S., Pedrini, P., Bragalanti, N., Groff, C., & Sutherland, C. (2017). Data integration for inference about spatial processes: A model-based approach to test and account for data inconsistency. *PLoS ONE*, 12, e0185588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185588>
- Vandel, J.-M., & Stahl, P. (2005). Distribution trend of the Eurasian lynx *Lynx lynx* populations in France. *Mammalia*, 69, 145–158. <https://doi.org/10.1515/mamm.2005.013>

- Vandel, J.-M., Stahl, P., Herrenschmidt, V., & Marboutin, E. (2006). Reintroduction of the lynx into the Vosges mountain massif: From animal survival and movements to population development. *Biological Conservation*, 131, 370–385. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.02.012>
- Vitkalova, A. V., Feng, L., Rybin, A. N., Gerber, B. D., Miquelle, D. G., Wang, T., ... Ge, J. (2018). Transboundary cooperation improves endangered species monitoring and conservation actions: A case study of the global population of Amur leopards. *Conservation Letters*, 11, e12574. <https://doi.org/10.1111/conl.12574>
- Vogt, K., Zimmermann, F., Kölliker, M., & Breitenmoser, U. (2014). Scent-marking behaviour and social dynamics in a wild population of Eurasian lynx *Lynx lynx*. *Behavioural Processes*, 106, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2014.04.017>
- Weingarth, K., Heibl, C., Knauer, F., Zimmermann, F., Bufka, L., & Heurich, M. (2012). First estimation of Eurasian lynx (*Lynx lynx*) abundance and density using digital cameras and capture–recapture techniques in a German national park. *Animal Biodiversity and Conservation*, 35, 197–207.
- Weingarth, K., Zeppenfeld, T., Heibl, C., Heurich, M., Bufka, L., Daniszová, K., & Müller, J. (2015). Hide and seek: Extended camera-trap session lengths and autumn provide best parameters for estimating lynx densities in mountainous areas. *Biodiversity and Conservation*, 24, 2935–2952. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0986-5>
- White, G. C., Anderson, D. R., Burnham, K. P., & Otis, D. L. (1982). *Capture-recapture and removal methods for sampling closed populations* (p. 14). Los Alamos, NM: Los Alamos National Laboratory. Retrieved from <http://pubs.er.usgs.gov/publication/70120390>
- Whittington, J., & Sawaya, M. A. (2015). A comparison of grizzly bear demographic parameters estimated from non-spatial and spatial open population capture-recapture models. *PLoS ONE*, 10, e0134446. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134446>
- Williams, B. K., Nichols, J. D., & Conroy, M. J. (2002). *Analysis and management of animal populations*. San Diego, CA: Academic Press.
- Zimmermann, F., & Breitenmoser, U. (2007). Potential distribution and population size of the Eurasian lynx *Lynx lynx* in the Jura Mountains and possible corridors to adjacent ranges. *Wildlife Biology*, 13, 406–416. [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2007\)13\[406:PDAPS O\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2007)13[406:PDAPS O]2.0.CO;2)
- Zimmermann, F., Breitenmoser-Würsten, C., & Breitenmoser, U. (2005). Natal dispersal of Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in Switzerland. *Journal of Zoology*, 267, 381–395. <https://doi.org/10.1017/S0952836905007545>
- Zimmermann, F., Breitenmoser-Würsten, C., Molinari-Jobin, A., & Breitenmoser, U. (2013). Optimizing the size of the area surveyed for monitoring a Eurasian lynx (*Lynx lynx*) population in the Swiss Alps by means of photographic capture-recapture. *Integrative Zoology*, 8, 232–243. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12017>
- Zimmermann, F., & Foresti, D. (2016). Capture-recapture methods for density estimation. In F. Rovero & F. Zimmermann (Eds.), *Camera trapping for wildlife research* (pp. 95–141). Exeter, UK: Pelagic Publishing.

How to cite this article: Gimenez O, Gatti S, Duchamp C, et al. Spatial density estimates of Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in the French Jura and Vosges Mountains. *Ecol Evol*. 2019;00:1–9. <https://doi.org/10.1002/ece3.5668>



Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores

www.croc-crea.org