

CROC
Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores

Bureaux
4 rue de la Banie
57590 Lucy
France
SIRET : 522 742 741 00039

Rapport d'activité Année 2017

Programmes scientifiques et éducation à l'environnement autour des mammifères carnivores sauvages

Le Loup gris, le Lynx boréal et le Chat forestier

Contact :

contact@croc-asso.org

03.87.86.90.76

Destinataires du document :

Partenaires financiers, scientifiques et techniques du CROC

Diffusion libre

Réalisation des programmes 2017 :

Estelle GERMAIN, Directrice
Anaïs CHARBONNEL, Chargée d'études scientifiques
Morgane PAPIN, Doctorante CIFRE
Mélanie AZNAR, Stagiaire de Master 2

Rédaction du rapport d'activité 2017 :

Estelle GERMAIN, Directrice
Anaïs CHARBONNEL, Chargée d'études scientifiques
Morgane PAPIN, Doctorante CIFRE

Citation du document :

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.

SOMMAIRE

Introduction	7
Composition de l'équipe salariée en 2017	9
Partie 1. Amélioration de l'état de conservation du Lynx boréal (<i>Lynx lynx</i>) dans le Massif des Vosges	11
1.1. Suivi de l'état de conservation du Lynx dans le Massif des Vosges.....	12
1.1.1. Suivis par piégeage photographique	12
1.1.2. Autres suivis : déplacements et prédatons du lynx Arcos.....	20
Autres actions	22
Communications	22
1.2. Habitat et connectivité écologique Jura-Vosges-Palatinat	23
Évènement.....	24
Communication	24
1.3. Programme Lynx Massif des Vosges	24
Évènements.....	26
Communications	26
1.4. Partenariats, collaborations, réunions et groupes de travail.....	27
Partenariat de recherche avec l'ONCFS et le Réseau Loup Lynx.....	27
Parlement du Lynx animé par le PNR des Vosges du Nord / LIFE Lynx Palatinat.....	27
La Conférence du Rhin Supérieur (Oberrheinkonferenz, ORK)	28
Partie 2. Développement d'outils et de techniques de bioacoustique pour le suivi du Loup gris (<i>Canis lupus</i>) – Thèse CIFRE 2015-2018.....	29
Évènement.....	29
Rapport.....	29
Communications	29
Autres actions	29
Partie 3. Actions pédagogiques	30
3.1. Diffusion des expositions.....	30
3.2. Animations et autres actions pédagogiques	32
3.3. Partenariat pédagogique avec l'association Les Piverts (2017-2019).....	33
Références bibliographiques.....	34
Annexes	36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Informations sur les sites concernés par la pose des pièges photographiques dans le cadre du suivi ponctuel du Lynx par piégeage photographique dans le secteur de « COLROY-LA-ROCHE » d'avril 2016 à octobre 2017.....	16
Tableau 2 : Liste des espèces photographiées et nombre de nuits-sites réalisés au cours du suivi ponctuel du Lynx par piégeage photographique conduit dans le secteur de « COLROY-LA-ROCHE » d'avril 2016 à octobre 2017.....	17
Tableau 3 : Informations sur les sites concernés par la pose des pièges photographiques dans le cadre du suivi ponctuel du Lynx par piégeage photographique dans le secteur du « DONON » de février à novembre 2017.....	19
Tableau 4 : Liste des espèces photographiées et nombre de nuits-sites réalisés au cours du suivi ponctuel du Lynx par piégeage photographique conduit dans le secteur du « DONON » de février à novembre 2017.....	19
Tableau 5 : Liste des emprunts des expositions et des outils pédagogiques du CROC en 2017.....	31

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Lâcher d'Arcos dans le Palatinat en Allemagne le 7 mars 2017 (© SNU Martin Greve).....	20
Figure 2 : A. Lieu où Arcos a été localisé la dernière fois avant de franchir l'A4 le 24 mars 2017. On peut observer le grillage qui longe l'autoroute. B. Photographies de La Sarre et du type de paysages composés de prairies, de cultures et de forêts traversés par Arcos au cours de son déplacement en plaine avant d'atteindre les Hautes-Vosges. C. Photographie en haut à gauche : vue sur Le Petit Etang et en arrière-plan le Canal de la Marne au Rhin ; Photographie en haut à droite : vue sur la berge où Arcos a été localisé à quatre reprises avec à la droite de la berge Le Petit Etang et à gauche le canal ; Photographies en bas : vues du canal et de la berge opposée depuis la berge où Arcos est resté 3-4h dans la nuit du 25 au 26 mars 2017 avant d'être localisé de l'autre côté du canal. (© CROC 2017).....	21
Figure 3 : Deux proies d'Arcos découvertes en 2017 lors de prospections de terrain en plaine et dans le Massif des Vosges : à gauche un Chevreuil (© CROC / SNU 2017) et à droite un Chamois (© CROC 2017).....	22
Figure 4 : Passage à faune du Col de Saverne, barrière pour le Lynx dans le Massif des Vosges (à gauche, © CROC 2015). Lynx tué par collision routière dans le Massif du Jura (à droite, © ONCFS A. Laurent).....	23
Figure 5 : Calendrier prévisionnel du PLMV fin 2017.....	25
Figure 6 : Présentation du PLMV lors de communications orales par le CROC et l'ONCFS durant la Conférence « Le retour du lynx et du loup dans le Pfälzerwald et les Vosges du Nord » à Fischbach Bei Dahn le 20 octobre 2017 (à gauche) et par le CROC lors du Festival International de Géographie à Saint-Dié-des-Vosges le 30 septembre 2017 (à droite, © CROC 2017).....	25
Figure 7 : Formation « Les fondamentaux de la facilitation et la posture du facilitateur » dispensée par Estelle Balian dans les locaux du CROC en septembre 2017 (© CROC 2017).....	26
Figure 8 : A. Présentation du travail de détection des lynx lâchés en Allemagne par des chiens avec Michael Back de la SNU ; B. Présentation de l'enclos de la station de sauvegarde de Maßweile par Florian Eiserlo ; C. Visite avec Julian Sandrini (SNU) et un éleveur d'un troupeau de chèvres attaqué par un lynx lâché dans le Palatinat (© CROC 2017).....	28
Figure 9 : Exemple d'affiche élaborée par la Mairie de Vandoeuvre-lès-Nancy afin de communiquer sur son évènement en lien avec l'exposition sur le Chat forestier d'Europe du CROC.....	30
Figure 10 : A. Lancement du compte à rebours avant le week-end du Défi des foulées des 20 et 21 mai 2017 (© CROC 2017). Le CROC a assuré une communication sur sa page Facebook afin de motiver un maximum de personnes à participer à cet évènement. B. Livret pédagogique élaboré par la Fondation Nature et Découvertes et La Salamandre sur le thème du Lynx boréal. Ce livret promeut également le CROC et le Centre Athenas, les deux associations choisies dans le cadre de ce Défi des foulées pour leurs actions en faveur de la conservation du Lynx boréal en France.....	32
Figure 11 : Initiation à la pose de pièges photographiques avec la Fondation d'entreprise UEM le 17 août 2017 (© CROC 2017).....	32

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Fiche synthétique du projet ITTECOP ERC-Lynx « Éviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport ».....	37
ANNEXE 2 : Fiche de stage de Master 2 planifié en 2018 dans le cadre du projet ITTECOP ERC-Lynx.....	41
ANNEXE 3 : Plan détaillé du Programme Lynx Massif des Vosges au 21 mars 2018.....	45
ANNEXE 4 : Poster présenté lors du 33 ^{ème} colloque de l'IUGB à Montpellier en août 2017 sur le Programme Lynx Massif des Vosges.....	51
ANNEXE 5 : Rapport de stage de Master 2 de Mélanie AZNAR réalisé dans le cadre de la thèse CIFRE « Développement d'outils et de techniques de bioacoustique pour le suivi du Loup gris » (2015-2018).....	55

REMERCIEMENTS

Ces remerciements viennent compléter les remerciements des personnes et organismes impliqués dans les autres rapports d'activités 2017 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, la Fondation d'entreprise UEM, la Fondation Nature et Découvertes et les participants du Défi des foulées 2017.



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



NATURE &
DECOUVERTES



LE DÉFI DES FOULÉES



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

- Lorraine Active, le COJEP et le Dispositif Local d'Accompagnement de Moselle (DLA 57) ainsi qu'AForGest, FIDAL et Le Cabinet Comptable ;

- 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 National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS), en particulier les Délégations Régionales Grand Est et Bourgogne Franche-Comté, les Services Départementaux du Massif des Vosges ainsi que l'équipe Loup Lynx de la Direction de la Recherche et de l'Expertise ;
- 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) qui ont été concernées par la pose de pièges photographiques dans le cadre du suivi du Lynx dans le Massif des Vosges et dont la liste figure dans ce rapport ;
- 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 dans le Massif des Vosges et dont la liste figure dans ce rapport ;
- Les communes qui ont été concernées par la pose de pièges photographiques dans le cadre du suivi du Lynx dans le Massif des Vosges et dont la liste figure dans ce rapport ;
- Les membres du comité de pilotage et du comité de lecture du Programme Lynx Massif des Vosges (PLMV) dont la liste figure sur le site internet du PLMV¹ ainsi que l'ensemble des personnes et organismes contactés dans le cadre de ce programme et dont mention sera faite dans les remerciements du PLMV une fois finalisé ;
- Les membres du comité de pilotage de la thèse CIFRE « Développement d'outils et de techniques de bioacoustique pour le suivi du Loup gris » porté par le CROC et co-encadré avec le LIEC de l'Université de Lorraine et le BEC ainsi que les personnes et organismes contactés et sollicités dans le cadre de ce travail de recherche dont mention sera faite dans le manuscrit de thèse ;
- Le Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (CEFE) de Montpellier (UMR 5175 ; Tutelles : CNRS, Université de Montpellier, Université Paul-Valéry, EPHE) ;
- Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), en particulier la Direction Territoriale Est ;
- 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 ;
- Le Groupe Tétras Vosges ;
- Les Piverts ;
- Les structures qui ont emprunté nos expositions et dont la liste figure dans ce rapport ;
- L'ensemble des personnes qui participent bénévolement à la vie du CROC.

¹ <https://sites.google.com/view/programmelynxmassifdesvosges/accueil>

Introduction

Depuis 8 ans, le Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores est une structure dynamique dont les principales missions sont la recherche, la formation et la diffusion des connaissances. Son travail s'oriente plus précisément sur l'étude des mammifères carnivores vivant sur le territoire européen, de leurs habitats et de leurs proies ainsi que sur la conception d'outils de sensibilisation sur ces thématiques. **Son champ d'actions concerne la recherche scientifique en écologie appliquée et la diffusion des connaissances (publications et communications scientifiques) d'une part, l'éducation à l'environnement d'autre part.**

La dynamique de travail de l'équipe du CROC s'inscrit dans une démarche multi-partenariale (universités, gestionnaires, organismes publics ou privés, etc.) afin que ses projets scientifiques bénéficient de compétences complémentaires en écologie (dynamique des populations, aménagement du territoire, biostatistique, etc.). Ses programmes peuvent également nécessiter une approche pluridisciplinaire pour atteindre certains objectifs (intégration d'une dimension humaine et sociale par exemple grâce à l'implication de sociologues).

Les programmes de recherche du CROC sont axés sur des problématiques actuelles en lien avec la conservation ou la gestion des carnivores et ont pour objectif de participer au développement de la connaissance sur ces espèces aux mœurs discrètes et parfois méconnues, ainsi que de contribuer à améliorer la coexistence avec les activités humaines.

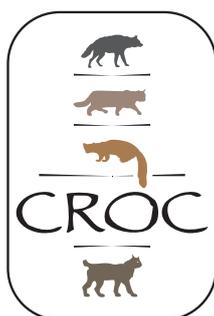
En 8 ans, le CROC a intégré le réseau des acteurs de la recherche scientifique sur les mammifères carnivores tant au niveau régional, national qu'europpéen. La recherche en écologie appliquée constitue le socle du développement de ses programmes scientifiques qui s'inscrivent dans une démarche prospective innovante visant à mettre la recherche scientifique au service des enjeux du territoire. Aujourd'hui, le CROC est un organisme reconnu au sein de la communauté scientifique, des gestionnaires mais aussi au sein du réseau des acteurs de l'éducation, comme en témoignent la production scientifique réalisée au cours de ces 8 premières années (publications, rapports, colloques), les collaborations et les partenariats mis en place, la diffusion dynamique de ses expositions pédagogiques et les demandes ponctuelles d'animations, de conférences et de formations.

Le présent rapport d'activité présente une synthèse des principales missions entreprises par le CROC en 2017 autour des programmes suivants :

- L'amélioration de l'état de conservation du Lynx boréal *Lynx lynx* dans le Massif des Vosges au travers du suivi de l'espèce sur le terrain, la coordination et l'animation du Programme Lynx Massif des Vosges et le développement d'études sur l'habitat et la connectivité écologique. En effet, malgré le programme de réintroduction conduit dans le Massif des Vosges entre 1983 et 1993 au cours duquel 21 lynx ont été lâchés, l'état de conservation du Lynx boréal dans le massif est aujourd'hui critique. Or, le félin figure sur la liste des espèces protégées et menacées d'extinction sur le territoire français. Améliorer l'état de conservation du Lynx dans le Massif des Vosges représente un enjeu qui dépasse les limites de ce territoire. Le Massif des Vosges représente en effet un enjeu pour l'espèce à l'échelle ouest européenne puisqu'il se situe géographiquement entre le Massif du Jura, qui accueille le cœur de la population française de lynx et qui est lié aux populations suisses, et la forêt du Palatinat en Allemagne où un programme de réintroduction est en cours de réalisation.
- Le développement d'outils et de techniques de bioacoustique pour le suivi du Loup gris *Canis lupus* dans le cadre d'une thèse CIFRE (2015-2018). Le Loup gris a amorcé un retour dans le Massif des Vosges depuis 2011 et dans la plaine de Lorraine depuis 2012. L'objectif de ce programme scientifique est de développer de nouvelles méthodes de suivi afin de mieux comprendre et de suivre l'expansion du Loup gris, étape indispensable pour la mise en place de mesures de gestion ou de conservation de l'espèce d'une part et d'autre part, pour prévenir ou atténuer les conflits avec les activités humaines.
- La diffusion des expositions et outils pédagogiques sur le Lynx boréal, le Loup gris et le Chat sauvage. Les conférences CROC'Nature organisées par le CROC n'ont quant à elles pas été reconduites du fait du plan Vigipirate renforcé.

📌 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 4 rue de la Banie à Lucy (57590). Il accueille l'activité principale de l'association et son équipe salariée. 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 00039 ; Code APE : 7219Z ; N° TVA intracommunautaire : FR 38522742741). Le 30 mars 2015, le CROC a obtenu l'agrément en qualité d'entreprise solidaire d'utilité sociale par arrêté préfectoral pour une période de 2 ans (N°2015 / 34 SCAD). Une demande de renouvellement de cet agrément est en cours.



www.croc-asso.org

Composition de l'équipe salariée en 2017

Depuis 2016, l'équipe se compose de trois salariés : Estelle Germain qui occupe le poste de directrice, Anaïs Charbonnel qui occupe le poste de chargée d'études scientifiques (missions Lynx principalement), et Morgane Papin, doctorante. En 2017, une stagiaire de Master 2, Mélanie AZNAR, a également rejoint l'équipe pour une période de 6 mois pour appuyer le travail de recherche de notre doctorante.



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-asso.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).

Tél : + 33 (0)6 25 81 25 41/ Email : anaïs.charbonnel@croc-asso.org

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



Morgane PAPIN, chargée d'études / Doctorante CIFRE (CDD créé en 2015)

Grâce à un BTS en Gestion et Protection de la Nature réalisé en Bretagne et une Licence Professionnelle en Gestion des Espaces Forestiers obtenue en Lorraine, Morgane PAPIN a pu accomplir de nombreux stages dans différents types de structures (associations, ONF, CNRS, mairie, etc.). Dans le but de compléter son parcours scolaire et ses expériences professionnelles, elle a intégré le Master en Ecologie et Ethologie de l'Université Jean Monnet de Saint-

Etienne. C'est au cours de son M2 que Morgane PAPIN a rejoint l'équipe du CROC pour la réalisation de son stage de fin d'études sur la bioacoustique chez le Loup gris. Par la suite, l'équipe du CROC a monté un projet de thèse CIFRE pour poursuivre ce travail de recherche. Depuis le 1^{er} avril 2015, Morgane PAPIN est doctorante au CROC avec pour sujet de thèse le développement d'outils et de techniques de bioacoustique pour le suivi du Loup gris (*Canis lupus*). Sa thèse devrait s'achever d'ici fin 2018. En parallèle, Morgane participe à des formations dans son école doctorale et contribue ponctuellement aux autres activités du CROC (terrain, pédagogie) afin de compléter sa formation.

Tél : + 33 (0)6 85 45 06 73 / Email : morgane.papin@croc-asso.org

Pour plus de détails sur le profil de Morgane : http://croc-asso.org/croc/CROC_Morgane.html



Mélanie AZNAR, stagiaire (stage de fin d'étude de 6 mois)

Suite à un BTS Gestion et Protection de la Nature réalisé en Franche-Comté et une troisième année de licence en Biologie des Organisme et des Populations (BOP) en Savoie, Mélanie AZNAR a intégré le Master Ingénierie en Écologie et Gestion de la Biodiversité (IEGB) de l'Université de Montpellier. Au cours de ses études, elle a eu l'opportunité de partir au Costa Rica pour y réaliser des inventaires faunistiques puis en Bulgarie pour y étudier le régime alimentaire du Loup gris (*Canis lupus*). Suite à cette expérience, elle a pu intégrer l'équipe du CROC dans le cadre de son stage de M2. Le travail de stage de Mélanie s'intègre dans le cadre de la thèse CIFRE de Morgane PAPIN sur le développement d'outils et de techniques de bioacoustique pour le suivi du Loup gris.

Plus précisément, Mélanie a pour mission d'approfondir le volet portant sur l'application des indices de diversité acoustique pour l'estimation de la taille des meutes. Elle prend également part aux activités pédagogiques du CROC.

Pour plus de détails sur le profil de Mélanie : http://croc-asso.org/croc/CROC_Melanie.html

Partie 1. Amélioration de l'état de conservation du Lynx boréal (*Lynx lynx*) dans le Massif des Vosges

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 (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 (braconnage, 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 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 ne cesse de diminuer depuis 2005 (Marboutin *et al.* 2011 ; Laurent *et al.* 2012 ; Marboutin 2013 ; L'équipe animatrice du Réseau Lynx 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 (e.g. CROC 2014, 2015, 2016 ; Germain 2014a, b ; Germain et al. 2015, 2016). En 2016, l'aire de présence régulière avoisinerait les 100 km².

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). 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. Enfin, d'après l'IUCN, la population Vosges-Palatinat est en danger critique d'extinction (Kaczensky et al. 2012). Dès lors, il apparaît nécessaire de mettre en œuvre des actions pour améliorer l'état de conservation du Lynx dans le Massif des Vosges.

La présence du Lynx dans le massif constitue un enjeu qui va bien au-delà des limites de ce territoire. C'est le maintien de l'espèce à l'échelle ouest européenne qui est concerné (Marc 2015). En effet, localisé entre la forêt du Palatinat en Allemagne où un programme de réintroduction est en cours (Life+, 2015-2021 ; Kurtz 2015 ; Schwoerer & Scheid 2016 ; Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz 2015, 2016) 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 2017), 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 que le CROC conduit son programme scientifique visant à améliorer l'état de conservation du Lynx dans le Massif des Vosges au travers trois missions :

- Le suivi de l'état de conservation du Lynx dans le massif (travail de terrain) ;
- L'étude de l'habitat et de la connectivité écologique Jura-Vosges-Palatinat ;
- L'élaboration du Programme Lynx Massif des Vosges (PLMV) et sa coordination.

Parallèlement à ces missions, le CROC participe à différents groupes de travail sur le thème du Lynx (Parlement du Lynx dans les Vosges du Nord, Groupes des « experts lynx » de la Conférence du Rhin Supérieur, etc.).

1.1. Suivi de l'état de conservation du Lynx dans le Massif des Vosges

1.1.1. Suivis par piégeage photographique

En complément du suivi opportuniste mené à l'échelle nationale par l'ONCFS et le Réseau Loup Lynx, le CROC conduit actuellement trois types de suivi par piégeage photographique dans le Massif des Vosges : les suivis intensifs, les suivis intermédiaires et les suivis ponctuels dont les caractéristiques sont détaillées ci-dessous.

✓ Suivi INTENSIF

Ces suivis visent à estimer une densité et une abondance de lynx tout en prenant en compte la détectabilité de l'espèce.

- **Emprise spatiale** : Massif des Vosges
- **Fréquence** : Suivi annuel de 2012/2013 à 2015/2016 soit 4 suivis intensifs en tout
- **Durée** : 2 mois (8 à 10 semaines)
- **Variables étudiées** : Détection et identification de lynx (piégeage photographique), estimation de densité et d'abondance
- **Échantillonnage** : 30 sites ; 2 pièges photos/site ; surface d'environ 400 km².
- **Protocole de terrain** : Les suivis intensifs sont réalisés au cours de l'hiver durant deux mois afin de respecter la condition de « population fermée » nécessaire pour appliquer les modèles statistiques de « Capture-Marquage-Recapture ». Un maillage de cellules de 2,7 x 2,7 km a été défini sur l'ensemble du Massif des Vosges. Dans la zone étudiée, un site est sélectionné dans une maille sur deux assurant ainsi une bonne couverture spatiale de l'échantillonnage. Sur chaque site, une paire de pièges photographiques est posée en vis-à-vis afin de photographier les deux flancs des individus et de les identifier plus facilement.
- **Analyses statistiques** : Réalisées s'il y a suffisamment de données (= de photographies) de lynx ; En théorie, le protocole d'analyse consiste à réaliser des modèles de "Capture-Marquage-Recapture" (CMR) spatialement explicites, mais ils n'ont pas été encore réalisés dans le Massif des Vosges à cause de l'absence de photographie de lynx prise pendant ces suivis.
- **Protocole d'analyse** : Analyse des photographies ; recherche des photos de lynx ; identification des lynx photographiés par site ; estimation de l'effort d'échantillonnage (nombre de nuits-sites théorique et observé) ; élaboration de la liste des autres espèces détectées sur chaque site suivi.
- **Ressources humaines** : 1 personne à temps plein pendant 4 mois pour :
 - Préparer la session de terrain (matériel, construction des équipes, choix des sites)
 - Coordonner les équipes pendant le terrain (échanges hebdomadaires, récupération des photos, gestion des difficultés techniques)
 - Traiter les données récoltées et rédiger un rapport.

En plus, il faut compter 1 à 2 journées par semaine et par équipe (en moyenne 4 équipes de 2 personnes) durant les 2 mois de terrain (8 à 10 semaines) pour le relevé des pièges et la transmission des photographies.

- **Partenaires techniques** : ONCFS (convention de partenariat et de recherche) ; correspondants du Réseau Loup Lynx.
- **Autres remarques** : Suivi permettant de collecter des données de présence d'autres espèces (oiseaux, mammifères etc.) ; données de présence des espèces déterminantes ZNIEFF transmises au SINP (donnée dégradée à la maille ou au polygone ZNIEFF).

✓ Suivi INTERMEDIAIRE

Ces suivis visent à suivre les secteurs utilisés par des lynx lors de leurs déplacements et d'estimer l'emprise de leurs domaines vitaux. Leur mise en place fait suite à la confirmation de la présence d'un individu à l'aide d'une photographie.

- **Emprise spatiale** : Massif des Vosges
- **Fréquence** : Hiver 2013/2014 (4,5 mois) puis 2015/2016 (5,5 mois) ; pas de fréquence fixe : en fonction des indices de type « observation visuelle/photographies » remontés au Réseau Loup Lynx et validés.
- **Durée** : Variable, dépendante du contexte
- **Variables étudiées** : Détection et identification de lynx (piégeage photographique) ; suivi des secteurs utilisés ; estimation de l'emprise du domaine vital.
- **Échantillonnage** : Généralement plus de 10 sites ; 1 appareil par site.
- **Protocole de terrain** : Les suivis intermédiaires se composent d'au moins 10 appareils (1 piège par site) sans se figer à un plan d'échantillonnage calé sur un maillage ou une durée, ni à une fréquence fixe de relevés (contrairement aux suivis intensifs). Pour chacun des sites sélectionnés, un seul appareil photographique est mis en place.
- **Analyses statistiques** : Aucune
- **Protocole d'analyse** : Analyse des photographies ; recherche des photos de lynx ; identification des lynx photographiés par site ; estimation de l'effort d'échantillonnage (nombre de nuits-sites théorique et observé) ; élaboration de la liste des autres espèces détectées sur chaque site suivi.
- **Ressources humaines** : Variable ; fonction du nombre de pièges photographiques, de la période de l'année (enneigement) et de l'emplacement des appareils (accessibilité).
- **Partenaires techniques** : Aucun pour les 2 suivis intermédiaires conduits
- **Autres remarques** : Suivi permettant de collecter des données de présence d'autres espèces (oiseaux, mammifères, etc.) ; données de présence des espèces déterminantes ZNIEFF transmises au SINP (donnée dégradée à la maille ou au polygone ZNIEFF).

✓ Suivi PONCTUEL

Ces suivis visent à confirmer à l'aide d'une photographie la présence de l'espèce localement suite à la collecte d'un faisceau d'indices retenus ou non par le Réseau Loup Lynx et, le cas échéant, à identifier l'individu.

- **Emprise spatiale** : Massif des Vosges
- **Fréquence** : Initié en 2012, au total 11 suivis ont déjà été réalisés (+ 1 en cours en 2018) ; pas de fréquence fixe : fonction des indices remontés au Réseau Loup Lynx et retenus ou non.
- **Durée** : Variable, dépendante du contexte
- **Variables étudiées** : Détection et identification de lynx (piégeage photographique) ; confirmation de la présence d'un lynx.
- **Échantillonnage** : Généralement moins de 10 sites mais peut prendre plus d'ampleur en fonction du contexte ; 1 appareil par site.
- **Protocole de terrain** : Les suivis ponctuels sont des suivis de petite envergure et ne sont pas figés à un plan d'échantillonnage calé sur un maillage ou une durée, ni à une fréquence fixe de relevés (contrairement aux suivis intensifs). Pour chacun des sites sélectionnés, un seul appareil photographique est mis en place.
- **Analyses statistiques** : Aucune
- **Protocole d'analyse** : Analyse des photographies ; recherche des photos de lynx ; identification des lynx photographiés par site ; estimation de l'effort d'échantillonnage (nombre de nuits-sites théorique et observé) ; élaboration de la liste des autres espèces détectées sur chaque site suivi.

- **Ressources humaines** : Variable ; fonction du nombre de pièges photographiques, de la période de l'année (enneigement) et de l'emplacement des appareils (accessibilité).
- **Partenaires techniques** : ONCFS (convention de partenariat et de recherche), ONF (convention de partenariat technique), correspondants du Réseau Loup Lynx.
- **Autres remarques** : Suivi permettant de collecter des données de présence d'autres espèces (oiseaux, mammifères, etc.) ; données de présence des espèces déterminantes ZNIEFF transmises au SINP (donnée dégradée à la maille ou au polygone ZNIEFF).

En 2017, deux suivis ponctuels ont été conduits :

- ⇒ Poursuite et finalisation du suivi ponctuel « Colroy-la-Roche » initié en 2016 par le CROC et l'ONF, suite à la collecte d'un faisceau d'indices transmis à l'ONCFS, animateur du Réseau Loup Lynx, et validés. L'ONF a assuré le travail de terrain tandis que le CROC a assuré la saisie des données collectées.
- ⇒ Mise en place et finalisation d'un nouveau suivi ponctuel (« Donon ») par le CROC et l'ONF, suite à la collecte d'un faisceau d'indices transmis à l'ONCFS, animateur du Réseau Loup Lynx, et validés. L'ONF et le CROC ont mis en place ensemble les pièges photographiques sur le terrain. Les relevés ont ensuite été assurés par l'ONF, le CROC se chargeant de la saisie des données collectées.

Les détails de ces deux suivis sont donnés ci-après sous la forme :

- D'une fiche synthétique présentant la localisation de chaque suivi, le contexte et les résultats obtenus ;
- D'un tableau descriptif des sites concernés par la pose de pièges photographiques (forêts, communes, éventuelles zones sensibles comme les réserves, les APB, etc.) ;
- D'un tableau synthétique faisant état de la liste des espèces de faune sauvage photographiées.

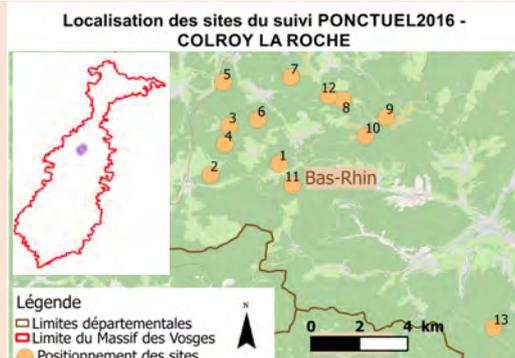
Autres actions

Le CROC a participé en 2017 à la construction de l'**Observatoire Régional sur la Biodiversité dans le Grand Est** coordonné par ODONAT en participant à une enquête puis à l'envoi d'une synthèse de ses suivis conduits sur les mammifères carnivores européens à l'échelle du Grand Est. Cette démarche s'inscrit dans le cadre de l'enquête « État des lieux de la connaissance de la biodiversité dans le Grand Est » soutenue par la DREAL, la Région Grand Est et les Agences de l'eau Rhin-Meuse, Seine-Normandie et Rhône-Méditerranée-Corse.

Contexte et objectifs

Ce suivi ponctuel a été mis en place suite à des indices collectés (observations visuelles, poils) dans le secteur courant 2016 (mars, août, septembre et octobre). Ces données ont été recueillies et transmises au Réseau Loup Lynx par Frédéric Preisemann, chef de triage patrimonial ONF et correspondant du Réseau. Certaines d'entre elles ont été validées.

Les suivis ponctuels sont mis en place par le CROC depuis 2012/2013 avec le soutien local de partenaires, dans le cas présent l'ONF. Ces suivis visent à confirmer à l'aide d'une photographie la présence de l'espèce localement suite à la collecte d'un faisceau d'indices retenus ou non par le Réseau et, le cas échéant, à identifier l'individu.



Protocole

Les suivis ponctuels sont des suivis de petite envergure (généralement moins de 10 pièges en place, parfois plus en fonction du contexte) et ne sont pas figés à un plan d'échantillonnage calé sur un maillage ou une durée, ni à une fréquence fixe de relevés (contrairement aux suivis intensifs). Pour chacun des sites sélectionnés, un seul appareil photographique est mis en place. Pas d'analyses statistiques réalisées.

Zone d'étude et plan d'échantillonnage

Région : Grand Est **Département :** Bas-Rhin (67) **Communes :** Bellefosse, Bourg-Bruche, Colroy-La-Roche, Neubois, Ranrupt
Surface couverte : 53,00 km² ¹ **Nombre de sites :** 13 **Nombre de pièges :** 13
Dates de pose : 11/04/16 (6), 12/08/16 (+6) et 10/01/17 (+1) **Date de retrait :** 31/10/2017 **Délai entre les relevés :** ≈ 1 mois

Prise de contact, information ou demande d'autorisation

ONCFS (DR Grand Est et SD 67), DDT 67, ONF (agence de Schirmeck, UT Haute Bruche et UT Val de Villé), FDC 67, communes de Bellefosse, Bourg-Bruche, Colroy-La-Roche, Neubois et Ranrupt

RESULTATS

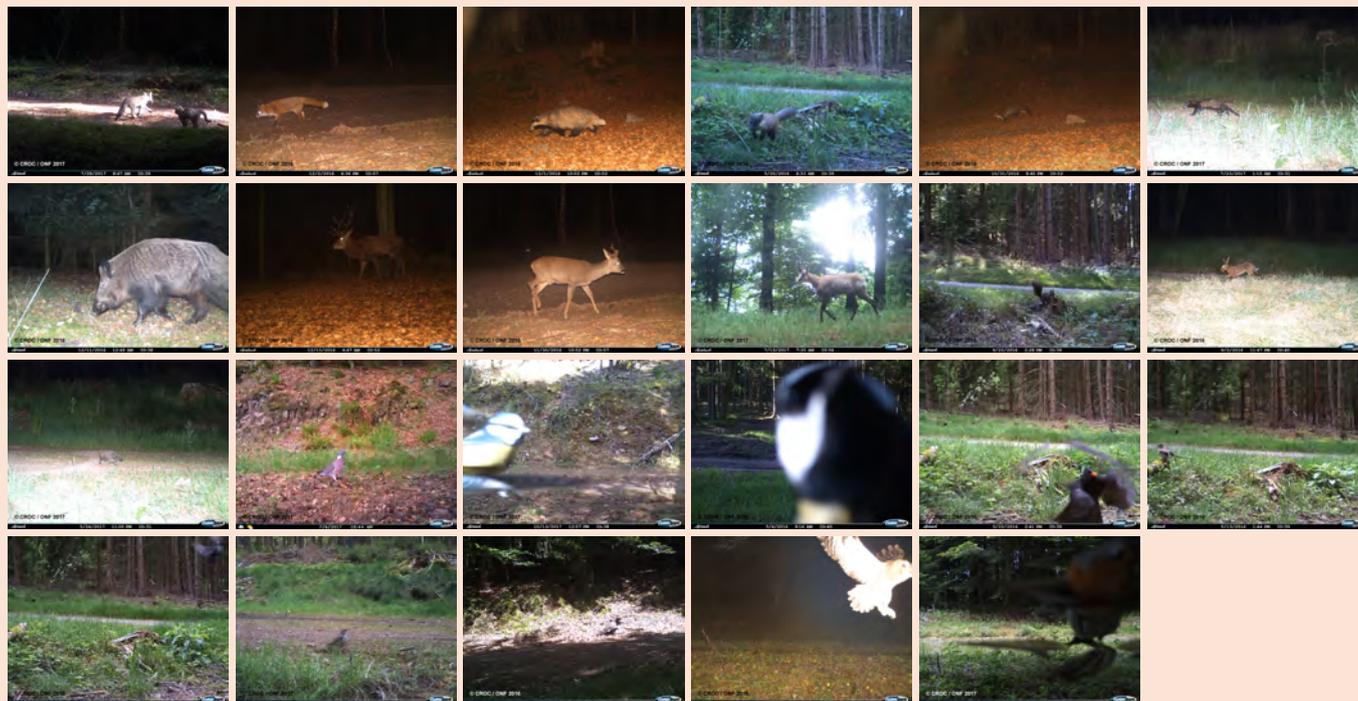
Effort d'échantillonnage

Nombre de nuits-sites² : 5974 Pression de piégeage photographique³ : 94% Vol/Vandalisme : non

Espèces photographiées

Nombre de photos d'animaux : 7397

Liste des espèces sauvages : Chat sauvage, Renard roux, Blaireau européen, Martre des pins, Fouine, Putois d'Europe, Sanglier, Cerf élaphe, Chevreuil, Chamois, Ecureuil roux, Lièvre d'Europe, Hérisson d'Europe, Pigeon ramier, Mésange bleue, Mésange charbonnière, Merle noir, Geai des chênes, Corneille noire, Grive draine, Buse variable, Chouette hulotte, Rougegorgé familier



CONCLUSION

Ce suivi n'a pas permis d'obtenir de confirmation photographique de la présence du Lynx boréal dans la zone étudiée.

¹ La surface a été calculée avec le logiciel Qgis et la méthode de l'enveloppe convexe.

² Nuits-sites (=nuits-pièges) calculées comme le nombre de pièges multiplié par le nombre de nuits où les appareils de chaque site ont été fonctionnels sur le terrain pendant la durée de l'étude.

³ La pression de piégeage photographique est maximale (100%) lorsque tous les appareils fonctionnent sans aléas pendant toute la durée de l'étude.

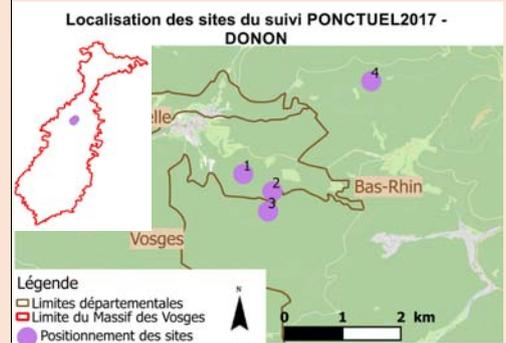
Tableau 1 : Informations sur les sites concernés par la pose des pièges photographiques dans le cadre du suivi ponctuel du Lynx par piégeage photographique dans le secteur de « COLROY-LA-ROCHE » d'avril 2016 à octobre 2017.

Maille CROC	Maille Programme	Forêt	Commune	INSEE	Département	Région	Nombre de nuits-pièges réalisé <u>(nuits-sites)</u>	ZNIEFF I	Nombre de zones
								HAUTEURS DE LA FORET DE LA VANCELLE, RUINES DU SCHLOSSBERG ET CRETE DE LA HINGRIE	
MV0493	01 pose 1	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	224		
MV0493	01 pose 2	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	290		
MV0492	02 pose 1	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	224		
MV0492	02 pose 2	Forêt communale de Bourg-Bruche	Bourg-Bruche	67059	Bas-Rhin	Alsace	264		
MV0492	03 pose 1	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	212		
MV0492	03 pose 2	Forêt communale de Colroy-La-Roche	Colroy-la-Roche	67076	Bas-Rhin	Alsace	308		
MV0492	04 pose 1	Forêt communale de Colroy-La-Roche	Colroy-la-Roche	67076	Bas-Rhin	Alsace	243		
MV0492	04 pose 2	Forêt communale de Bourg-Bruche	Bourg-Bruche	67059	Bas-Rhin	Alsace	291		
MV0470	05 pose 1	Forêt communale de Colroy-La-Roche	Colroy-la-Roche	67076	Bas-Rhin	Alsace	217		
MV0470	05 pose 2	Forêt communale de Colroy-La-Roche	Colroy-la-Roche	67076	Bas-Rhin	Alsace	299		
MV0470	06 pose 1	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	220		
MV0493	06 pose 2	Forêt communale de Colroy-La-Roche	Colroy-la-Roche	67076	Bas-Rhin	Alsace	305		
MV0471	07	Forêt communale de Colroy-La-Roche	Colroy-la-Roche	67076	Bas-Rhin	Alsace	439		
MV0472	08	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	433		
MV0494	09	Forêt domaniale du Champ Du Feu	Bellefosse	67026	Bas-Rhin	Alsace	436		
MV0494	10	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	414		
MV0514	11	Forêt communale de Colroy-La-Roche	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	436		
MV0471	12 pose 1	Forêt communale de Colroy-La-Roche	Colroy-la-Roche	67076	Bas-Rhin	Alsace	123		
MV0494	12 pose 2	Forêt communale de Ranrupt	Colroy-la-Roche	67076	Bas-Rhin	Alsace	300		
MV0472	12 pose 3	Forêt communale de Ranrupt	Colroy-la-Roche	67076	Bas-Rhin	Alsace	22		
MV0492	13 pose 1	Forêt communale de Ranrupt	Ranrupt	67384	Bas-Rhin	Alsace	92		
MV0559	13 pose 2	Forêt domaniale de La Vancelle	Neubois	67317	Bas-Rhin	Alsace	189	•	1
SOMME							5981	1	

Contexte et objectifs

Ce suivi ponctuel a été mis en place suite à des observations visuelles faites dans le secteur fin 2016 (novembre et décembre). Ces données ont été recueillies et transmises au Réseau Loup Lynx par Thierry Pellet, agent forestier ONF et correspondant du Réseau. L'une d'entre elles a été validée.

Les suivis ponctuels sont mis en place par le CROC depuis 2012/2013 avec le soutien local de partenaires, dans le cas présent l'ONF. Ces suivis visent à confirmer à l'aide d'une photographie la présence de l'espèce localement suite à la collecte d'un faisceau d'indices retenus ou non par le Réseau et, le cas échéant, à identifier l'individu.



Protocole

Les suivis ponctuels sont des suivis de petite envergure (généralement moins de 10 pièges en place, parfois plus en fonction du contexte) et ne sont pas figés à un plan d'échantillonnage calé sur un maillage ou une durée, ni à une fréquence fixe de relevés (contrairement aux suivis intensifs). Pour chacun des sites sélectionnés, un seul appareil photographique est mis en place. Pas d'analyses statistiques réalisées.

Zone d'étude et plan d'échantillonnage

Région : Grand Est	Département : Bas-Rhin (67) et Vosges (88)	Communes : Raon-Sur-Plaine, Grandfontaine
Surface couverte : 1,05 km ² ¹	Nombre de sites : 4	Nombre de pièges : 4
Date de pose : 15/02/2017	Date de retrait : 17/11/2017	Délai entre les relevés : ≈ 1 mois

Prise de contact, information et demande d'autorisation

ONCFS (DR Grand Est, SD 67 et 88), DDT 67 et 88, ONF (agences de Schirmeck et Vosges Montagne, UT Haute Bruche et UT Raon-l'Etape), FDC 67 et 88, communes de Grandfontaine et Raon-Sur-Plaine

RESULTATS

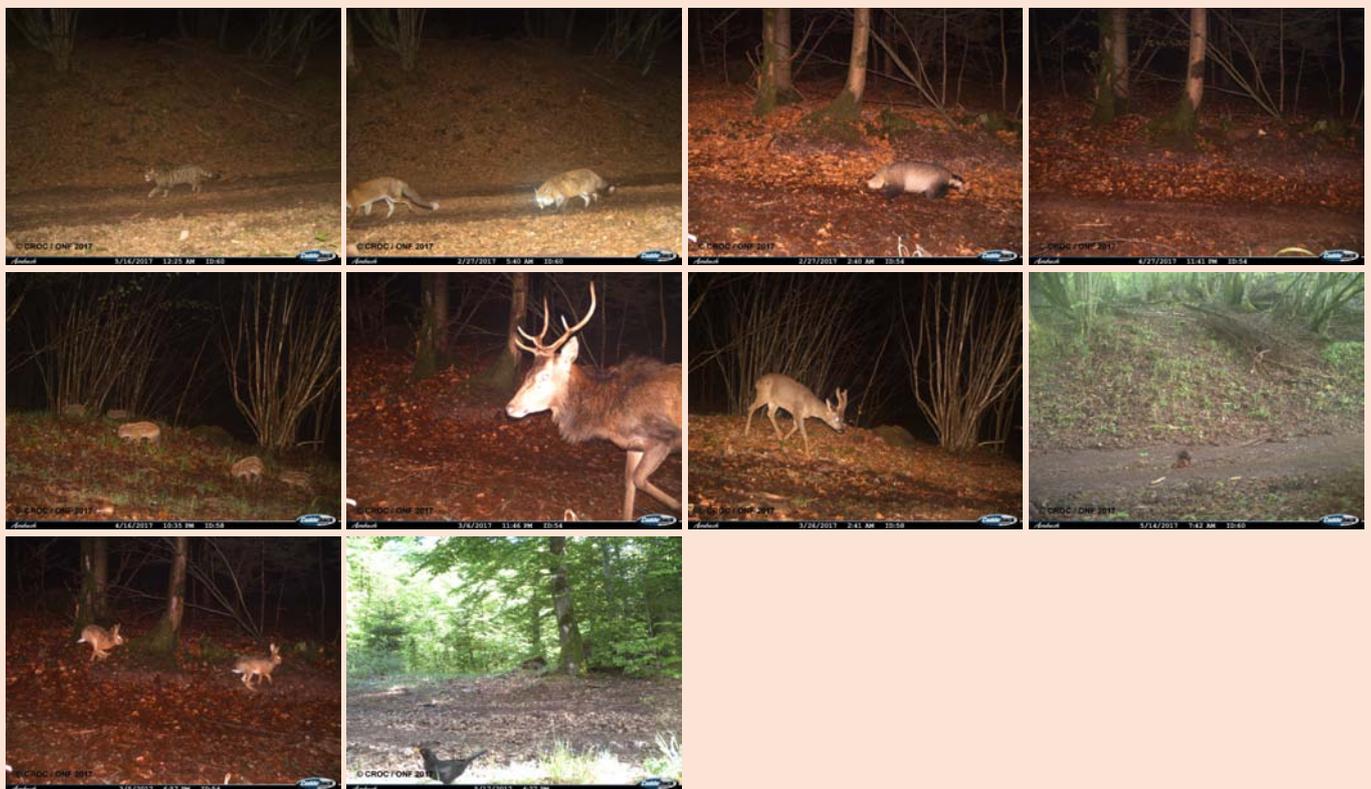
Effort d'échantillonnage

Nombre de nuits-sites² : 846 Pression de piégeage photographique³ : 77% Vol/Vandalisme : 1 appareil volé

Espèces photographiées

Nombre de photos d'animaux : 615

Liste des espèces sauvages : Chat sauvage, Renard roux, Blaireau européen, Martre des pins, Sanglier, Cerf élaphe, Chevreuil, Ecureuil roux, Lièvre d'Europe, Merle noir



CONCLUSION

Ce suivi n'a pas permis d'obtenir de confirmation photographique de la présence du Lynx boréal dans la zone étudiée.

¹ La surface a été calculée avec le logiciel Qgis et la méthode de l'enveloppe convexe.

² Nuits-sites (=nuits-pièges) calculées comme le nombre de pièges multiplié par le nombre de nuits où les appareils de chaque site ont été fonctionnels sur le terrain pendant la durée de l'étude.

³ La pression de piégeage photographique est maximale (100%) lorsque tous les appareils fonctionnent sans aléas pendant toute la durée de l'étude.

Tableau 3 : Informations sur les sites concernés par la pose des pièges photographiques dans le cadre du suivi ponctuel du Lynx par piégeage photographique dans le secteur du « DONON » de février à novembre 2017.

Maille CROC	Maille Programme	Forêt	Commune	INSEE	Département	Région	Nombre de nuits-pièges réalisés (nuits-sites)	ZNIEFF 1	ZNIEFF II		ZPS	Nombre de zones
								LA PLAINE DE LA SOURCE A LA TROUCHE (RAON-L'ETAPE)	VOSGES MOYENNES	FORETS DE MONTAGNE DES VOSGES MOYENNES DU MASSIF DU DONON AU SCHNEEBERG	Crêtes du Donon-Schneeberg, Bas-Rhin	
MV0382	01	Foret communale de Raon-Sur-Plaine	Raon-sur-Plaine	88373	Vosges	Lorraine	240		•			1
MV0382	02	Foret communale de Raon-Sur-Plaine	Raon-sur-Plaine	88373	Vosges	Lorraine	266	•	•			2
MV0382	03	Foret domaniale du Donon	Grandfontaine	67165	Bas-Rhin	Alsace	107			•		1
MV0360	04	Foret domaniale du Donon	Grandfontaine	67165	Bas-Rhin	Alsace	233			•	•	2
SOMME							846	1	2	2	1	

Tableau 4 : Liste des espèces photographiées et nombre de nuits-sites réalisés au cours du suivi ponctuel du Lynx par piégeage photographique conduit dans le secteur du « DONON » de février à novembre 2017.

Maille CROC	Maille Programme	Forêt	Commune	INSEE	Département	Région	Nombre de nuits-pièges réalisés (nuits-sites)	Photos d'animaux nombre brut	Espèces photographiées												Nombre d'espèces				
									Autres animaux	Canidés			Mustéidés		Ongulés				Petits mammifères						
									Animal indéterminé	Canidé indéterminé	Chien	Renard roux	Chat indéterminé	Chat sauvage	Blaireau européen	Martre des pins	Merle noir	Cerf élaphe	Chevreuil	Ongulé indéterminé	Sanglier	Ecreuil roux	Lièvre d'Europe		
MV0382	01	Foret communale de Raon-Sur-Plaine	Raon-sur-Plaine	88373	Vosges	Lorraine	240	146	•		•	•	•		•	•		•	•	•	•		•		11
MV0382	02	Foret communale de Raon-Sur-Plaine	Raon-sur-Plaine	88373	Vosges	Lorraine	266	161	•	•	•	•			•	•		•	•	•	•	•		•	9
MV0382	03	Foret domaniale du Donon	Grandfontaine	67165	Bas-Rhin	Alsace	107	144			•	•			•	•		•	•	•	•		•		10
MV0360	04	Foret domaniale du Donon	Grandfontaine	67165	Bas-Rhin	Alsace	233	164	•		•	•			•	•		•	•	•	•	•	•	•	11
SOMME							846	615	3	1	4	4	1	2	4	2	1	4	4	4	4	1	2		

1.1.2. Autres suivis : déplacements et prédateurs du lynx Arcos

En parallèle de ces sessions de suivis par piégeage photographique, le CROC a aussi apporté un appui technique sur le terrain en 2017 à l'équipe de la Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz (SNU) qui coordonne l'EU-Projekt LIFE Luchs Pfälzerwald suite à la dispersion et à l'installation dans le Massif des Vosges du Lynx Arcos lâché en Allemagne le 7 mars 2017 (**Figure 1**).



Figure 1 : Lâcher d'Arcos dans le Palatinat en Allemagne le 7 mars 2017 (© SNU Martin Greve).

Se dirigeant vers le sud, Arcos est arrivé en France le 22 mars 2017 par la commune de Bliesbruck en Moselle (57). Début Avril, il est arrivé dans le secteur de Gérardmer (88) dans les Hautes-Vosges où il s'est installé (présence encore confirmée en mai 2018 ; Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz, 2018). Au final, Arcos aura parcouru près de 350 km en 4 semaines (C. Scheid, *com. pers.*). Au cours de ce déplacement, il est resté en plaine jusqu'à ce qu'il atteigne les environs de Baccarat en Meurthe-et-Moselle (54), et a fréquenté des milieux diversifiés composés de prairies, de cultures et de forêts. Afin de permettre aux partenaires français de réaliser des actions complémentaires au suivi GPS d'Arcos (suivi, intervention, etc.), l'équipe allemande de la SNU a donné au CROC l'accès aux données de positionnement de l'animal.

Ainsi, en fonction des besoins de connaissance identifiés et dans la mesure de ses possibilités pratiques, le CROC a assuré en 2017 un suivi de terrain complémentaire visant à :

- **Visiter certains sites de franchissement d'infrastructures de transport terrestre (ITT)** d'Arcos lors de sa dispersion depuis le Palatinat jusque dans les Hautes-Vosges ;
- **Rechercher les proies d'Arcos** dans le cas d'une suspicion de consommation (cluster de localisations GPS nocturnes ; contrôle non systématique des clusters) ;
- **Réaliser un suivi télémétrique** pour localiser Arcos en l'absence de données GPS en raison de problème de couverture réseau par exemple ;

Concernant les barrières franchies par Arcos depuis son arrivée sur le territoire français jusqu'à son installation dans les Hautes-Vosges, une sortie de terrain a permis de visiter **trois sites de franchissement d'ITT** identifiés à savoir :

- L'autoroute A4,
- La Sarre,
- Le Canal de la Marne au Rhin.

Arcos est arrivé au niveau de l'autoroute A4 le 24 mars 2017 dans la soirée juste au nord-ouest de Sarre-Union dans le Bas-Rhin (67). A ce niveau, aucun passage à faune n'a été observé sur le terrain, uniquement le passage inférieur de la D237. Arcos a probablement traversé cette ITT en grimpant sur le grillage installé le long de l'autoroute (**Figure 2A**). Cette observation a déjà été faite par l'équipe de la SNU dans le Palatinat pour d'autres lynx lâchés dans le cadre du LIFE et dont les franchissements ont été suivis à l'aide de chiens créancés (M. Bach, *com. pers.*). Le passage de La Sarre a quant à lui eu lieu dans la nuit du 24 au 25 mars 2017 à l'ouest de Wolfskirchen (67, **Figure 2B**). Arcos a également franchi la LGV Grand Est dans la nuit du 25 mars 2017 au nord-ouest de Sarrebourg (57), sur l'axe Bettborn (57) – Dolving (57) mais ce point n'a pas été visité. Dans la nuit du 25 au 26 mars 2017, Arcos est arrivé au niveau du Canal de la Marne au Rhin où il a d'abord dû franchir le Petit Etang avant de se retrouver sur la berge située entre Le Petit Etang et le Canal de la Marne au Rhin (**Figure 2C**). Il est fort probable que cette première étape ait été faite à la nage de même que la suivante : le passage du canal. En effet, avant d'être localisé de l'autre côté du canal, Arcos a été localisé à quatre reprises le long de la berge où il est donc resté 3-4h.



Figure 2 : **A.** Lieu où Arcos a été localisé la dernière fois avant de franchir l'A4 le 24 mars 2017. On peut observer le grillage qui longe l'autoroute. **B.** Photographies de La Sarre et du type de paysages composés de prairies, de cultures et de forêts traversés par Arcos au cours de son déplacement en plaine avant d'atteindre les Hautes-Vosges. **C.** Photographie en haut à gauche : vue sur Le Petit Etang et en arrière-plan le Canal de la Marne au Rhin ; Photographie en haut à droite : vue sur la berge où Arcos a été localisé à quatre reprises avec à la droite de la berge Le Petit Etang et à gauche le canal ; Photographies en bas : vues du canal et de la berge opposée depuis la berge où Arcos est resté 3-4h dans la nuit du 25 au 26 mars 2017 avant d'être localisé de l'autre côté du canal. (© CROC 2017)

Dans le cadre de la recherche de proies d'Arcos, des prospections ont été réalisées compte tenu (1) du temps écoulé entre l'acquisition des données GPS et la date du cluster laissant suspecter une prédation (il peut parfois s'écouler plusieurs jours voire plusieurs semaines sans qu'aucune donnée ne soient transmises) ; (2) des conditions météorologiques ; (3) du respect des zones sensibles (zones de quiétudes du Grand Tétrás en période de quiétude par exemple) ; (4) dans la mesure des possibilités pratiques du CROC. **Au total, 11 journées de terrain ont été effectuées entre mars et décembre 2017 pour prospecter 17 sites.** Lors de ces prospections, cinq chevreuils, trois chamois, un oiseau (Pigeon) et 4 crottes de lynx ont été trouvés ainsi que 2 échantillons de poils d'ongulés qui ont été transmis à l'ONCFS pour analyse. Cela a conduit à la transmission de 13 fiches indices au Réseau Loup Lynx.



Figure 3 : Deux proies d'Arcos découvertes en 2017 lors de prospections de terrain en plaine et dans le Massif des Vosges : à gauche un Chevreuil (© CROC / SNU 2017) et à droite un Chamois (© CROC 2017).

Enfin, **deux sessions de télémétrie ont été réalisées.** La première a été réalisée le 23 mars 2017 avec la SNU lors de l'arrivée d'Arcos sur le territoire français. La seconde a été réalisée le 21 septembre 2017 dans les Hautes-Vosges après consultation de la SNU compte tenu d'une période prolongée d'absence d'acquisition de données GPS (secteur sans couverture de réseau). Lors de ces deux sessions, le signal VHF du collier d'Arcos a bien été capté confirmant ainsi sa présence.

Autres actions

En 2017, le CROC a travaillé avec la DR Grand Est de l'ONCFS sur la rédaction **d'une procédure de communication et de suivi concernant les lynx lâchés dans le Palatinat en Allemagne dans le cadre du Life Lynx porté par la SNU et se déplaçant sur le territoire français / Massif des Vosges.** Le document devrait être soumis aux acteurs du territoire pour avis début 2018.

Communications

Germain E. 2017. Arcos / Infrastructures de Transport franchises / Grand Est 2017. Réunion annuelle des correspondants du Réseau Loup Lynx par les départements du Bas-Rhin et de la Moselle, 5 décembre 2017, Mairie de Bitche, Bitche (57). *Communication orale*

Germain E. 2017. Arcos / Infrastructures de Transport franchises / Grand Est 2017. Réunion annuelle des correspondants du Réseau Loup Lynx pour les départements du Haut-Rhin et des Vosges, 14 décembre 2017, Maison du Parc naturel régional des Ballons des Vosges, Munster (68). *Communication orale*

1.2. Habitat et connectivité écologique Jura-Vosges-Palatinat

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 (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 ITTECOP² intitulé « **Eviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport / ERC-Lynx** ». 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. Il 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). De plus, une originalité du projet réside dans la co-construction de l'outil prédictif. En effet, le développement d'un outil à visée opérationnelle ne peut aboutir sans l'implication des acteurs du territoire. Aussi, le projet prévoit l'organisation de trois ateliers de travail pour co-construire et valider l'outil prédictif. La fiche synthétique du projet est présentée en **ANNEXE 1**.

En 2017, le CROC a contribué au montage du projet et à la rédaction de la réponse à l'appel à projets du programme ITTECOP. Suite à l'obtention des financements demandés, l'équipe du programme s'est réunie une première fois en fin d'année 2017 pour préparer le lancement du projet, le calendrier prévisionnel et l'organisation des rencontres de l'année 2018. Le CROC participera jusqu'en 2019 à ce programme qui fera aussi l'objet de valorisation scientifique (publications, articles vulgarisés ou colloques).



Figure 4 : Passage à faune du Col de Saverne, barrière pour le Lynx dans le Massif des Vosges (à gauche, © CROC 2015). Lynx tué par collision routière dans le Massif du Jura (à droite, © ONCFS A. Laurent).

Le CROC et le CEFE ont également monté un sujet de stage pour l'année 2018 intitulé « Identification et évaluation de la qualité fonctionnelle des corridors écologiques intra- et inter-massif pour la conservation du Lynx boréal dans le Massif des Vosges ». Une stagiaire de Master 2 a été recrutée (Charlotte-Anaïs Olivier) et rejoindra l'équipe du CROC en février 2018 pour 6 mois. La fiche de stage est présentée en **ANNEXE 2**.

Enfin, un site internet a été créé afin de présenter le projet ERC Lynx et son avancement : <https://sites.google.com/view/erclynx/>.

² Infrastructure de Transport Terrestre ECOSystème et Paysage
CROC / Rapport d'activité 2017
Version du 2018-05-31

Évènement

24 novembre 2017 : Réunion de travail pour le lancement début 2018 du programme ITTECOP ERC Lynx « Eviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport ». Cerema, Direction technique territoire et ville, Lyon (69).

Communication

Gimenez O., Duchamp C. **Germain E.** & Morand A. 2017. Eviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport. Colloque de l'appel CILB-ITTECOP-FRB, 19 et 20 octobre 2017, Paris (75). *Communication orale*

1.3. Programme Lynx Massif des Vosges

En 2016, le CROC a été à l'initiative du lancement du Programme Lynx Massif des Vosges (PLMV) en réponse à l'état de conservation critique du Lynx dans le massif. En effet, dans la mesure où le Lynx n'est pas actuellement concerné en France par l'élaboration d'un Plan National d'Actions (PNA), la mise en place d'un programme spécifique au massif a été proposée.

Animé et coordonné par le CROC (cellule de coordination), le PLMV vise à définir et développer des actions concrètes et ce, dans le cadre d'une démarche concertée (Phase rédactionnelle / construction des actions) et partagée (Phase opérationnelle / mise en œuvre des actions) avec les acteurs du territoire. L'objectif à long terme est d'améliorer l'état de conservation du Lynx boréal dans le Massif des Vosges en travaillant prioritairement sur la cohabitation avec les activités humaines ainsi que sur les habitats et leur connectivité écologique (Jura-Vosges-Palatinat). Ces actions vont s'organiser au sein de 5 axes de travail : (1) « Coexistence avec la chasse », (2) « Coexistence avec l'élevage », (3) « Habitat et connectivité écologique », (4) « Suivi du Lynx » et (5) « Education et perception » (voir Charbonnel et Germain 2018). Le PLMV se déclinera en deux phases : une phase rédactionnelle (synthèse bibliographique et rédaction des actions) et une phase opérationnelle (mise en œuvre des actions).

En 2017, le PLMV était dans sa phase rédactionnelle qui a été consacrée majoritairement à la rédaction de la synthèse bibliographique des connaissances portant sur le Lynx en Europe, en France et dans le Massif des Vosges. Le plan actuel détaillé du PLMV est présenté en **ANNEXE 3**. Ce travail a été mené par le CROC et a fait l'objet de nombreux échanges tout au long de l'année entre le CROC et le comité de lecture. Les lectures attentives des membres du comité de lecture, leurs remarques, avis et suggestions sur les 12 sous-parties de la synthèse bibliographique ont été très constructifs et ont permis de compléter finement le document. La finalisation de la synthèse des connaissances est prévue en 2018.

A l'issue de ce travail de rédaction, les besoins et enjeux de conservation du Lynx dans le Massif des Vosges ainsi que des pistes d'actions pour améliorer son état de conservation ont été identifiés et soumis également pour avis au comité de lecture.

A l'issue de l'ensemble des retours du comité de lecture, les documents produits ont été présentés lors du 2nd comité de pilotage du PLMV en septembre 2017 à Gérardmer, pour discussion, ajustements et validation. Ce Copil a également permis de faire un point sur l'avancement du programme et d'ajuster le calendrier prévisionnel 2017/2018 (**Figure 5** page suivante).

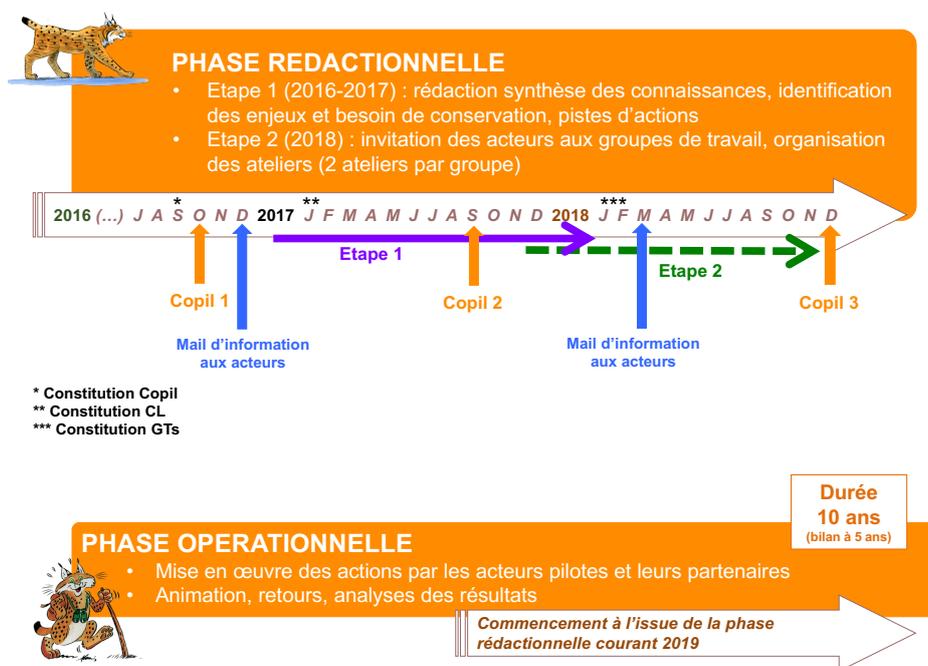


Figure 5 : Calendrier prévisionnel du PLMV fin 2017.

La promotion du PLMV s'est poursuivie en 2017 en faisant l'objet de valorisations scientifiques notamment lors de congrès internationaux. Plus précisément, le CROC a réalisé un poster pour le 33^{ème} « International Union of Game Biologists Congress » à Montpellier en août 2017 (voir **ANNEXE 4**) et une communication orale en septembre 2017 lors du Festival International de Géographie à Saint-Dié-des-Vosges. Le PLMV a aussi été présenté lors d'une co-présentation avec l'ONCFS durant la Conférence intitulée « Le retour du lynx et du loup dans le Pfälzerwald et les Vosges du Nord » en octobre 2017 à Fischbach Bei Dahn en Allemagne (**Figure 6**). Il a également été présenté lors des réunions annuelles du Réseau Loup Lynx à Bitche (57) et à Munster (68).



Figure 6 : Présentation du PLMV lors de communications orales par le CROC et l'ONCFS durant la Conférence « Le retour du lynx et du loup dans le Pfälzerwald et les Vosges du Nord » à Fischbach Bei Dahn le 20 octobre 2017 (à gauche) et par le CROC lors du Festival International de Géographie à Saint-Dié-des-Vosges le 30 septembre 2017 (à droite, © CROC 2017).

Un site internet dédié au PLMV a aussi été créé afin de renforcer la visibilité et la communication sur le projet et son avancement : <https://sites.google.com/view/programmelynxmassifdesvosges/accueil>.

Aussi, en vue de se préparer à l'animation des groupes de travail du PLMV (un groupe par thématique) en 2018, le CROC a suivi une formation au mois de septembre 2017 afin d'acquérir des bases fondamentales sur la facilitation et la posture du facilitateur (voir **Figure 7** page suivante).



Figure 7 : Formation « Les fondamentaux de la facilitation et la posture du facilitateur » dispensée par Estelle Balian dans les locaux du CROC en septembre 2017 (© CROC 2017).

Enfin, au fur et à mesure des réunions et des rencontres de l'année 2017, la liste des parties prenantes du territoire identifiées pour le PLMV a pu être ajustée et complétée en fonction des demandes et retours obtenus lors des échanges avec les acteurs.

Évènements

- 12-13 septembre 2017 :** Formation « Les fondamentaux de la facilitation et la posture du facilitateur ». Formation dispensée par Estelle Balian, formatrice indépendante. Bureaux du CROC, Lucy (57).
- 21 septembre 2017 :** 2^{ème} Comité de pilotage du Programme Lynx Massif des Vosges. Salle Diderot, Espace Tilleul, Gérardmer (88).

Communications

- Germain E. & Charbonnel A.** 2017. Programme Lynx Massif des Vosges. Réunion d'installation du Comité départemental de suivi « Grands Carnivores » de la Moselle, 6 février 2017, Préfecture de Moselle, Metz (57). *Communication orale*
- Germain E. & Charbonnel A.** 2017. The "Programme Lynx Massif des Vosges": improving the conservation status of the boreal Lynx in the Vosges Mountains massif through a concerted and shared approach with the actors of the territory. 33rd International Union of Game Biologists Congress, 22-25 Août, Montpellier (34). *Poster*
- Germain E. & Charbonnel A.** 2017. Le Programme Lynx Massif des Vosges : restaurer 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. Festival International de Géographie 2017, 29 Septembre-1er Octobre 2017, Saint-Dié-des-Vosges (88). *Communication orale*
- Schwoerer M.L, **Charbonnel A. & Germain E.** 2017. Situation du lynx en France et dans le Grand Est. Conférence Le retour du lynx et du loup dans le Pfälzerwald et les Vosges du Nord, 20-21 octobre 2017, Fischbach Bei Dahn, Allemagne. *Communication orale*
- Germain E. et Charbonnel A.** 2017. Le Programme Lynx Massif des Vosges (PLMV) - Bilan de l'avancement / Année 2017. Réunion annuelle des correspondants du Réseau Loup Lynx par les départements du Bas-Rhin et de la Moselle, 5 décembre 2017, Mairie de Bitche, Bitche (57). *Communication orale*
- Germain E. et Charbonnel A.** 2017. Le Programme Lynx Massif des Vosges (PLMV) - Bilan de l'avancement / Année 2017. Réunion annuelle des correspondants du Réseau Loup Lynx pour les départements du Haut-Rhin et des Vosges, 14 décembre 2017, Maison du Parc naturel régional des Ballons des Vosges, Munster (68). *Communication orale*

1.4. Partenariats, collaborations, réunions et groupes de travail

Comme chaque année, le CROC a également participé à des réunions, des groupes de travail et des collaborations lui permettant de poursuivre les échanges, discussions avec les acteurs dont les activités gravitent autour du Lynx dans le Massif des Vosges, en France et dans les pays limitrophes. Voici un rapide descriptif de nos contributions.

Partenariat de recherche avec l'ONCFS et le Réseau Loup Lynx

Forts de la coopération qu'ils ont initiée à travers une convention de recherche en date du 22 octobre 2012 pour une période de quatre mois portant sur les méthodes de détection du Lynx dans le Massif des Vosges, poursuivie par une seconde convention de partenariat et de recherche pour la période 2013/2016, l'ONCFS et le CROC ont reconduit ce partenariat pour la période 2017-2020 (convention de partenariat et de recherche N°2017/05). L'objectif ultime de ce partenariat porte plus particulièrement sur l'amélioration des capacités de recueil et d'échanges d'informations permettant une meilleure analyse de l'évolution de la répartition des espèces Loup et Lynx et de leurs effectifs dans le Massif des Vosges, et donc d'aboutir à de meilleures capacités de caractérisation de leur statut local.

Rapport

Charbonnel A., Schwoerer M.-L. et **Germain E.** 2017. Suivi par piégeage photographique du Lynx dans le Massif des Vosges. Session intensive 2016 / Vosges Moyennes / Février-Mars 2016. Partenariat de recherche CROC-ONCFS-Réseau Loup Lynx (N°DR04-2013-004), 14p.

Parlement du Lynx animé par le PNR des Vosges du Nord / LIFE Lynx Palatinat

Le Parlement du Lynx s'étant achevé fin 2016, une réunion a été planifiée en août 2017 afin de faire un point sur la réalisation et l'avancement des engagements pris par les membres du parlement dans le cadre du Livre blanc 2016 du Parlement du Lynx dans les Vosges du Nord.

Dans le cadre de la poursuite du parlement du Lynx, le CROC a également participé à plusieurs réunions organisées par le PNR des Vosges du Nord visant à impliquer les chasseurs volontaires des Vosges du Nord dans des actions liées au Lynx (formation, communication, collecte de données etc.).

Un travail de réflexion sur la circulation de l'information des lynx lâchés dans le Palatinat a également été mené avec les PNR des Vosges du Nord, l'ONCFS, les DDT de la Moselle et du Bas-Rhin, ainsi que la DREAL Grand Est.

Évènements

7 août 2017 : Journée de visite de l'équipe LIFE lynx dans le Palatinat organisée par la SNU et le PNR des Vosges du Nord. Siège du centre de recherches en écologie forestière de Rhénanie-Palatinat. Trippstadt, Allemagne (voir **Figure 8** page suivante).

5 septembre 2017 : Réunion sur la transparence et la qualité de la transmission de l'information sur les données de Lynx organisée par le PNR des Vosges du Nord. Le Presbytère, La Petite-Pierre (67).

14 novembre 2017 : Parlement lynx / Etat d'avancement des divers engagements inscrits dans le Livre blanc du parlement et échanges d'informations. Mairie de La Petite-Pierre, La Petite-Pierre (67).

12 décembre 2017 : Réunion d'échanges et de discussion sur la constitution d'un groupe de travail chasse / lynx organisée par le PNR des Vosges du Nord. Mairie de La Petite-Pierre, La Petite-Pierre (67).



A.



B.



C.

Figure 8 : **A.** Présentation du travail de détection des lynx lâchés en Allemagne par des chiens avec Michael Back de la SNU ; **B.** Présentation de l'enclos de la station de sauvegarde de Maßweile par Florian Eiserlo ; **C.** Visite avec Julian Sandrini (SNU) et un éleveur d'un troupeau de chèvres attaqué par un lynx lâché dans le Palatinat (© CROC 2017).

La Conférence du Rhin Supérieur (Oberrheinkonferenz, ORK)

Dans le cadre de la Conférence franco-germano-suisse du Rhin supérieur (voir CROC 2016 p. 27), le CROC est membre du groupe d'experts Lynx de l'ORK depuis 2016. En 2017, il a participé au groupe de travail « Monitoring » du groupe d'experts Lynx.

Évènement

16 mai 2017 : Deuxième réunion du groupe d'experts Lynx de la Conférence du Rhin Supérieur (CRS) sur le thème du « Monitoring du Lynx ». Zoo de Bâle, Basel, Suisse.

Partie 2. Développement d'outils et de techniques de bioacoustique pour le suivi du Loup gris (*Canis lupus*) – Thèse CIFRE 2015-2018

Le rapport rédigé à l'issue de la troisième année (1^{er} avril 2017 au 31 mars 2018) de la thèse CIFRE 2014/1220 intitulée « Développement d'outils et de techniques de bioacoustique pour le suivi du Loup gris (*Canis lupus*) » est exclusivement destiné aux partenaires financiers. En effet, il s'agit d'un travail de recherche scientifique dont les résultats sont en cours d'analyse et ne sont pas encore publiés. Les résultats publiés seront disponibles dans le manuscrit rédigé par la doctorante, Morgane Papin, à l'issue de sa thèse fin 2018. Les personnes et organismes contactés et sollicités dans le cadre de ce travail de recherche y seront également remerciés.

En 2017, le travail de Morgane Papin s'est concentré sur les analyses statistiques des données collectées ainsi que la valorisation des résultats à l'occasion de colloques nationaux, internationaux et de publications scientifiques dans des revues internationales à comité de lecture. Le second comité de pilotage de la thèse a également été organisé. Voici un résumé :

Évènement

9 mars 2017 : Comité de thèse CIFRE / Année 2 / Thèse CIFRE 2014/1220 « Développement d'outils et de techniques de bioacoustique pour le suivi du Loup gris (*Canis lupus*). Laboratoire LIEC, Campus Bridoux, Metz (57), France.

Rapport

Aznar M. 2017. Les indices de diversité acoustiques : Test d'un nouvel outil pour estimer l'effectif des meutes de loups gris. Rapport de stage de Master 2, CROC, Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores, Lucy, France, 64p. (**ANNEXE 5**)

Communications

Papin M., Pichenot J., Guérold F. & **Germain E.** 2017. Microphone array and passive acoustics: a new perspective for Grey wolf monitoring? International Congress 2017 "Wolf Management and Conservation in North America and Europe. An Unresolved Conflict", les 20, 21, 22 et 23 avril 2017, Centro del Lobo Ibérico, Robledo de Sanabria, Espagne. *Poster*

Papin M., Pichenot J., Guérold F. & **Germain E.** 2017. Microphone array and passive acoustics: a new perspective for Grey wolf monitoring? Journée des doctorants, le 25 avril 2017, Campus Aiguillettes, Vandœuvre-Lès-Nancy, France. *Poster* → **Obtention du premier prix « Poster »**

Papin M., Pichenot J., Guérold F. & **Germain E.** 2017. Les réseaux d'enregistreurs autonomes : un nouvel outil pour le suivi acoustique passif du loup gris ? 47^{ème} Colloque de la Société Française pour l'Étude du Comportement Animal (SFECA), les 15, 16 et 17 mai 2017, Imagif, CNRS, Gif-Sur-Yvette, France. *Communication orale* → **Obtention d'une bourse SFECA**

Aznar M. 2017. Les indices de diversité acoustiques : Test d'un nouvel outil pour estimer l'effectif des meutes de loups gris. Soutenance de stage de Master 2 conduit au CROC, le 30 août 2017, Université de Montpellier, Montpellier (34).

Autres actions

Le CROC a participé en 2017 à la rédaction du projet « Proposition de protocole d'effarouchement du Loup – Programmation 2018-2019 » porté par le Cerema en collaboration avec l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne et le bureau d'études BEC. Dans ce cadre, le CROC a rencontré l'association Encore Éleveurs Demain, le 16 juin 2017.

Initialement acquis pour le suivi du Loup gris dans le Massif des Vosges, le CROC a mis à la disposition du Groupe Tétràs Vosges 10 enregistreurs autonomes de type SM2+ pour le suivi du Grand Tétràs dans le Massif des Vosges (convention de partenariat technique et de recherche n°CROC-GTV-2017).

Partie 3. Actions pédagogiques

Depuis 2015, le CROC dispose d'une page Facebook pour communiquer sur ses activités pédagogiques (diffusion des expositions et des outils pédagogiques, soirées de conférences, etc.). Fin 2017, notre page a dépassé le cap des **1.200 abonnés**. Pour nous rejoindre, rendez-vous sur notre page Facebook : <https://www.facebook.com/CROC-Centre-de-Recherche-et-dObservation-sur-les-Carnivores-867102213312353/>

3.1. Diffusion des expositions

Dans le cadre de ses missions d'éducation à l'environnement, le CROC propose actuellement trois expositions pédagogiques présentant trois espèces de mammifères carnivores présents dans le Nord-Est de la France : le Chat sauvage *Felis s. silvestris*, le Lynx boréal *Lynx lynx* et le Loup gris *Canis lupus*. Depuis 2014, des outils et jeux pédagogiques complètent ces 3 expositions. Plus d'informations sur le contenu de nos expositions sont disponibles sur notre site internet : <http://croc-asso.org/croc/EEED.html>.

En 2017, l'exposition sur le Chat sauvage a été diffusée 4 fois pendant une durée totale de 101 jours. L'exposition sur le Lynx boréal a été diffusée 6 fois pendant une durée totale de 177 jours et l'exposition sur le Loup gris 3 fois pendant une durée totale de 186 jours. Enfin, nos jeux et outils pédagogiques ont été diffusés 8 fois pendant une durée totale de 176 jours. Le **Tableau 5** page suivante résume les prêts réalisés au cours de l'année 2017.



Figure 9 : Exemple d'affiche élaborée par la Mairie de Vandœuvre-lès-Nancy afin de communiquer sur son événement en lien avec l'exposition sur le Chat forestier d'Europe du CROC.

Tableau 5 : Liste des emprunts des expositions et des outils pédagogiques du CROC en 2017.

Expositions	Emprunteur	Lieu	Période	Événement
Le Chat sauvage	Mairie de Vandoeuvre-lès-Nancy	Ferme du Charmois, Vandoeuvre-lès-Nancy (54)	14 au 16 mars	Exposition sur le Chat forestier d'Europe
	Mairie de Norroy-le-Veneur	Salle du Fournil, Norroy-le-Veneur (57)	18 au 21 mai	Fête de la Nature
	Ecurey Pôles d'Avenir	Salle d'exposition temporaire, Montier-sur-Saulx (55)	1 ^{er} août au 31 octobre	Saison culturelle 2017
	Les Sonneurs de la Côte	Centre Socio Culturel, Pagny-sur-Moselle (54)	30 septembre au 1 ^{er} octobre	Les 15 ans des Sonneurs de la Côte
Le Lynx boréal	Maison de l'Environnement et du Développement Durable	Epinal (88)	1 ^{er} au 18 janvier	Le Lynx boréal
	Maison de la Forêt	Saint-Sauveur (54)	1 ^{er} avril au 24 mai	Exposition sur la faune et la flore locale
	Les Piverts	Lohr (67)	15 juin	Journée du Lynx (Programme Œil de Lynx)
	Nature et Découvertes	Centre Commercial Saint Sébastien, Nancy (54)	22 au 30 juin	Exposition sur le Lynx boréal
	Ecurey Pôles d'Avenir	Salle d'exposition temporaire, Montier-sur-Saulx (55)	1 ^{er} août au 31 octobre	Saison culturelle 2017
	ADFIG	Espace Copernic, Saint-Dié-Des-Vosges (88)	29 septembre au 1 ^{er} octobre	Festival International de Géographie - 28 ^{ème} édition
Le Loup gris	Maison des Jeunes et de la Culture de Wingen-sur-Moder / Sycoparc	Médiathèque et Salle LAC du collège, Wingen-sur-Moder (67)	16 janvier au 27 février	Le Loup gris
	Pavillon du Milieu de Loire	Pouilly-sur-Loire (58)	3 juin au 23 juillet	Exposition sur le Loup gris
	Ecurey Pôles d'Avenir	Salle d'exposition temporaire, Montier-sur-Saulx (55)	1 ^{er} août au 31 octobre	Saison culturelle 2017
Outils et jeux pédagogiques	Maison de l'Environnement et du Développement Durable	Epinal (88)	1 ^{er} au 18 janvier	Le Lynx boréal
	Maison des Jeunes et de la Culture de Wingen-sur-Moder / Sycoparc	Médiathèque et Salle LAC du collège, Wingen-sur-Moder (67)	16 janvier au 27 février	Le Loup gris
	Mairie de Vandoeuvre-lès-Nancy	Ferme du Charmois, Vandoeuvre-lès-Nancy (54)	14 au 16 mars	Exposition sur le Chat forestier d'Europe
	Maison de la Forêt	Saint-Sauveur (54)	1 ^{er} avril au 24 mai	Exposition sur la faune et la flore locale
	Mairie de Norroy-le-Veneur	Salle du Fournil, Norroy-le-Veneur (57)	18 au 21 mai	Fête de la Nature
	Flore 54	Nancy (54)	30 août	Festival sauvage
	Pavillon du Milieu de Loire	Pouilly-sur-Loire (58)	3 juin au 23 juillet	Exposition sur le Loup gris
	Les Sonneurs de la Côte	Centre Socio Culturel, Pagny-sur-Moselle (54)	30 septembre au 1 ^{er} octobre	Les 15 ans des Sonneurs de la Côte

3.2. Animations et autres actions pédagogiques

Participation de l'équipe du CROC au Défi des foulées organisé par la Fondation Nature et Découvertes les 20-21 mai 2017. Le CROC était l'une des deux associations choisies dans le cadre de ce Défi des foulées du fait de ses actions pour l'amélioration de l'état de conservation du Lynx boréal en France.



Figure 10 : A. Lancement du compte à rebours avant le week-end du Défi des foulées des 20 et 21 mai 2017 (© CROC 2017). Le CROC a assuré une communication sur sa page Facebook afin de motiver un maximum de personnes à participer à cet événement. **B.** Livret pédagogique élaboré par la Fondation Nature et Découvertes et La Salamandre sur le thème du Lynx boréal. Ce livret promeut également le CROC et le Centre Athenas, les deux associations choisies dans le cadre de ce Défi des foulées pour leurs actions en faveur de la conservation du Lynx boréal en France.

Accueil de la Fondation d'entreprise UEM au CROC pendant une journée. Présentation des « Missions scientifiques et pédagogiques pour améliorer l'état de conservation du Lynx boréal (*Lynx lynx*) dans le Massif des Vosges ». Le 17 août 2017, CROC, Lucy (57). Temps en salle (support PPT, matin) + sortie sur le terrain (après-midi, animation piégeage photographique).



Figure 11 : Initiation à la pose de pièges photographiques avec la Fondation d'entreprise UEM le 17 août 2017 (© CROC 2017).

Autres actions

Le CROC a rencontré le **CPIE de la Meuse** le 31 janvier 2017 à Bonzée (54) afin de se présenter et d'étudier les possibilités de labélisation CPIE pour le CROC. En 2017, le CROC a également relu trois panneaux pédagogiques sur le Lynx boréal pour la Citadelles de Besançon à la demande de la **DREAL Bourgogne Franche-Comté** (thèmes : « Le Lynx boréal, un grand prédateur ? Mais qui est-il vraiment ? », « Un retour fragile. Quel avenir pour l'espèce ? », « Vivre avec le Lynx. Quels impacts sur notre quotidien ? »).

3.3. Partenariat pédagogique avec l'association Les Piverts (2017-2019)

Dans le cadre du partenariat établi entre le CROC et l'association Les Piverts autour du projet « Œil de lynx » (voir CROC 2016 p. 34), le CROC a mis à disposition des animateurs de l'association Les Piverts des outils pédagogiques afin qu'ils puissent être empruntés par les enseignants entre les différentes séances du projet. Un questionnaire d'évaluation des outils à remplir par les élèves et les enseignants a également été rédigé conjointement par le CROC et Les Piverts.

En 2017, une réunion de rencontre entre Les Piverts et le CROC a permis de discuter du renouvellement du partenariat entre les deux structures pour la période 2017-2019, de la démarche à entreprendre pour optimiser l'utilisation des outils pendant le projet « Œil de lynx » et de finaliser le questionnaire d'évaluation.

Pour la saison 2017-2018, le CROC a participé à la première réunion du projet « Œil de lynx » organisée par Les Piverts avec les enseignants des classes impliquées. Au cours de cette première rencontre, la biologie et l'écologie du Lynx, le projet de réintroduction en Rhénanie-Palatinat et le projet pédagogique « Œil de Lynx » ont été présentés aux enseignants. Les outils pédagogiques disponibles ont aussi été présentés en organisant des petits ateliers et ce, afin de motiver leur emprunt par les enseignants. Une pochette contenant notamment la description écrite détaillée des outils mis à disposition, le questionnaire d'évaluation des outils et une version papier de certains outils, a été remise à chaque enseignant. Le planning pour les différentes séances a été calé. A l'issue de cette réunion, le CROC a mis en place un tableau Excel en ligne à destination des enseignants afin d'optimiser l'organisation des emprunts et des échanges des outils pédagogiques. Le CROC prévoit également de participer en tant qu'observateur aux 4 séances animées par Les Piverts à l'école de Volmunster (57) en 2017-2018.

Évènements

31 août 2017 : Réunion de travail avec l'équipe de l'association Les Piverts pour le développement de notre partenariat pédagogique autour du projet « Œil de Lynx ». Maison des associations, Lohr (67).

8 novembre 2017 : Réunion de préparation du projet « Œil de Lynx » et de formation des enseignant(e)s organisée par Les Piverts dans le cadre du lancement de la saison 2017/2018 du programme Œil de Lynx. Salle François Zanger, Lohr (67).

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.
- Charbonnel A. & Germain E. 2018. Programme Lynx Massif des Vosges (PLMV). Document de présentation, Version 2018-01-28. 14p.
- Cheneseau 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.
- 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.
- 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 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

³ Hors documents présentés en annexe de ce rapport ;

- 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.
- Schwoerer 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 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 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.
- Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz 2018. Luchs Arcos in Frankreich | Lynx Arcos in France. Lynx Arcos MCP-100 [Jan. –Avr. 2018] en comparaison de MCP-90 [Mars – Déc. 2017]. Le 26.05.2018.
- 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., 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.
- 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.

ANNEXE 1 : Fiche synthétique du projet ITTECOP ERC-Lynx « Éviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport »

FICHE DE SYNTHÈSE

- **Titre de la réponse :** « *ERC-Lynx* » *Eviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport - Développement d'un outil prédictif opérationnel à destination des gestionnaires des infrastructures de transport terrestre couplant risque de collision, viabilité des populations de Lynx et enjeux des territoires*
- **Nom de l'organisme soumissionnaire:** UMR 5175 Centre d'Ecologie Fonctionnelle & Evolutive (CEFE/CNRS)
- **Adresse :** Campus CNRS, 1919 route de Mende 34293 Montpellier cedex 5
- **Contact :** Véronique Hanin (veronique.hanin@cefe.cnrs.fr)

Nom :	Olivier Gimenez	Titre :	Directeur de recherche CNRS
Département :	Biodiversité et Conservation	Tel :	Tel: +33 (0) 4 67 61 33 14
E-mail :	olivier.gimenez@cefe.cnrs.fr	Fax :	Fax: +33 (0) 4 67 61 33 36

Type de projet (cf liste des thèmes point 3.2) :

Projet de recherche

Thème(s) de recherche (cf liste des thèmes point 2) :

2.1. Gestion territoriale des fonctionnalités écologiques : ajustement, transition, réversibilité
a) Interactions entre écosystèmes et ILTe
b) Bilan et évolution de la séquence ERC
c) Ajustement aux changements institutionnels des ILTe

Sujet abordé :

Comment éviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx par collision avec les véhicules de transport ? Développement d'un outil prédictif opérationnel à destination des gestionnaires des infrastructures de transport terrestre ITT couplant risque de collision, viabilité des populations de Lynx et enjeux des territoires

Mots clés :

Lynx ; Infrastructure linéaires de Transport Terrestre ; Risque de collision ; Connectivité écologique ; Trame verte et bleue ; Schéma régional de cohérence écologique ; Doctrine « Eviter, Réduire, Compenser » ; Données de terrain ; Modélisation ; Logiciel de décision ; Enjeux de territoire

Résumé de la proposition :

Le présent projet se fixe comme objectif de mettre en commun, de compléter et d'exploiter les résultats de précédents travaux majeurs (modélisation, diagnostics écologique et technique) en lien avec la viabilité des populations de lynx boréal (*Lynx lynx*), les risques de collision lors du franchissement d'infrastructures de transports terrestres et les mesures correctrices afin de proposer un outil opérationnel sur lequel les opérateurs techniques pourront s'appuyer dans leur processus de prise de décision nécessaire à l'aménagement du territoire.

Positionnement par rapport à l'état de l'art :

Dans le cadre d'un précédent appel d'offre ITTECOP (2012), un modèle du risque de collision a été effectué selon deux approches (dire d'expert / bio statistique). Fin 2014, les schémas régionaux de cohérence écologique des régions concernées ont été approuvés et prennent en compte les enjeux de protection du Lynx, notamment le maintien de la connectivité forestière. En 2016, à la demande de la DEB le Cerema fait la synthèse et propose des recommandations de mesures correctrices en réponse au risque de collision de lynx mais suggère également le rapprochement des acteurs de la conservation, de la recherche et de l'aménagement du territoire et des infrastructures autour de cette problématique à fort enjeu patrimonial et sociétal. L'enjeu est d'autant plus élevé qu'un programme LIFE de réintroduction de 20 lynx a démarré dans la région Rhénanie-Palatinat en Allemagne et que le retour naturel s'effectue déjà dans le Massif des Vosges en France (cas d'un lynx actuellement) suivi avec la plus grande attention depuis le lancement (2016) du Programme Lynx Massif des Vosges sous pilotage de l'un des partenaires

à ce projet.

Apport et résultats attendus :

Ce projet de recherche appliquée à portée très opérationnel rassemble un ensemble diversifié d'acteurs (publics et privés ; chercheurs, gestionnaires d'espaces naturels et spécialistes des carnivores ; gestionnaires d'infrastructures et spécialistes en charge de l'ingénierie des routes et de la planification des transports, etc.) au sein de l'Union européenne autour d'une espèce et problématique à enjeu élevé, le Lynx boréal (l'un des derniers grands carnivores européens). Ses principaux objectifs sont de contribuer :

(1) Au maintien d'une connectivité écologique fonctionnelle entre les habitats favorables du Lynx sur l'ensemble de son aire de répartition et la mise en œuvre de mesures correctrices permettant d'éviter, de réduire ou compenser le risque de collision.

(2) A la création, l'utilisation et l'appropriation d'un outil innovant et robuste (issus d'approche prédictive par modélisation et de données réelles de terrain) en vue de renforcer la mise en œuvre de politiques publiques d'aménagement du territoire telle la TVB et ses déclinaisons régionales (SRCE/SRADET). Le déploiement d'un tel outil constituerait sans conteste une aide objective à la décision dans le choix, la localisation et l'entretien de mesures correctrices prioritaires sur lesquelles orienter les efforts d'aménagement et de financement.

Méthodologie et compétences mises en œuvre :

Le travail réalisé lors de ce projet s'appuiera sur des outils et des données disponibles qu'il s'agira de mettre en commun, d'actualiser et de compléter rigoureusement (modélisation, terrain, rencontre d'acteurs), à savoir :

- Des données sur les cas de collision de lynx (routiers ou ferroviaires) et les facteurs structurels externes (combinaison de l'orographie locale, de la présence d'ITT et de leurs caractéristiques) ;
- Un modèle statistique prédictif permettant d'identifier les zones potentielles à fort risque de collision pour le Lynx ;
- Un modèle spatialement explicite individu-centré (SEPVA) rassemblant permettant de prédire la viabilité et l'extinction des populations de lynx nourri par les données d'écologie comportementale et de dynamique des populations sur le lynx et les prédictions du modèle de collision ; ce modèle multi-couche spatialisée sera ensuite implémenté dans un logiciel convivial pour l'utilisateur non-spécialiste de modélisation par l'utilisation de la plate-forme de développement NetLogo. Une démarche de construction et d'accompagnement de l'outil et plate-forme sera menée par une sous-équipe en Sciences Humaines et Sociales et effectuée à toutes ses étapes sur l'un des terrains d'étude.

Mode(s) de valorisation envisagé(s) :

Des publications (en écologie de la conservation) dans des revues internationales à comité de lecture ; des publications dans des revues françaises au public de routier (ex. RGRA) et/ou revue anglo-saxonne internationale à comité de lecture (domaine de l'ingénierie et aménagement du territoire) ; des participations et présentations au colloque IENE ainsi qu'à d'autres colloques scientifiques et/ou techniques.

Autres partenaires impliqués :

Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (réfèrent Eric Marboutin)
Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores (Réf. Estelle Germain)
Cerema (Réf. Alain Morand)
Fridolin Zimmermann, KORA, Suisse ; Stephanie Kramer-Schadt, IZW Berlin

Dates possibles : (durée maximale de 36 mois)

De démarrage :

01/01/2018

De livraison de résultats :

31/12/2019

Montant total du projet :	424686.40 €
Montant du financement recherché :	79980.40 €
Montant du financement Cerema préprogrammé :	129 010 €

**ANNEXE 2 : Fiche de stage de Master 2 planifié en 2018 dans le cadre du projet ITTECOP
ERC-Lynx**

Fiche de stage

Sujet : Identification et évaluation de la qualité fonctionnelle des corridors écologiques intra- et inter-massif pour la conservation du Lynx boréal dans le Massif des Vosges

Contrat et durée : Stage de 6 mois (février-juillet 2018)

Niveau requis : Master 2

Gratification de stage : Stage indemnisé conformément à la législation en vigueur

Lieu de travail (bureaux) : CROC, 4 rue de la Banie, 57590 Lucy

Etudiant(e) : Charlotte-Anaïs Olivier, Master 2 Biologie Santé Écologie, Spécialité Biodiversité et Gestion de l'Environnement (voie Recherche - Axe Écologie Continentale) à l'EPHE (École Pratique des Hautes Études)

Encadrement :

- CROC : Estelle Germain (directrice) et Anaïs Charbonnel (chargée d'études scientifiques)
- CEFE : Olivier Gimenez (chercheur au CNRS) et Aurélie Coulon (maître de conférences au MNHN)



Cadre général et problématique

Malgré les réintroductions conduites dans le Massif des Vosges entre 1983 et 1993, au cours desquelles 21 lynx ont été lâchés, la situation du félin est aujourd'hui critique dans ce massif. L'aire de présence régulière s'est maintenue durant les années qui ont suivi ces lâchés et a atteint un maximum avoisinant les 2.000 km² en 2004. Cependant, elle ne cesse de diminuer depuis 2005 atteignant en 2016 une superficie de moins 400 km². Dans ce contexte, le Programme Lynx Massif des Vosges (PLMV) a été lancé en 2016 à l'initiative du CROC afin d'améliorer l'acceptation et l'état de conservation du lynx dans le massif. L'objectif à long terme est d'assurer la survie de ce noyau et de contribuer à l'établissement d'une métapopulation ouest-européenne viable. En effet, localisé entre la forêt du Palatinat en Allemagne où un programme de réintroduction est en cours de réalisation (Life+, 2015-2020) et le Massif du Jura qui accueille le cœur de la population française de lynx, le Massif des Vosges occupe une position stratégique pour permettre les échanges d'individus entre le Palatinat et le Jura notamment. Cependant, le Lynx étant une espèce inféodée au milieu forestier, la dégradation et la disparition du manteau forestier et des corridors associés perturbent voire empêchent ses déplacements.

Parallèlement, le CROC collaborera à partir de 2018 avec le CEFE¹ de Montpellier, le Cerema et l'ONCFS dans le cadre d'un projet de recherche appliquée ITTECOP² à portée opérationnelle intitulé : « Eviter, réduire et compenser le risque de mortalité du Lynx boréal par collision avec les véhicules de transport ». Ce projet a pour objectif de mettre en commun, compléter et exploiter les résultats de précédents travaux en lien avec la viabilité des populations de lynx, les risques de collision lors du franchissement d'infrastructures de transports terrestres (ITT) et les mesures correctrices afin de développer un outil opérationnel sur lequel les opérateurs techniques pourront s'appuyer dans leur processus de prise de décision nécessaire à l'aménagement du territoire.

Le stage proposé s'inscrit dans le cadre de ce projet ITTECOP dont les résultats alimenteront également les réflexions du groupe de travail « Habitat et connectivité écologique » du PLMV. Les objectifs de ce stage seront d'identifier, prioriser et évaluer les corridors écologiques favorables au maintien du Lynx dans le Massif des Vosges (corridors intra-massif et corridors entre le Jura, le Massif des Vosges et le Palatinat).

Sujet du stage

A l'issue d'un état des lieux exhaustif des corridors écologiques favorables au lynx dans le Massif des Vosges (intra et inter massifs) identifiés dans la littérature scientifique et des méthodes associées, la stagiaire réalisera un travail de modélisation des corridors inter- et intra-massif. Ces corridors seront hiérarchisés selon les enjeux de conservation pour le Lynx. Les corridors à forts enjeux identifiés feront l'objet d'investigations de terrain afin de confronter la modélisation aux réalités de terrain et de s'assurer de la fonctionnalité de ces corridors. Cette évaluation de la qualité fonctionnelle des corridors sera réalisée suite à la définition d'un diagnostic écologique (outil d'aide à la décision guidant, cadrant et homogénéisant le travail d'évaluation). Elle inclura notamment l'évaluation des secteurs à forts enjeux fonctionnels (e.g. éléments fragmentant, passages à faune). A l'issue de cette étape, le travail de modélisation sera affiné afin d'intégrer, le cas échéant, les observations fines de terrain dans la définition des corridors écologiques à enjeux forts pour la conservation du Lynx dans le Massif des Vosges. Des mesures concrètes permettant d'améliorer et de suivre l'évolution de leur qualité fonctionnelle pourront être proposées (e.g. localisations stratégiques de passages à faune, mesures de gestion, etc.).

¹ Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive

² Infrastructure de transport terrestre écosystème et paysage

Pour la bonne réalisation du stage, ces objectifs pourront évoluer au fur et à mesure de son avancement. La stagiaire pourra par ailleurs participer au travail de terrain de l'équipe. Elle s'impliquera également dans la vie de l'équipe et dans ses autres activités scientifiques et pédagogiques.

Compétences attendues :

Maîtrise des outils de bureautique usuels (word, excel, powerpoint)

Connaissances en SIG (ArcGIS et/ou QGIS)

Pratique de statistiques sous R

Maîtrise de l'anglais

Compétences associées :

Esprit et rigueur scientifiques, capacité d'analyse, de synthèse et de rédaction scientifique

Goût prononcé pour les statistiques et la modélisation

Esprit d'initiative et autonomie

Aptitude au travail de terrain

Qualité relationnelle, discrétion, capacité à travailler dans une petite équipe

Contraintes :

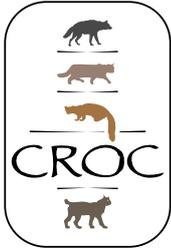
Permis B indispensable (véhicules disponibles au CROC)

Déplacements à l'échelle régionale, nationale et internationale

Travail sous clause de confidentialité

Travail occasionnel, le soir, la nuit et le week-end

ANNEXE 3 : Plan détaillé du Programme Lynx Massif des Vosges au 21 mars 2018.



Programme Lynx Massif des Vosges

Plan détaillé

Préambule

Sommaire

Résumé

Introduction

I. Etat des connaissances sur le Lynx boréal *Lynx lynx*

Rédaction finalisée

I.1. Description et systématique de l'espèce

- 1) Systématique
- 2) Description générale

I.2. Statut de conservation et de protection

- 1) Statuts de conservation
- 2) Statut légal de protection international
- 3) Statut légal de protection européen
- 4) Statuts légaux de protection/gestion nationaux
 - a. En Europe
 - b. En France

I.3. Distribution, abondance et tendances

- 1) Evolution de la distribution du Lynx en Europe
- 2) Caractéristiques des populations
 - a. Dix populations de Lynx en Europe
 - b. Les réintroductions
 - c. Zoom sur les populations dont l'aire de répartition concerne la France
- 3) Zoom sur la situation en France

I.4. Mode de vie et caractéristiques démographiques

- 1) Reproduction
 - a. Cycle de reproduction
 - b. Gîtes de naissance et gîtes maternels
 - c. Emancipation des jeunes
- 2) Caractéristiques démographiques
 - a. Fécondité
 - b. Survie et mortalité
 - c. Dispersion
 - d. Densité, taux de croissance et viabilité des populations
 - e. Sexe-ratio et représentation des statuts
- 3) Utilisation de l'espace des lynx résidents
 - a. Variabilité dans l'organisation spatiale et sociale
 - b. Utilisation et superficie des domaines vitaux
- 4) Rythme d'activité
- 5) Communication

I.5. Régime alimentaire

- 1) Composition
 - a. Proies sauvages
 - b. Proies domestiques
 - c. Facteurs de variabilités
- 2) Mode de chasse
 - a. Chasse à l'affût
 - b. Un prédateur peu charognard
- 3) Comportement de prédation
- 4) Exploitation des proies
- 5) Taux de prédation

I.6. Habitat et exigences écologiques

- 1) L'habitat favorable au Lynx
 - a. L'importance du milieu forestier et des ressources en proies
 - b. Une tolérance aux paysages anthropiques
 - c. L'importance du micro-habitat
- 2) Besoin de connectivité écologique
 - a. Une sensibilité à la fragmentation de son habitat
 - b. Les continuités forestières et la dispersion
 - c. L'impact des Infrastructures de Transport Terrestre (ITT)

I.7. Place et rôle du Lynx dans les écosystèmes

- 1) Interaction prédateur-prédateur
 - a. Prédation du Renard roux et prédation intra guildes
 - b. Variation de l'abondance du Renard roux en présence du Lynx
 - c. La « relâche des mésoprédateurs »
 - d. Le Renard roux dans le « paysage de la peur »
 - e. Bénéfices économiques et écologiques des interactions prédateurs-prédateurs
- 2) Interaction prédateur-proies (ongulés sauvages)
 - a. Prédation du Lynx sur les chevreuils
 - b. Modifications comportementales des ongulés dans le « paysage de la peur »
 - c. Bénéfices économiques et écologiques des interactions prédateurs-herbivores
- 3) Maintien des populations de cervidés en bon état de santé
- 4) Favorisation des charognards et du cycle des nutriments
- 5) Facteurs influençant le rôle du Lynx dans les écosystèmes
 - a. Les activités humaines
 - b. La productivité des écosystèmes et le climat
 - c. Cas particulier de la présence du Loup
 - d. Le kleptoparasitisme
 - e. Le réchauffement climatique

I.8. Coexistence avec les activités humaines

- 1) Contexte général
- 2) Perception actuelle du Lynx par les humains
 - a. L'acceptation du Lynx
 - b. L'image renvoyée par le Lynx
 - c. Des divergences de perception selon les parties prenantes
 - d. La nécessité de comprendre et de se concerter
 - e. La nécessité d'informer
- 3) Coexistence avec l'élevage
 - a. Perception du Lynx par les éleveurs
 - b. Prédation du Lynx sur le cheptel domestique
 - c. Mesures mises en place pour atténuer les conflits
- 4) Coexistence avec la chasse
 - a. Perception du Lynx par les chasseurs
 - b. Les origines des conflits
 - c. Mesures mises en place pour atténuer les conflits

I.9. Recensement des menaces et des causes de disparition

- 1) Retour sur les causes historiques du déclin du Lynx
- 2) La faible acceptation du félin
- 3) La perte de son habitat et les risques de mortalité par collision
- 4) La persécution humaine
- 5) La régression des populations de ses proies
 - a. En Europe
 - b. En France
- 6) Une diversité génétique appauvrie
- 7) Les maladies

I.10. Aspects culturels

- 1) L'image du Lynx au cours de l'histoire
- 2) Une espèce potentiellement charismatique

I.11. Aspects économiques

- 1) Le tourisme
- 2) La chasse
- 3) Les actions de conservation

I.12. Recensement des actions de conservation et programmes réalisés

- 1) Suivis scientifiques et évaluation du statut de conservation
 - a. En France
 - b. A l'étranger
- 2) Actions de conservation
 - a. En France
 - b. A l'étranger
- 3) Actions sur l'habitat favorable et la connectivité écologique
 - a. En France
 - b. A l'étranger
- 4) Actions pour favoriser la coexistence avec les humains (élevage et chasse)
 - a. En France
 - b. A l'étranger
- 5) Actions de communication, formation et sensibilisation
 - a. En France
 - b. A l'étranger

II. Présentation du Massif des Vosges

Rédaction finalisée

II.1. Localisation et délimitations administratives

II.2 Géographie

II.3 Un territoire dominé par la forêt

II.4 Une forêt giboyeuse

II.5 Des zones de réglementation des espaces naturels

II.6 L'anthropisation du massif

II.7 Les filières économiques

III. Besoins et enjeux de conservation du Lynx dans le Massif des Vosges et définition d'une stratégie à long terme

Rédaction finalisée

III.1. Besoins optimaux du Lynx

III.2. Enjeux et stratégie de conservation à long terme

IV. Mise en œuvre du Programme Lynx Massif des Vosges

Travail à venir avec le comité technique et scientifique du PLMV (5 groupes de travail)

IV.1. Actions à mettre en œuvre

- Actions « Suivi du Lynx »
- Actions « Habitat et connectivité écologique » (inter et intra-massifs)
- Actions « Coexistence avec l'élevage »
- Actions « Coexistence avec la chasse »
- Actions « Education et perception »

IV.2. Modalités organisationnelles de la phase opérationnelle

- Rôle des différents partenaires
- Durée (calendrier)
- Suivi et évaluation du plan (indicateurs)

IV.3. Estimation financière

Lexique

Bibliographie

Annexes

ANNEXE 4 : Poster présenté lors du 33^{ème} colloque de l'IUGB à Montpellier en août 2017 sur le Programme Lynx Massif des Vosges

Germain E. & Charbonnel A. 2017. The "Programme Lynx Massif des Vosges": improving the conservation status of the boreal Lynx in the Vosges Mountains massif through a concerted and shared approach with the actors of the territory. 33rd International Union of Game Biologists Congress, 22-25 Août, Montpellier.

The "Programme Lynx Massif des Vosges": improving the conservation status of the boreal Lynx in the French Vosges Mountains through a concerted and shared approach with local stakeholders

Estelle GERMAIN¹* et Anaïs CHARBONNEL¹

¹ CROC (Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores), Lucy (57590), France
 * corresponding author: estelle.germain@croc-asso.org
 presenting author: anais.charbonnel@croc-asso.org



Conservation status of the Lynx in the French Vosges Mountains

- Reintroduction of 21 lynx (*Lynx lynx*) in the French Vosges Mountains between 1983 and 1993
- Only 4 females and 6 males survived (causes of disappearance: 3 confirmed poaching, 3 suspected poaching, 1 malnutrition, 2 human-friendly lynx recaptured, 2 unknown)
- Despite this reintroduction program, the future of the Lynx remains uncertain in this massif:
 - 1988-2004: increase of the regular presence area until a maximum of ~2.000 km² in 2004
 - 2004-2016: continuous decline of the regular presence area
- In 2016, regular presence area < 400 km²

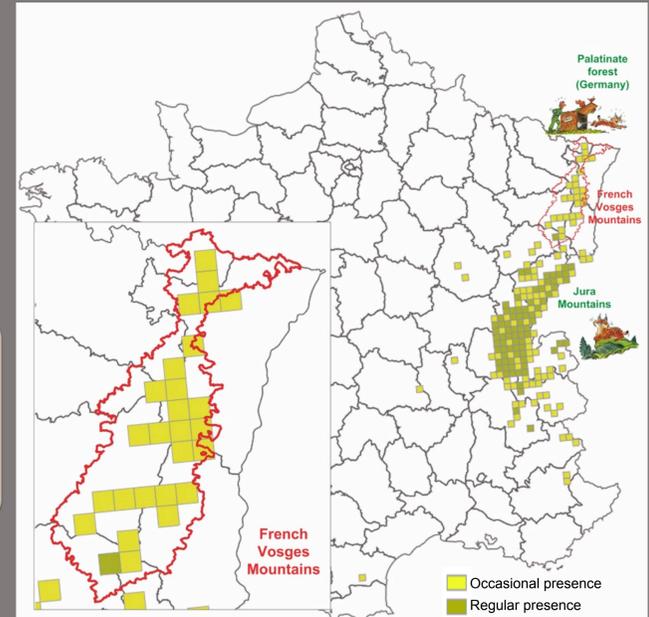


Figure 2: Area of regular and occasional presence of the Lynx in France in 2016 with a zoom on the French Vosges Mountains (adapted from ONCFS Réseau Loup Lynx - <http://carmen.carmencarto.fr>, accessed on August 16th 2017). Red line: French Vosges Mountains limit.



Figure 1: Photos of the 3 lynx currently identified in the French Vosges Mountains. (A) Bingo (undetermined sex) who came naturally in the Vosges du sud from the Jura mountains in 2014, (B) Van Gogh (male) observed in the Vosges moyennes in 2012-2013, (C) Arcos (male) released in the Palatinat forest (Germany) in the context of LIFE+ project (Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz / SNU) and who installed his home range in the Hautes-Vosges in 2017.

Diagnostic based on the monitoring made by volunteers of the lynx-monitoring network ("Réseau Loup Lynx") coordinated by the French National Game and Wildlife Agency (ONCFS) since 1988 and complete from 2011 to 2016 in the French Vosges Mountains by specific intensive monitoring protocols.



A critical conservation status

- World and Europe: listed in directives and conventions (protection or conservation measures)
- France: endangered (IUCN), protected species threatened with extinction (ministerial order), no national action plan
- Vosges-Palatinian population: critically endangered (IUCN)

A western European challenge

- Natural dispersion of lynx in the Vosges Mountains both from the Palatinat forest (current LIFE+ reintroduction program in Germany) and the Jura Mountains (core of the French lynx population, linked to the Swiss lynx population)
- Exchanges of individuals: viability of a western metapopulation

The "Programme Lynx Massif des Vosges" (PLMV): a specific conservation action plan

- Defining and developing concrete actions to improve the conservation status of the Lynx in the French Vosges Mountains
- Building a concerted and shared approach with local stakeholders (Fig. 3)

1 The drafting phase

- Writing a scientific literature synthesis about Lynx from the European scale to the Vosges scale
- Identifying priorities for the Lynx in the Vosges, keep/improve existing actions, develop new ones
- Defining the content of actions with 6 workgroups (WG) dealing with 4 major themes (Fig. 5)

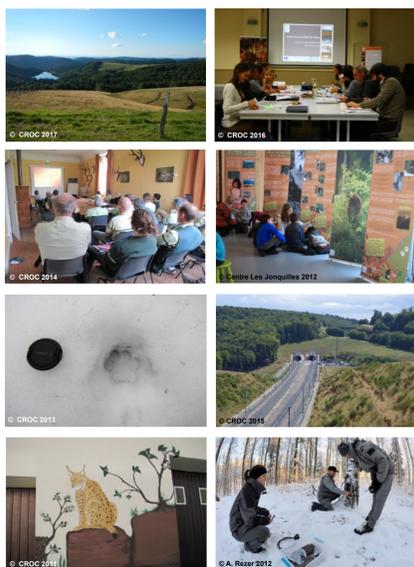
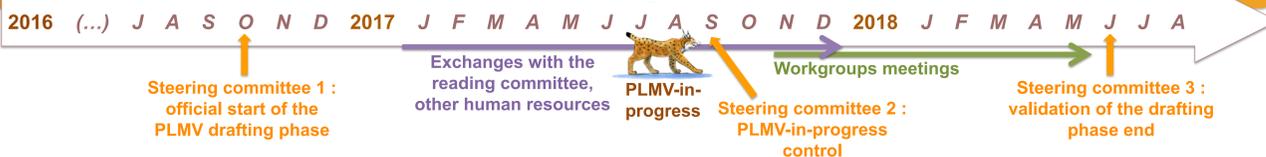


Figure 4: Illustrations of the 4 major themes of PLMV actions: monitoring, habitat and ecological connectivity, coexistence/acceptance, education/perception.

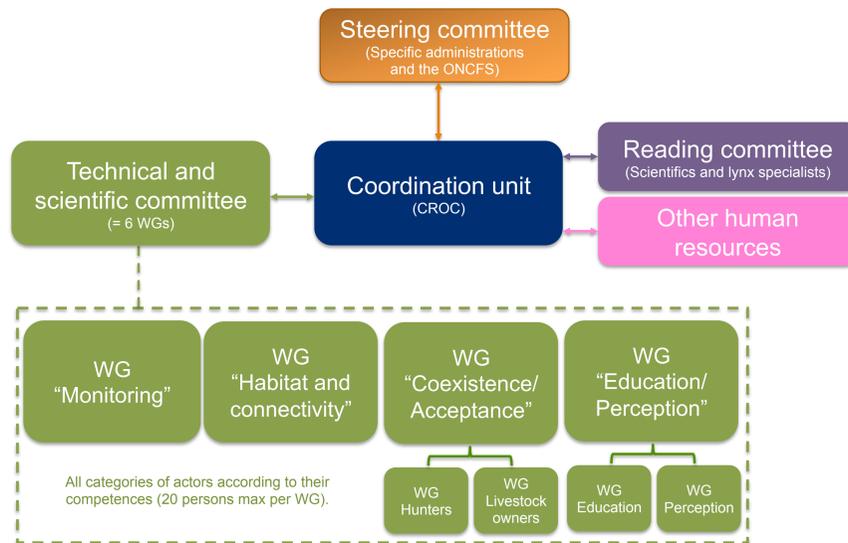


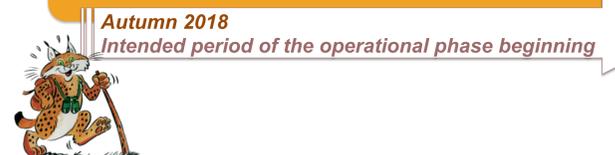
Figure 5: Methodology and validation process of the PLMV drafting phase. Three steering committees are planned with the coordination unit. The reading committee give observations and recommendations on the synthesis. Six workgroups (WG) are expected with 2 meetings per WG: (1) comments on the synthesis and the chosen actions, (2) creation of actions content.



Figure 3: Categories of actors identified and selected for PLMV considering their main activities that (1) concern with lynx in the Vosges Mountains or in the neighbouring countries and regions, or (2) conduct them to interact with lynx, or (3) give them interesting competences for the PLMV.

2 The operational phase

- Implementation of actions
- Animation, feedbacks, analysis of results
- Actions improvements



Acknowledgments

We thank the current main financial partners of the "Programme Lynx Massif des Vosges": 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 pour l'Environnement, l'Aménagement et le Logement), the Région Grand Est, the European Union within the framework of the Operational Program FEDER-FSE "Lorraine et Massif des Vosges 2014-2020", the Fondation Nature et Découvertes, the Fondation Le Pal Nature and the UEM Fondation d'Entreprise. We would also like to thank all the stakeholders who are currently involved in the program or who will be involved in the future.



ANNEXE 5 : Rapport de stage de Master 2 de Mélanie AZNAR réalisé dans le cadre de la thèse CIFRE « Développement d'outils et de techniques de bioacoustique pour le suivi du Loup gris » (2015-2018)

Aznar M. 2017. Les indices de diversité acoustiques : Test d'un nouvel outil pour estimer l'effectif des meutes de loups gris. Rapport de stage de Master 2, CROC, Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores, Lucy, France, 64p.

Rapport de stage 2^{ème} année – M2-IEGB

1^{er} mars – 31 août 2017

Aznar Mélanie

Les indices de diversité acoustique : Test d'un nouvel outil pour estimer l'effectif des meutes de loups gris

CROC (Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores)

4 rue de la Banie, 57590 Lucy

Germain Estelle, CROC, directrice

Pichenot Julian, BEC, ingénieur d'études

Directeurs de stage



Association des étudiants du Master IEGB

Table des matières

1. Introduction.....	1
1.1. Contexte de l'étude	1
1.2. État de l'art et problématique	2
1.3. Programme et réalisations.....	5
2. Matériels et méthodes	6
2.1. Données acoustiques.....	6
2.2. Choix et paramétrage des indices de diversité acoustique de type α	6
2.3. Analyse de la corrélation entre les valeurs d'indices α et la taille des chorus.....	7
2.4. Test de l'effet de différents biais sur les valeurs d'indices α	7
2.4.1. Biais 1 : effet de la durée du chorus par rapport à la durée de l'enregistrement..	7
2.4.2. Biais 2 : effet du bruit ambiant et de son niveau d'amplitude.....	8
2.4.3. Biais 3 : effet du recouvrement temporel entre les hurlements des individus composant le chorus.....	8
2.5. Tests préliminaires sur des chorus naturels	9
3. Résultats.....	10
3.1. Corrélation entre les valeurs d'indices α et la taille des chorus.....	10
3.2. Effets de différents biais sur les indices α	10
3.2.1. Biais 1 : effet de la durée du chorus par rapport à la durée de l'enregistrement	10
3.2.2. Biais 2 : effet du bruit ambiant et de son niveau d'amplitude.....	11
3.2.3. Biais 3 : effet du recouvrement temporel entre les hurlements des individus composant le chorus.....	12
3.3. Tests préliminaires sur des chorus naturels	12
4. Discussion	14
5. Conclusion	18
Bibliographie et Webographie.....	
Annexes	

Table des Figures

Figure 1 : Chorus de loups gris d'Europe au Parc Animalier de Sainte Croix en Moselle (© CROC / PAPIN M. 2016).	
Figure 2 : Dispositif d'enregistrement audio et vidéo des chorus (© CROC 2014).	
Figure 3 : Démarche de création des chorus pour le biais 1.....	
Figure 4 : Enregistreur autonome de type SM3 élaboré par Wildlife Acoustics (© CROC 2015)	
Figure 5 : Démarche de création des chorus pour le biais 2.....	
Figure 6 : Démarche de création des chorus pour le biais 3.....	
Figure 7 : Valeurs moyennes et écart-types des indices par nombre de loups composant le chorus.	
Figure 8 : Boîtes à moustache des valeurs des indices en fonction de T0 et des 4 traitements du biais 1.	
Figure 9 : Boîtes à moustache des valeurs d'indices en fonction de T0 et des 3 traitements du biais 2..	
Figure 10 : Boîtes à moustache des valeurs d'indices en fonction des 3 traitements du biais 3 (superposition des hurlements dans le chorus).....	
Figure 11: Prédiction du nombre de loups pour 5 valeurs d'indices calculés sur des chorus naturels	

Table des Tableaux

Tableau 1 : Description des indices α testés dans cette étude et des paramétrages associés.	
Tableau 2 : Résultats des tests de corrélation entre les valeurs d'indices moyens et le nombre de loups composant les chorus. La nature du test est précisée dans le tableau.	
Tableau 3 : Résultats du test de Wilcoxon et de Friedman pour les biais 1 à 3.	

Table des Annexes

Annexe 1 : Diagramme de Gantt présentant le programme de réalisation de ce stage.

Annexe 2 : Tableau récapitulatif des individus composant les chœurs artificiels (modifié à partir de Papin 2014).....

Annexe 3 : Démarche de constitution des chœurs artificiels de Papin (2014), exemple de la série 1.....

Remerciements

Tout d'abord, je remercie les partenaires financiers de la thèse CIFRE de Morgane PAPIN, dans laquelle s'est intégré mon travail de stage : l'Union européenne dans le cadre du Programme Opérationnel FEDER-FSE Lorraine et Massif des Vosges 2014-2020, la DREAL Grand Est, la Région Grand Est, l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie, le Zoo d'Amnéville et le Parc Animalier de Sainte Croix. Mes remerciements s'adressent aussi au Commissariat à l'Aménagement du Massif des Vosges et à la Fondation Le PAL Nature pour leur soutien financier au CROC.

Je remercie sincèrement le CROC de m'avoir donné la possibilité de réaliser ce stage très enrichissant sur une thématique qui m'intéresse depuis quelques années maintenant.

Je tiens à remercier chaleureusement Estelle GERMAIN pour son encadrement sans faille tout au long de mon stage, pour les nombreuses relectures de mon travail et tous ses conseils. Ensuite, je tiens à remercier Julian PICHENOT, lui aussi pour son encadrement, ses conseils concernant mes analyses et son aide dans la réalisation de certains graphiques. Sans oublier Morgane PAPIN, qui a été là pour répondre à toutes mes petites questions quotidiennes, relire mon travail, me conseiller, m'encourager et elle aussi encadrer mon travail, qui j'espère lui sera utile. Merci pour les heures passées toutes les deux à programmer des boucles sous R.

Merci à Arnaud MARTIN pour son encadrement en tant que tuteur de stage universitaire.

Je remercie aussi Anaïs CHARBONNEL, chargée d'études scientifiques au CROC, pour son soutien, ses conseils, que ce soit pour mon stage ou ma future vie professionnelle.

Un grand merci à Amandine GASC, qui a eu la gentillesse de prendre le temps de répondre très précisément à mes questions concernant le paramétrage de l'indice ACI.

Enfin, je remercie mes parents et Maël pour leurs soutiens tout au long de mon stage et leurs nombreuses relectures de mon rapport.

Mélanie



1. Introduction

1.1. Contexte de l'étude

Basé à Lucy en Lorraine, le Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores (CROC) est une association de droit local créée en 2010. Cette structure a deux activités principales : la recherche scientifique en écologie appliquée et la diffusion des connaissances d'une part, la sensibilisation et l'éducation à l'environnement d'autre part. Les programmes de recherche de cette structure portent actuellement sur le Loup gris (*Canis lupus*) et le Lynx boréal (*Lynx lynx*). Ces deux carnivores sont présents dans le Massif des Vosges (ONCFS 2016a, b). Le loup y est quant à lui revenu naturellement en 2011 et fait depuis lors l'objet de suivis mis en œuvre par le Réseau Loup Lynx de l'ONCFS¹ notamment (Leonard *et al.* 2012). Au niveau européen, le Loup gris figure dans la Directive Habitat Faune Flore (annexes 2, 4 et 5) et dans la Convention de Washington / CITES (annexe 2). Au niveau national, il figure sur la liste rouge des espèces menacées où il est classé comme vulnérable (UICN France *et al.* 2009). Il figure également sur la liste des espèces protégées (arrêté du 15 septembre 2012 modifiant celui du 23 avril 2007). Depuis 2013, le loup fait également l'objet d'un 3^{ème} Plan National d'Action (MEDDE & MAAF 2013). Ce PNA préconise notamment la mise en place de protocoles de suivi des meutes présentes sur le territoire comme celui des « hurlements provoqués » (Longis *et al.* 2004, Sèbe *et al.* 2004). L'objectif principal de ce protocole est de détecter la présence de meutes et les épisodes de reproduction à partir des hurlements entendus (Longis *et al.* 2004).

En 2012, le CROC a pris part aux sessions de hurlements provoqués organisées par l'ONCFS dans les Hautes-Vosges. À cette occasion, des hurlements de loups ont été enregistrés (CROC 2014). En 2013, de nouvelles sessions de hurlements provoqués ont été organisées, permettant au CROC de faire des essais préliminaires sur l'usage des enregistreurs autonomes (SM2+, Wildlife Acoustics) pour la détection du Loup gris. À cette occasion, un chorus de loups a été enregistré (CROC 2015). Ces deux premières expériences de terrain ont conduit le CROC à mettre en place un programme visant à développer l'outil acoustique pour le suivi du Loup gris. C'est ainsi que M. Papin a intégré le CROC pour la réalisation de son stage de M2 portant sur l'estimation de l'effectif des meutes grâce à leurs hurlements (Papin 2014). À l'issue de ce stage, une thèse CIFRE en bioacoustique a débuté au CROC en 2015 (jusqu'en 2018) dans le cadre d'une collaboration avec le BEC² et le LIEC³ (CNRS, UMR 7360) de l'Université de

¹ Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage

² Biologiste Écologue Consultant

³ Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux

Lorraine. Les axes de recherche développés sur les hurlements des loups se décomposent en 3 thématiques : « détection et localisation des meutes », « estimation de l'effectif des meutes » et « détection des événements de reproduction ». C'est dans le second axe de recherche de cette thèse que s'intègre mon stage « *Les indices de diversité acoustique : Test d'un nouvel outil pour estimer l'effectif des meutes de loups gris* ». Mon travail est réalisé en étroite collaboration avec la doctorante. Les résultats seront repris et intégrés à son manuscrit de thèse et feront l'objet d'une publication scientifique.

Ce stage est encadré par E. Germain, directrice du CROC et co-directrice de la thèse, et J. Pichenot, ingénieur d'études au BEC et co-directeur de la thèse également. J'ai à ma disposition tout le matériel informatique nécessaire pour la bonne conduite des missions qui me sont confiées. Les données utilisées (chorus artificiels) pour les analyses statistiques sont celles issues de Papin (2014). Les moyens financiers sont ceux de la thèse (voir la liste des partenaires financiers dans les remerciements).

Cette étude vise à détourner l'utilisation actuellement faite des indices de diversité acoustique (développés initialement afin d'évaluer la biodiversité ; Gasc 2012) pour estimer l'effectif des meutes de loups gris grâce à leurs hurlements. La méthode s'appuiera sur la mesure de l'hétérogénéité acoustique en testant l'hypothèse de l'existence d'une corrélation positive entre l'indice acoustique et le nombre de loups hurlant dans un chorus (Papin 2014). Il s'agit d'une approche innovante qui propose la création d'un nouvel outil de suivi acoustique des meutes.

1.2. État de l'art et problématique

La bioacoustique - science de l'étude des communications acoustiques animales - est une discipline en plein essor. Elle est notamment utilisée pour le suivi des espèces animales dont les signaux acoustiques permettent de les déterminer, d'identifier les individus (via le principe de la signature vocale) et d'étudier les dynamiques de leurs populations (Sèbe 2012).

Grâce aux récentes avancées technologiques, le matériel acoustique s'est amélioré et les méthodes d'analyses se sont également développées (Sueur *et al.* 2014). Ces avancées ont incité la création et l'émergence de la méthode acoustique '*Rapid Acoustic Survey*' (RAS ; Sueur *et al.* 2008b) qui complète la méthode '*Rapid Biodiversity Assessment*' (RBA) avec l'outil acoustique (Gasc 2012). La RBA consiste à réaliser des inventaires exhaustifs sans identifier précisément les espèces. Elle permet une estimation globale et rapide de la biodiversité (Gasc 2012). La RAS est finalement une méthode RBA non-taxonomique puisqu'elle se base sur des

critères acoustiques plutôt que taxonomiques (Sueur *et al.* 2012). C'est une méta-méthode puisqu'elle utilise la communauté comme unité de mesure (Sueur *et al.* 2012).

L'hypothèse initiale de la méthode RAS est que chez les espèces émettant des sons, l'hétérogénéité acoustique fréquentielle ou temporelle peut refléter des différences de richesse spécifique (Sueur *et al.* 2008b, Obrist *et al.* 2010). Deux types d'indices ont été développés dans cette perspective : l'indice d'entropie acoustique H et l'indice de dissimilarité acoustique D (Sueur *et al.* 2008b). L'indice d'entropie acoustique H est fondé sur l'entropie spectrale H_f et l'entropie temporelle H_t . Il mesure la diversité acoustique à l'intérieur d'une communauté et s'appuie donc sur le principe de diversité α (Sueur *et al.* 2008b). L'indice de dissimilarité acoustique D est quant à lui fondé sur la dissimilarité spectrale D_f et temporelle D_t . Il permet d'estimer la dissimilarité acoustique entre deux communautés via le nombre d'espèces non partagées et s'appuie sur le principe de diversité β (Sueur *et al.* 2008b). Afin d'être calibrés, ces deux indices ont dans un premier temps été testés sur des chorus artificiels composés d'oiseaux, d'amphibiens et d'insectes (Sueur *et al.* 2008b). Cette approche permet en effet de contrôler l'ensemble des paramètres composant le chorus (composition, intensité, répétition). Par la suite, H et D ont été testés sur des enregistrements réalisés en milieu naturel à l'aide d'enregistreurs autonomes (forêts tanzaniennes ; Sueur *et al.* 2008b). L'ensemble de ces études (chorus artificiels ou enregistrements naturels) ont ainsi montré que H est positivement corrélé avec le nombre d'espèces présentes dans une communauté tandis que D est négativement corrélé avec le nombre d'espèces partagées par deux communautés. Récemment, Sueur *et al.* (2014) ont répertorié 18 indices acoustiques de type α et 4 indices acoustiques de type β développés par d'autres auteurs (*e.g.* Pieretti *et al.* 2011, Depraetere *et al.* 2012, Gasc *et al.* 2013).

Au regard de ces éléments, il apparaît que les indices α pourraient être détournés de leur usage actuel (évaluer la richesse spécifique d'une communauté) pour estimer l'effectif de groupes d'individus d'espèces discrètes, difficiles à suivre dans leur milieu naturel et qui utilisent un type de communication acoustique. C'est dans ce contexte que nous avons choisi de les tester sur le Loup gris (*Canis lupus*) dont les hurlements permettent la communication entre individus d'une même meute ou entre meutes différentes (Harrington & Asa 2003). Jusqu'à présent, des études acoustiques menées en captivité ont montré que les loups pouvaient être identifiés et suivis grâce à leurs hurlements et, plus précisément, leur signature vocale individuelle (Tooze *et al.* 1990, Palacios *et al.* 2007, Root-Gutteridge *et al.* 2014a, Papin 2014). D'autres recherches ont exploré la possibilité d'identifier les événements de reproduction (Longis *et al.* 2004, Sèbe *et al.* 2004, Palacios *et al.* 2016) mais aussi de dénombrer les loups à partir de leurs hurlements

(Filibeck *et al.* 1982, Harrington 1989, Longis *et al.* 2004, Sèbe *et al.* 2004, Zaccaroni *et al.* 2012, Papin 2014, Passilongo *et al.* 2015).

Plusieurs travaux se sont focalisés sur l'étude de la signature vocale individuelle pour le dénombrement des lous (*e.g.* Tooze *et al.* 1990, Root-Gutteridge *et al.* 2014b). Cependant, les analyses associées à cette méthode peuvent s'avérer laborieuses et chronophages voire source d'erreur. En effet, la quantité importante d'étapes nécessaires à la mesure de certains paramètres peut avoir pour conséquence un cumul d'erreurs minimales prises individuellement mais pouvant conduire à un biais important lorsqu'elles sont ajoutées (Papin 2014). Ainsi, notre approche utilisant la notion d'hétérogénéité acoustique via le calcul d'indices, pourrait permettre de limiter ou contourner ces risques d'erreurs. En effet, le calcul des indices α consiste à étudier les chorus et non les hurlements individuels qui les composent.

Parmi les indices de diversité α , on retrouve ceux d'intensité (Rychtáriková & Vermeir 2013), de complexité (Boelman *et al.* 2007, Villanueva-Rivera *et al.* 2007, Sueur *et al.* 2008b, Joo *et al.* 2011, Pieretti *et al.* 2011, Depraetere *et al.* 2012, Gasc *et al.* 2013, Pekin *et al.* 2012, Towsey *et al.* 2014) et pour finir ceux du paysage sonore (Joo *et al.* 2011, Krause *et al.* 2011, Kasten *et al.* 2012). Les indices de complexité sont les plus nombreux (Sueur *et al.* 2014) et constituent une bonne piste à explorer pour une première application des indices α à l'estimation des effectifs de lous dans les chorus. Parmi ces indices de complexité, on retrouve notamment l'indice H (Sueur *et al.* 2008b), l'indice AR ('Acoustic Richness' ; Depraetere *et al.* 2012), l'indice ACI ('Acoustic Complexity Index' ; Pieretti *et al.* 2011) et l'indice NP ('Number of Peaks' ; Gasc *et al.* 2013). AR se compose des indices H_t et M ('Median of amplitude envelope'). Il a été créé dans le but d'étudier la diversité de communautés d'oiseaux provenant de milieux différents (Depraetere *et al.* 2012). L'indice ACI quant à lui, estime l'abondance des vocalisations d'oiseaux dans un enregistrement et ce, en identifiant les variations d'intensité acoustique associables à une activité animale (Pieretti *et al.* 2011). Enfin, l'indice NP mesure la complexité spectrale via la détection de pics de fréquences (Gasc *et al.* 2013). Il a été créé afin de remédier à la sensibilité du bruit ambiant observée avec H_f (Depraetere *et al.* 2012).

Dans ce contexte, le but de la présente étude est de tester des indices de diversité acoustique de type α sur des chorus de lous gris afin de développer une nouvelle méthode d'estimation de l'effectif des meutes. Dans un premier temps, sept indices acoustiques (H , H_f , H_t , M , AR , ACI , NP) ont été testés sur des chorus artificiels créés par Papin (2014). Ensuite, l'effet de trois biais (durée du chorus par rapport à la durée de l'enregistrement, niveau d'amplitude du bruit ambiant, importance des recouvrements temporels) sur les réponses de ces indices a été évalué

en s'inspirant des récents travaux de Gasc *et al.* (2013). En effet, pour que les indices soient utilisables pour le dénombrement des loups, ceux-ci ne doivent varier qu'en fonction du nombre d'individus composant le chorus et ne pas être influencés par d'autres paramètres. Les trois biais testés ont été adaptés à partir des travaux de Gasc *et al.* (2015). Enfin, une application préliminaire des indices les plus pertinents a été réalisée sur des chorus naturels aux effectifs connus.

1.3. Programme et réalisations

Les enregistrements de loups gris utilisés dans cette étude ont été effectués en parcs animaliers en 2014 à l'occasion d'un stage de Master 2 (voir Papin 2014). À partir de ces enregistrements, Papin (2014) a procédé à des extractions de hurlements individuels pour ensuite créer les chorus artificiels qui ont servi de base à mon travail. J'ai par ailleurs réutilisé ces extractions pour créer de nouveaux chorus artificiels pour l'étude des biais pouvant influencer les indices. Dans le cadre de mon stage au CROC, ma première mission a été de réaliser un tour d'horizon bibliographique sur les indices de diversité acoustique existant dans la littérature scientifique. Suite à cette synthèse, certains indices ont été sélectionnés à l'issue de réunions de travail permettant d'obtenir la validation de mes encadrants. Les réunions de travail organisées ont aussi été l'occasion de choisir d'évaluer la sensibilité de ces indices face à divers biais pouvant créer de l'hétérogénéité acoustique non due au changement de l'effectif des loups dans les chorus. À l'issue de cette première étape, ma seconde mission a été de tester les indices sélectionnés. Pour cela, j'ai dans un premier temps utilisé les chorus artificiels dont le nombre d'individus qui les composaient était connu. Après avoir calculé les indices, l'effet de différents biais a été testé afin d'évaluer leur influence sur les valeurs des indices, le but étant de sélectionner l'indice le plus fiable pour l'estimation du nombre d'individus composant un chorus. Pour terminer, les indices qui se sont avérés les plus robustes statistiquement ont été appliqués à des chorus naturels, non modifiés et donc plus proches de ce qui peut être obtenu en conditions réelles.

L'ensemble de ce travail est restitué dans le présent rapport pour l'évaluation de mon stage de Master 2. Par la suite, mon travail sera repris par M. Papin afin d'être intégré dans son manuscrit de thèse et fera l'objet d'une publication scientifique à laquelle je serai associée. Le calendrier retraçant les principales étapes d'avancement fixées avec mes encadrants et les échéances importantes est présenté en Annexe 1.



Figure 1 : Chorus de loups gris d'Europe au Parc Animalier de Sainte Croix en Moselle (© CROC / PAPIN M. 2016).



Figure 2 : Dispositif d'enregistrement audio et vidéo des chœurs (© CROC 2014).

2. Matériels et méthodes

2.1. Données acoustiques

Les données acoustiques utilisées dans cette étude sont celles de Papin (2014). Les hurlements ont été obtenus à partir de chorus de loups gris (*Canis lupus*) enregistrés en captivité dans deux parcs animaliers en France : 10 loups au Parc Animalier de Sainte Croix en Moselle (Figure 1) et deux loups au Zoo de Pescheray dans la Sarthe (voir Papin 2014 ; Annexe 2).

Les enregistrements ont été effectués à une faible distance loups-micro (15 à 25 mètres) et dans des conditions météorologiques optimales (sans pluie ni vent) permettant d'obtenir des chorus de bonne qualité audio (Papin 2014). Un enregistreur ZOOM H4n (fréquence d'échantillonnage : 44100 Hz, résolution d'amplitude : 16 bits) connecté à un microphone à condensateur Rode NTG-3 (directivité : super-cardioïde, réponse en fréquence : 40 – 20000 Hz ; Figure 2) a été utilisé. En parallèle de ces données audio, les chorus ont été filmés afin de pouvoir associer à posteriori chaque hurlement à un individu (Figure 2). Une fois les enregistrements audio et vidéos synchronisés, les chorus ont été examinés via le logiciel SONY SpectraLayers Pro 2.0 (2013) afin d'en extraire (format .wav) les vocalisations de type « hurlement » uniquement (Papin 2014).

Ensuite, des chorus artificiels composés de un à 12 individus ont été créés avec le logiciel Audacity (version 2.1.3, 2013) via une sélection aléatoire des individus et de leurs extractions (Papin 2014). Ainsi 10 séries de 1 solo artificiel et 10 séries de 11 chorus artificiels ont été obtenues, soit un total de 10 solos artificiels et 110 chorus artificiels d'une durée de 30 secondes chacun (Papin 2014 ; Annexe 3). La fréquence d'échantillonnage de chaque chorus a par la suite été fixée à 8000 Hz afin de se focaliser sur la bande fréquentielle propre aux hurlements de loups (150 – 1000 Hz ; Theberge & Falls 1967, Passilongo *et al.* 2010). En effet, d'après la limite de Nyquist, pour avoir une restitution du signal d'une qualité suffisante, la fréquence d'échantillonnage doit être au moins deux fois supérieure aux fréquences maximales des signaux acoustiques étudiés (Barataud & Tupinier 2015). Le choix de cette fréquence permet ainsi d'obtenir une meilleure résolution du spectrogramme mais aussi de calculer plus rapidement les enveloppes et spectres moyens utilisés par la suite pour le calcul des indices.

2.2. Choix et paramétrage des indices de diversité acoustique de type α

Sept indices acoustiques ont été sélectionnés parmi ceux existant dans la littérature : l'entropie fréquentielle H_f , l'entropie temporelle H_t , l'entropie acoustique H , la médiane de l'enveloppe

Tableau 1 : Description des indices α testés dans cette étude et des paramétrages associés.

Indices	Description
<i>Hf</i>	<i>Hf</i> est calculé à partir du spectre moyen normalisé. Il a pour but d'analyser la complexité du signal sur sa composante spectrale. Sa valeur est comprise entre 0 (faible diversité en fréquence) et 1 (forte diversité fréquentielle ; Sueur <i>et al.</i> 2008).
<i>Ht</i>	Son calcul se base sur la complexité de l'enveloppe temporelle du signal. <i>Ht</i> est compris entre 0 et 1 grâce à une normalisation des valeurs de l'enveloppe (Sueur <i>et al.</i> 2008).
<i>H</i>	<i>H</i> peut être considéré comme un « super indice » puisqu'il est le produit des indices <i>Hf</i> et <i>Ht</i> . La valeur de celui-ci est également comprise entre 0 et 1. Plus la valeur est proche de 1, plus le son étudié est diversifié en fréquence et en amplitude (Sueur <i>et al.</i> 2008).
<i>M</i>	<i>M</i> se base sur la complexité temporelle en étudiant les valeurs normalisées de la médiane de l'enveloppe d'intensité des signaux. Il est compris entre 0 (activité acoustique faible) et 1 (activité acoustique élevée ; Depraetere <i>et al.</i> 2012).
<i>AR</i>	<i>AR</i> est également un « super indice » puisqu'il se calcule en utilisant le rang des valeurs des indices <i>M</i> et <i>Ht</i> . Sa valeur est comprise entre 0 (richesse acoustique faible) et 1 (richesse acoustique élevée ; Depraetere <i>et al.</i> 2012).
<i>ACI</i>	<p>L'<i>ACI</i>, développé par Farina et Morri (2008), mesure la complexité du spectrogramme sur des composantes temporelle et spectrale. Sa valeur augmente avec la variabilité temporelle du son en se basant sur le principe que les variations d'intensité sont associables à une activité acoustique d'origine animale et non anthropique. En effet, l'intensité des sons anthropiques varie peu dans le temps (Pieretti <i>et al.</i> 2011).</p> <p>Cet indice a la possibilité d'être calculé sur la durée totale du fichier ou sur plusieurs morceaux de durée identique dont la somme des <i>ACI</i> par morceaux donnera la valeur finale de l'indice. L'argument « nbwindows » de la fonction « <i>ACI</i> » sous « seewave » permet de définir le nombre de découpes désirées. La valeur choisie pour cet argument a été paramétrée à 234, ce qui correspond à une découpe de fichier de 0.128 s (30 s / 234, correspond à <i>j</i> dans la formule de l'indice).</p> <p>Pour le test du biais 1, l'argument « nbwindows » a été fixé à 936 pour les traitements T1 à T4 afin d'avoir des morceaux de fichiers d'une durée similaire pour l'ensemble des traitements (soit <i>j</i> = 0.128 s). Pour le test du biais 3, le paramètre « nbwindows » a été fixé à 1.</p>
<i>NP</i>	<p><i>NP</i> mesure la complexité spectrale via la détection de pics de fréquence (Gasc <i>et al.</i> 2013). Pour les enregistrements réalisés en milieu naturel, cet indice a pour avantage d'être peu sensible au bruit ambiant puisque son spectre moyen ne présente pas de pics majeurs.</p> <p>Quatre arguments programmables dans la fonction <i>NP</i> (« fpeaks » sous « seewave ») permettent de sélectionner les pics fréquents détectés : « nmax » (nombre maximal de pics), « amp » (valeur de la pente d'amplitude avant et après le pic), « freq » (distance minimale entre deux pics successifs) et « threshold » (seuil d'amplitude minimal). Pour cette étude, certains de ces arguments ont été paramétrés de la manière suivante : « freq = 15 Hz » et « threshold = 0.02 ».</p> <p>En effet, d'après Filibeck <i>et al.</i> (1982), la fréquence fondamentale des hurlements de loups participant simultanément à un chorus diffère toujours d'au moins 15 Hz et leur étude du spectre de fréquence s'est basée sur la gamme comprise entre 0 et 2000 Hz.</p> <p>Après que les pics aient été détectés et sélectionnés par la fonction, nous avons cherché à déterminer de manière manuelle, les différentes fréquences fondamentales accompagnées de leurs harmoniques. En effet, les fréquences des harmoniques sont une suite de multiples entiers de la fréquence fondamentale (Filibeck <i>et al.</i> 1982). Ce post-traitement avait pour but d'associer chaque suite de multiples entiers à un loup, le nombre de suites correspondant ainsi au nombre de loups participant au chorus.</p>

d'intensité M , la richesse acoustique AR , la complexité acoustique ACI et le nombre de pics fréquentiels NP . Un descriptif détaillé de ces indices et de leur paramétrage est présenté dans le Tableau 1. Le choix s'est porté sur des indices de type α , actuellement utilisés pour l'estimation de la richesse spécifique d'une communauté, qui pourraient donc être déclinés à une échelle plus fine pour l'estimation du nombre d'individus d'un groupe, ici les loups d'un chorus. L'ensemble de ces indices a été appliqué aux 120 chorus artificiels créés à l'aide du logiciel RStudio (version 1.0.153, 2017) et du package « seewave » (Sueur *et al.* 2008a).

2.3. Analyse de la corrélation entre les valeurs d'indices α et la taille des chorus

À partir de l'ensemble des valeurs d'indices obtenues pour les 120 chorus, les valeurs moyennes et écarts-types ont été calculés pour chaque indice par effectif de chorus.

Afin d'évaluer la force de la relation entre les indices calculés et le nombre d'individus composant les chorus, un test de corrélation de Pearson a été réalisé lorsque les conditions d'application étaient respectées (binormalité, homoscedasticité et indépendance des données ; Legendre *et al.* 1984). Dans le cas contraire, un test de Spearman a été employé.

2.4. Test de l'effet de différents biais sur les valeurs d'indices α

Seuls les indices α qui se sont avérés être les plus robustes statistiquement pour le dénombrement des loups dans les chorus (partie 2.3.) ont été utilisés pour tester l'effet de différents biais. Au total, ce sont trois différentes sources d'hétérogénéité acoustique, non liées aux loups, qui ont été testées sur les valeurs d'indices obtenues pour les chorus.

2.4.1. Biais 1 : effet de la durée du chorus par rapport à la durée de l'enregistrement

Le rapport entre la durée du signal d'intérêt (dans notre cas, le chorus de loups) et la durée totale de l'enregistrement (un enregistrement plus long réalisé en nature par exemple) peut avoir un effet sur certains indices α (*e.g.* Gasc *et al.* 2015). Pour tester ce biais, les indices ont été à nouveau calculés à partir de fichiers d'une durée de 120 s. Les nouvelles valeurs obtenues ont été comparées aux valeurs d'indices obtenues initialement à partir des chorus de 30 s (valeurs étalon). Les fichiers audio de 120 s ont été construits en ajoutant du silence et/ou du bruit ambiant aux 120 chorus originaux de 30 s de Papin (2014) selon des traitements décrits dans la Figure 3. Pour le traitement T1, 90 s de silence ont été ajoutées aux chorus de 30 s alors qu'en T4 il s'agissait de 90 s de bruit ambiant. Pour T2, 30 s de bruit ambiant et 60 s de silence ont

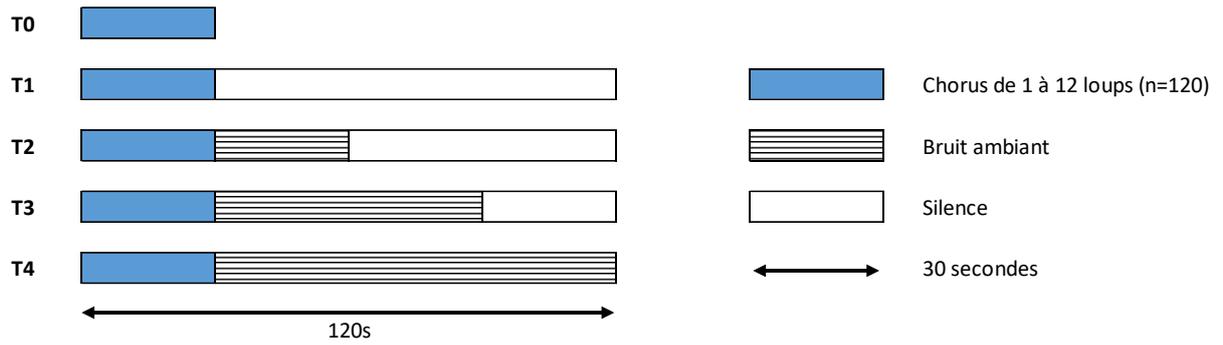


Figure 3 : Démarche de création des chorus pour le biais 1. T0 correspond aux chorus originaux de Papin (2014), T1 à T4 correspondent aux 4 traitements appliqués aux chorus originaux.



Figure 4 : Enregistreur autonome de type SM3 élaboré par Wildlife Acoustics (© CROC 2015)

été ajoutées aux chorus, et inversement pour T3. Au total, ce sont 480 nouveaux chorus artificiels qui ont été créés (T1 à T4). Dans la construction originale de ce biais, Gasc *et al.* (2014) considèrent T1 comme valeur de référence à laquelle comparer l'augmentation du rapport entre la durée de l'enregistrement et la durée du chorus. Toutefois, une autre question a été abordée en comparant les chorus étalons de 30 s (T0) aux chorus prolongés de 90 s de silence (T1), ceci dans le but d'évaluer l'impact de l'ajout de silence (diminution du temps du signal par rapport à celui de l'enregistrement).

Dans un premier temps l'existence d'une éventuelle différence entre les indices obtenus pour les traitements T0 et T1 a été étudiée à l'aide d'un test de Wilcoxon pour échantillons appariés. Puis un test de Friedman a été réalisé pour chacun des indices afin d'étudier l'effet des traitements T1 à T4.

Le bruit ambiant provient d'un enregistrement réalisé par le CROC en 2016 dans un parc animalier avec un enregistreur autonome de type SM3 (Wildlife Acoustics, Figure 4). Il s'agit d'une ambiance sonore matinale composée de chants d'oiseaux de milieu forestier.

2.4.2. Biais 2 : effet du bruit ambiant et de son niveau d'amplitude

Tester ce biais permet d'évaluer l'effet de l'évolution du rapport signal/bruit ambiant sur les indices (Gasc *et al.* 2015). Il permet d'identifier le ou les indices les moins sensibles au bruit ambiant afin ensuite, de sélectionner l'indice en fonction du contexte dans lequel l'enregistrement du chorus aura été réalisé. Pour cela, de nouveaux chorus ont été créés à partir des 120 chorus de 30 s de Papin (2014). Aux chorus originaux (T0), a été superposé un bruit ambiant de 30 s (identique à celui du biais 1) dont l'amplitude différait selon 3 traitements différents (normale, x 50 et x 100 ; voir Figure 5). Au total, ce sont 360 nouveaux chorus artificiels qui ont été créés (T1 à T3) à l'aide d'une boucle sous RStudio, pour être comparés aux valeurs d'indices étalon (T0).

Pour ce biais, un test de Friedman a été réalisé afin d'étudier l'effet des traitements.

2.4.3. Biais 3 : effet du recouvrement temporel entre les hurlements des individus composant le chorus

Pour que les indices testés puissent être utilisés pour dénombrer les loups participant à un chorus, leurs valeurs ne doivent pas être sensibles au degré de chevauchement des hurlements des individus composant un chorus (*e.g.* Gasc *et al.* 2015). L'objectif du biais 3 est donc d'évaluer l'effet de la répartition temporelle des hurlements au sein du chorus.

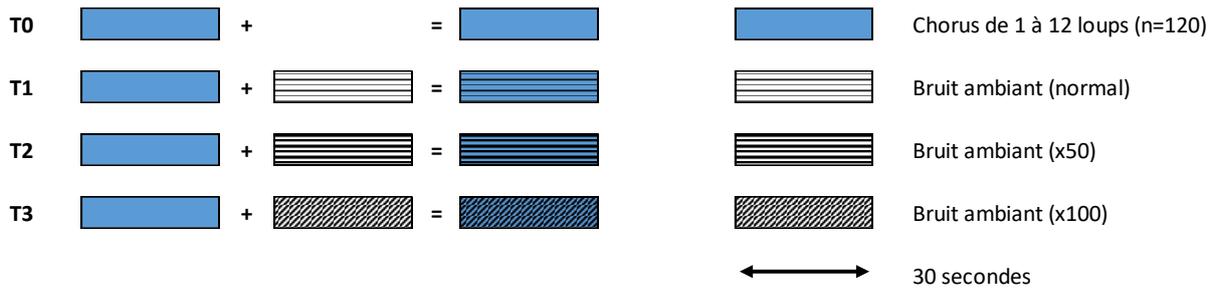


Figure 5 : Démarche de création des choruses pour le biais 2. T0 correspond aux choruses originaux de Papin (2014), T1 à T3 correspondent aux 3 traitements appliqués aux choruses originaux.

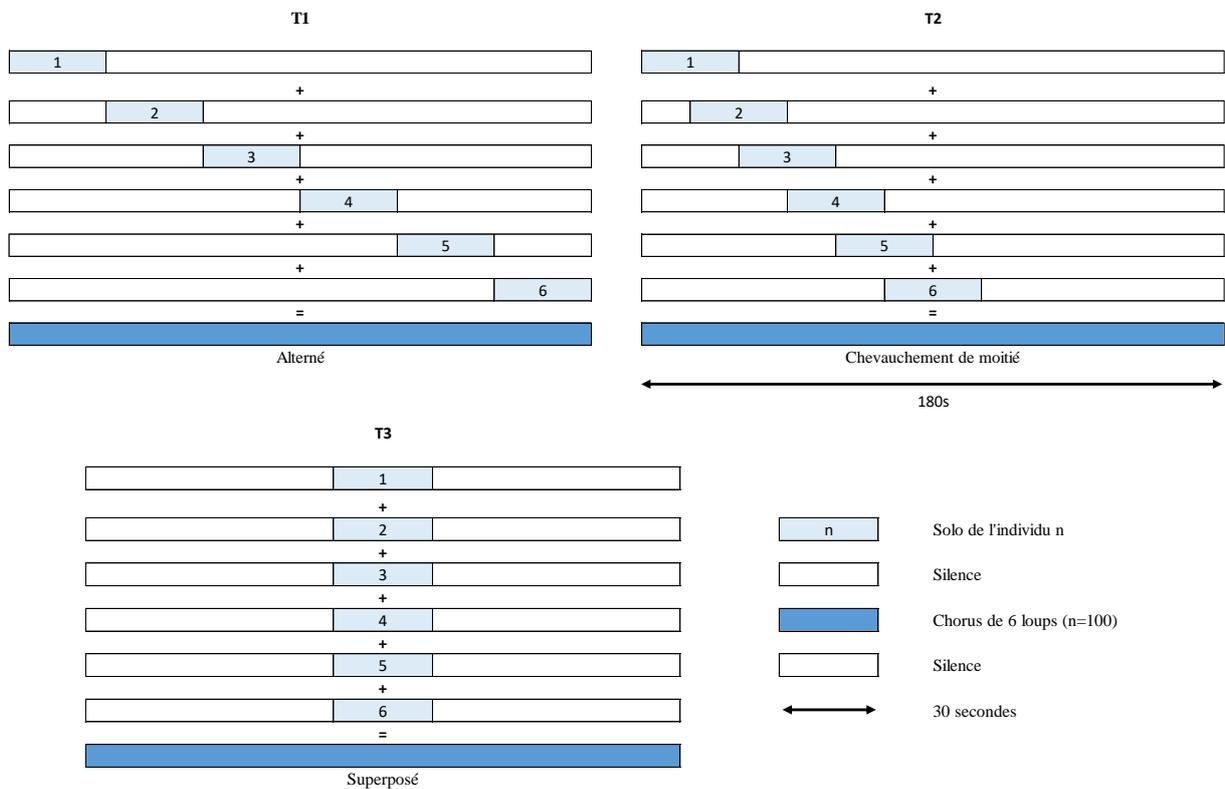


Figure 6 : Démarche de création des choruses pour le biais 3. T1 à T3 correspondent aux 3 traitements appliqués aux 100 compositions de six solos sélectionnés de manière aléatoire avec remise chez six loups afin d'obtenir les 300 nouveaux choruses.

La réalisation de ce test a, dans un premier temps, nécessité la création des nouveaux chorus sur lesquels différents traitements ont été appliqués. Au total, 100 chorus, basés sur les solos artificiels de six loups ont été créés en suivant les deux étapes suivantes :

- (1) sélection aléatoire de six loups parmi les 12 individus disponibles (Papin 2014) ;
- (2) pour ces six loups, sélection aléatoire d'un solo artificiel par individu ;

Ensuite, pour chacun des 100 chorus créés, trois décalages temporels ont été appliqués entre les six solos artificiels afin de constituer les nouveaux chorus (voir Figure 6). Ces trois traitements ont alors permis d'obtenir 300 nouveaux chorus (100 compositions x 3 traitements) de 180 secondes chacun pour lesquels les indices α ont été calculés. L'ensemble de cette démarche de création de nouveaux chorus a été réalisée à l'aide d'une boucle sous RStudio.

Un test de Friedman a été effectué pour étudier l'effet des traitements.

2.5. Tests préliminaires sur des chorus naturels

Les indices α qui se sont avérés être les plus robustes statistiquement pour le dénombrement des loups dans les chorus (partie 2.3.) ont été appliqués à des chorus « naturels » (c'est-à-dire non modifiés), enregistrés et filmés par Papin (2014) au Parc animalier de Sainte Croix (Moselle, France). Au total, cinq chorus dont le nombre d'individus est connu, ont été testés : deux chorus de trois individus et trois chorus de six individus. Ceux-ci intègrent par défaut un bruit ambiant et n'ont subi aucun traitement acoustique en dehors d'un sous-échantillonnage de leur fréquence à 8000 Hz pour les rendre comparables aux chorus artificiels. Le but de ce test est de savoir si les chorus artificiels de Papin (2014) peuvent être utilisés pour prédire le nombre d'individus dans des chorus naturels.

Une régression du nombre de loups en fonction des valeurs d'indices obtenues sur les 120 chorus artificiels de Papin (2014), a été réalisée pour chacun des indices. Une méthode de « régression locale », couramment abrégée « LOESS » ou « LOWESS » pour « LOcally WEighted Scatter-plot Smoother » (Cleveland *et al.* 1988) a été utilisée. Cette méthode peut être appliquée sous RStudio avec plusieurs packages qui utilisent la fonction « loess », conçue par B.D. Ripley sur la base des travaux de Cleveland *et al.* (1992). Ce type de régression utilise plusieurs modèles pour ajuster localement la courbe de régression au nuage de points. La méthode est robuste vis-à-vis des « outliers » et a également une bonne performance sur les valeurs limites. En contrepartie, elle ne permet pas d'obtenir une équation pour la courbe de régression obtenue. Ainsi, les valeurs obtenues pour les chorus naturels ont été confrontées à ces régressions non linéaires afin d'évaluer la potentialité des chorus artificiels à servir d'étalon.

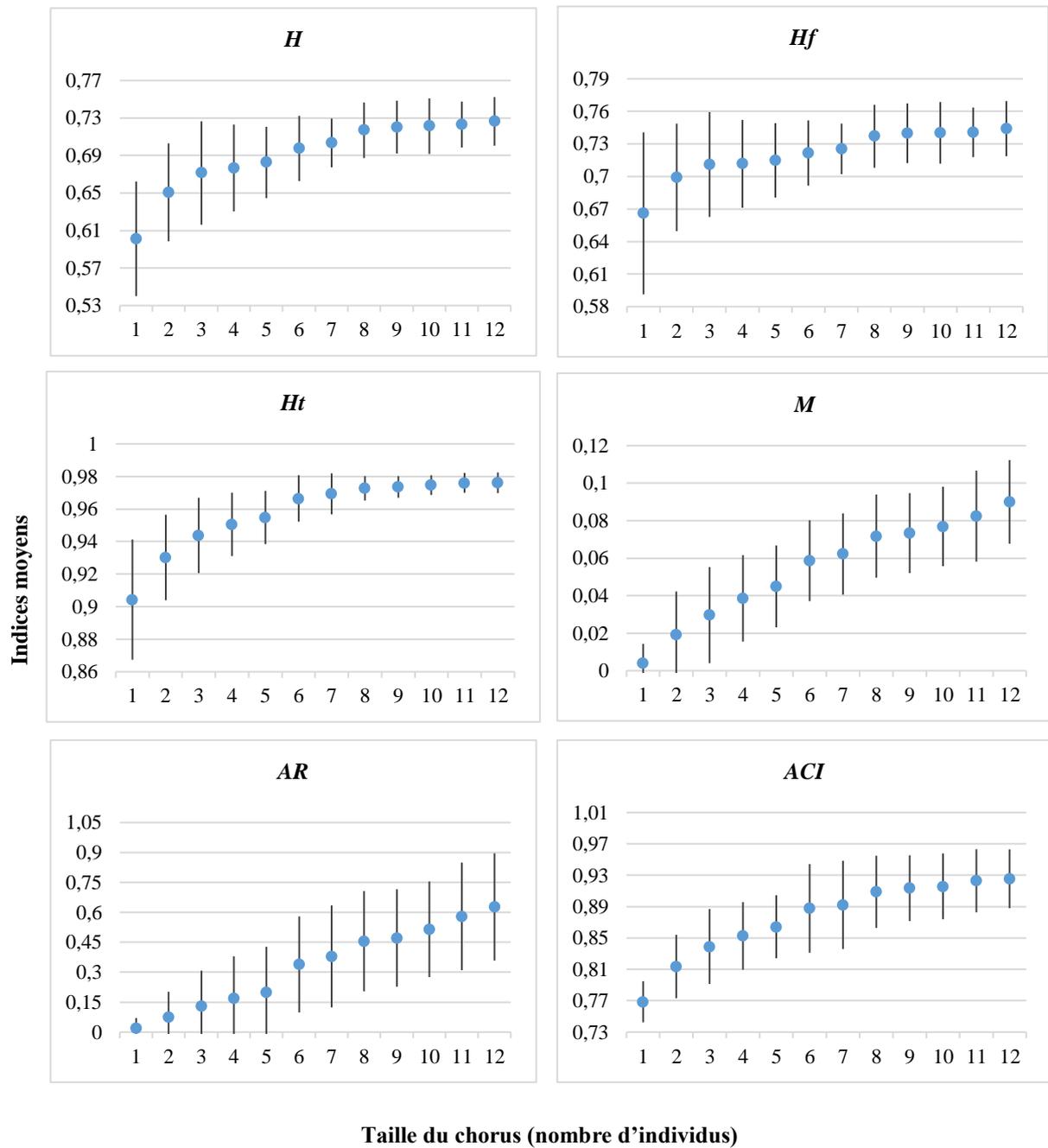


Figure 7 : Valeurs moyennes et écart-types des indices par nombre de loups composant les chorus.

3. Résultats

3.1. Corrélation entre les valeurs d'indices α et la taille des chorus

Pour chacun des 120 chorus, tous les indices ont pu être utilisés pour établir des corrélations avec le nombre de loups, excepté l'indice *NP*. En effet, ce dernier fournit un certain nombre de pics selon le paramétrage de sélection choisi. Cependant, il n'a pas été possible de dégager une relation claire entre ce nombre de pics et les différents harmoniques attribuables aux individus du chorus (plusieurs pics par individu compte tenu des harmoniques). Ainsi, la corrélation n'a pu être établie pour *NP*.

Finalement, les valeurs moyennes de l'indice *H* vont de 0.59 ± 0.06^4 à 0.73 ± 0.03 , celles de *Hf* oscillent entre 0.65 ± 0.08 et 0.74 ± 0.03 et celles de *Ht* sont comprises entre 0.91 ± 0.04 et 0.98 ± 0.01 . Pour *M*, l'indice moyen va de 0.005 ± 0.01 pour le plus faible effectif à 0.09 ± 0.02 pour le nombre maximum d'individus, pour *AR* de 0.03 ± 0.06 à 0.65 ± 0.30 et enfin pour *ACI* de 0.79 ± 0.03 à 0.95 ± 0.04 . Pour chaque indice, une corrélation positive apparaît entre la valeur de l'indice et le nombre de loups hurlant dans les chorus (Figure 7). Toutefois, les écarts-types montrent une étendue importante des valeurs d'indices à l'intérieur de chaque classe d'effectif, et certains (*Ht* notamment) diminuent quand le nombre d'individus augmente. Les indices *H*, *Ht*, *Hf* et *ACI* présentent un plateau aux environs de 8 ou 9 individus.

La corrélation de Spearman obtenue entre *H*, *Ht*, *Hf* et *ACI* et le nombre de loups composant les chorus est très forte ($\rho = 1$, $p < 2.20e-16$; Tableau 2). Il en est de même pour la corrélation de Pearson pour *M* et *AR* ($\text{cor} = 0.98$, $p = 1.60e-08$ et $\text{cor} = 0.99$, $p = 1.05e-10$ respectivement).

3.2. Effets de différents biais sur les indices α

Parmi les indices testés, seul l'indice *NP* n'a pas abouti à des résultats concluants pour l'estimation du nombre de loups composant un chorus. Aussi, l'effet des biais n'a pas été testé sur cet indice.

3.2.1. Biais 1 : effet de la durée du chorus par rapport à la durée de l'enregistrement

Pour chacun des indices, les valeurs obtenues ont été représentées en fonction des quatre traitements sur la Figure 8 (boîtes à moustache). Il apparaît que la modification de la durée de

⁴ écart-type

Tableau 2 : Résultats des tests de corrélation entre les valeurs d'indices moyens et le nombre de loups composant les chorus. La nature du test est précisée dans le tableau.

	Test de Pearson	Test de Spearman
<i>H</i>	-	rho = 1 ; p-value < 2.20e-16
<i>Hf</i>	-	rho = 1 ; p-value < 2.20e-16
<i>Ht</i>	-	rho = 1 ; p-value < 2.20e-16
<i>M</i>	cor = 0.98 ; p-value = 1.60e-08	-
<i>AR</i>	cor = 0.99 ; p-value = 1.05e-10	-
<i>ACI</i>	-	rho = 1 ; p-value < 2.20e-16

Tableau 3 : Résultats du test de Wilcoxon et de Friedman pour les biais 1 à 3. **Biais 1 :** comparaison T0-T1 via un test de Wilcoxon, T1-T4 test de Friedman ; **Biais 2 :** T0-T3 test de Friedman ; **Biais 3 :** T1-T3 test de Friedman, df : degree of freedom = degrés de liberté.

Biais 1				
	T0-T1		T1-T4 df = 4	
	V	p-value	chi-squared	p-value
<i>H</i>	6952	< 2.2e-16	360	< 2.2e-16
<i>Hf</i>	0		360	
<i>Ht</i>	7259		360	
<i>M</i>	7215		360	
<i>AR</i>	3752.5	0.41	12.95	0.005
<i>ACI</i>	4	< 2.2e-16	179.83	< 2.2e-16

Biais 2		
T0-T3 df = 3		
	chi-squared	p-value
<i>H</i>	323.31	< 2.2e-16
<i>Hf</i>	287.04	
<i>Ht</i>	341.47	
<i>M</i>	360	
<i>AR</i>	360	
<i>ACI</i>	226.71	

Biais 3		
T1-T3 df = 2		
	chi-squared	p-value
<i>H</i>	196.08	< 2.2e-16
<i>Hf</i>	72.96	
<i>Ht</i>	200	
<i>M</i>	188.24	
<i>AR</i>	0.34	0.84
<i>ACI</i>	34.61	3.06e-08

l'enregistrement par l'ajout de silence et/ou de bruit ambiant influence plus ou moins fortement les indices.

Une différence significative est mise en évidence entre les traitements T0 et T1 pour tous les indices ($p < 2.2e-16$; Tableau 3), à l'exception d'*AR* ($p = 0.41$). Les indices *Ht*, *M* et *ACI* sont plus fortement influencés par l'ajout de silence seul que les indices *H* et *Hf* (Figure 8). L'étendue des données pour *H*, *Hf*, *Ht* et *AR* reste similaire entre ces deux traitements, ce qui peut s'expliquer par le fait que le calcul de ces indices ne se base pas sur la composante temporelle du signal acoustique contrairement à *M* et *ACI*. Ces derniers sont donc plus sensibles à l'allongement de la longueur du fichier audio entre T0 et T1 (30 s à 120 s). Cette sensibilité à l'ajout de silence en plus du chorus, diminue de manière importante l'étendue des données entre T0 et T1.

De plus, il existe un effet significatif des traitements T1, T2, T3 et T4 (Tableau 3 ; $p < 2.2e-16$ pour *H*, *Hf*, *Ht*, *M* et *ACI* ; $p = 0.005$ pour *AR*). La différence entre T1 et T2 est très importante pour *H*, *Hf*, *Ht* et *M* (Figure 8). Pour les traitements T2 à T4, au cours desquels le ratio entre la durée du signal d'intérêt (ici le chorus) et la durée du bruit ambiant diminue, les valeurs des indices *H*, *Hf*, *Ht* et *M* ont tendance à augmenter avec le bruit ambiant. Cette augmentation est similaire entre ces 4 indices. *AR* présente quant à lui une tendance inverse avec une très légère diminution de sa valeur avec l'augmentation de la proportion de bruit ambiant. Enfin, pour *ACI* la tendance entre les traitements T1 à T4 est plus difficile à visualiser sur le graphique mais une différence significative entre ces traitements existe également. Toutefois, l'étendue des valeurs de cet indice reste constante contrairement à celles d'*H*, *Hf*, *Ht* et *AR* qui a tendance à diminuer avec l'augmentation de la proportion de bruit ambiant.

Pour conclure, l'indice *AR* est le moins influencé par ce biais puisqu'il est l'indice présentant le moins de différences entre les cinq traitements. L'indice *ACI* quant à lui, est peu influencé par l'augmentation de la proportion de bruit ambiant par rapport à la proportion du signal d'intérêt.

3.2.2. Biais 2 : effet du bruit ambiant et de son niveau d'amplitude

Il existe une différence entre les traitements (Tableau 3) : tous les indices sont influencés par l'ajout de bruit ambiant et par l'augmentation de l'intensité de celui-ci ($p < 2.2e-16$).

La Figure 9 représente des boîtes à moustache des valeurs d'indices obtenues pour les 120 chorus pour l'étalon et chacun des 3 traitements. Avec l'ajout d'un bruit ambiant d'intensité normale (T1) aux chorus originaux (T0), les valeurs de tous les indices, excepté pour *ACI*,

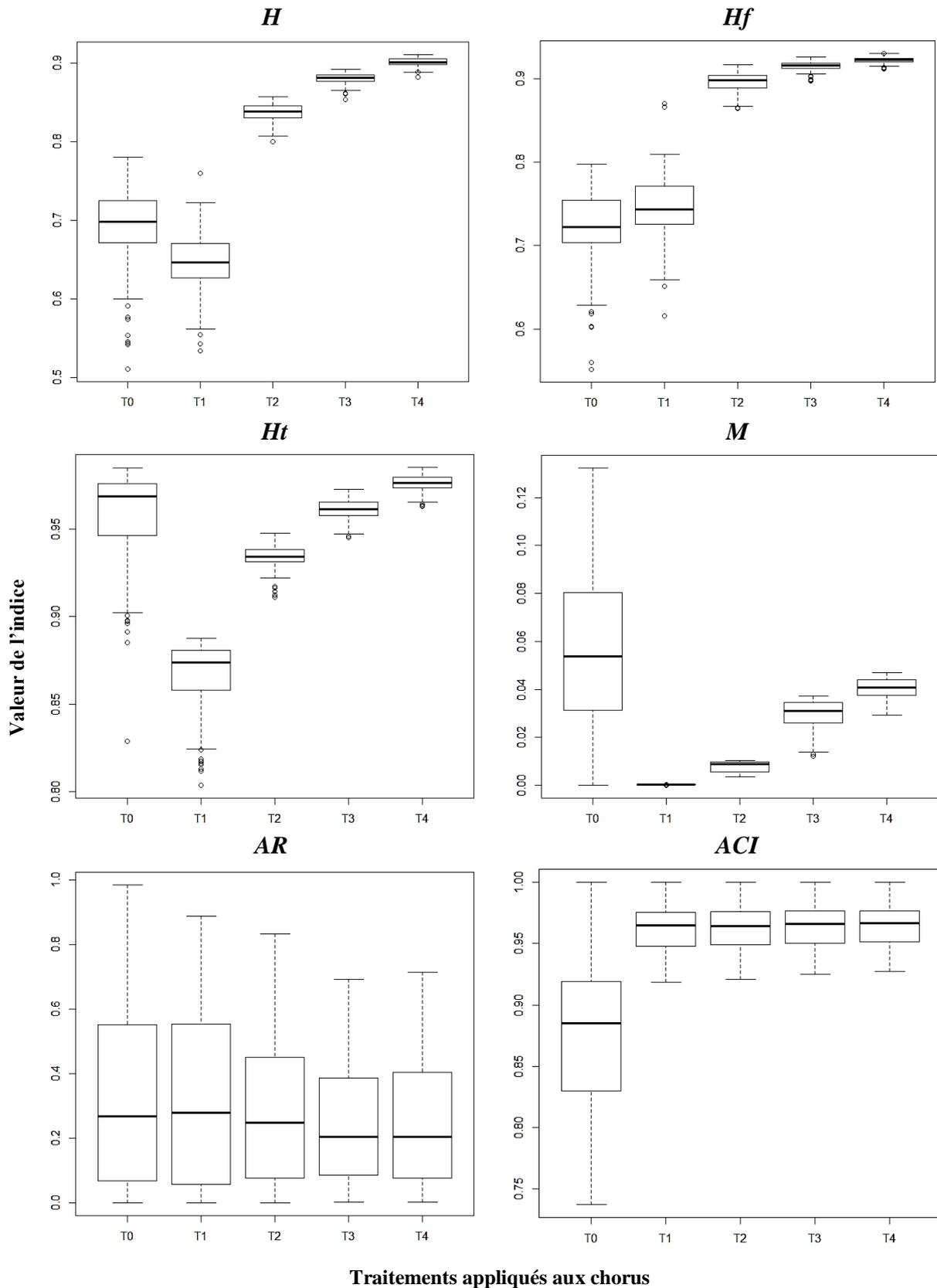


Figure 8 : Boîtes à moustache des valeurs des indices en fonction de T0 et des 4 traitements du biais 1. **T0** : valeurs étalons (30s), **T1** : T0 + 90 s silence, **T2** : T0 + 30 s bruit + 60 s silence, **T3** : T0 + 60 s bruit + 30 s silence, **T4** : T0 + 90 s bruit.

augmentent fortement, ce qui était attendu étant donné que les indices se basent sur l'hétérogénéité acoustique. A l'inverse, les valeurs d'*ACI* diminuent avec l'ajout de bruit ambiant. En effet, cet ajout entraîne une uniformisation globale et donc une diminution de l'hétérogénéité à laquelle l'indice est sensible.

Quant aux traitements T2 et T3, qui permettent de tester l'effet de l'amplification de l'intensité du bruit ambiant, il existe une légère augmentation des valeurs de *H*, *Hf* et *Ht* entre ces trois traitements. Les indices *M* et *AR* voient quant à eux leurs valeurs augmenter fortement et régulièrement avec l'amplification du bruit ambiant. Enfin, comme indiqué précédemment, les valeurs de l'indice *ACI* diminuent avec l'augmentation de l'intensité du bruit ambiant.

Pour conclure, *ACI* est l'indice qui varie le moins entre les 3 traitements et *Hf* est le moins sensible à l'augmentation de l'intensité du bruit ambiant.

3.2.3. Biais 3 : effet du recouvrement temporel entre les hurlements des individus composant le chorus

Les valeurs obtenues pour chacun des indices en fonction du degré de chevauchement des hurlements des individus au sein d'un chorus sont représentées sous forme de boîtes à moustache en Figure 10. L'impact des différents types de recouvrements temporels est très variable d'un indice à l'autre (Tableau 3). Une différence significative existe cependant entre les traitements pour tous les indices ($p < 2.2e-16$ pour *H*, *Hf*, *Ht*, *M* et $p = 3.06e-08$ pour *ACI*) sauf *AR* ($p = 0.84$). Les valeurs des indices *H*, *Ht*, *M* et *AR* sont plus faibles lorsque les hurlements des différents individus sont superposés au sein du chorus. De plus, les valeurs de *H*, *Ht* et *M* diminuent à mesure que le niveau de recouvrement augmente. Enfin, *Hf*, *AR* et *ACI* ont des valeurs relativement constantes entre les trois types de recouvrement.

Pour conclure, l'indice *AR* ne présente pas d'effet significatif vis-à-vis des différents recouvrements temporels entre les hurlements des individus composant un chorus ($p = 0.84$). Pour *ACI* un effet significatif est mis en évidence mais il s'avère plus faible que pour les autres indices ($p = 3.06e-08$).

3.3. Tests préliminaires sur des chorus naturels

Ces tests préliminaires, menés sur cinq chorus naturels (deux chorus de trois individus et trois chorus de six individus), ont permis d'obtenir des valeurs pour chacun des indices. Ces valeurs ont été utilisées pour prédire le nombre de loups à l'aide des régressions obtenues pour les 120

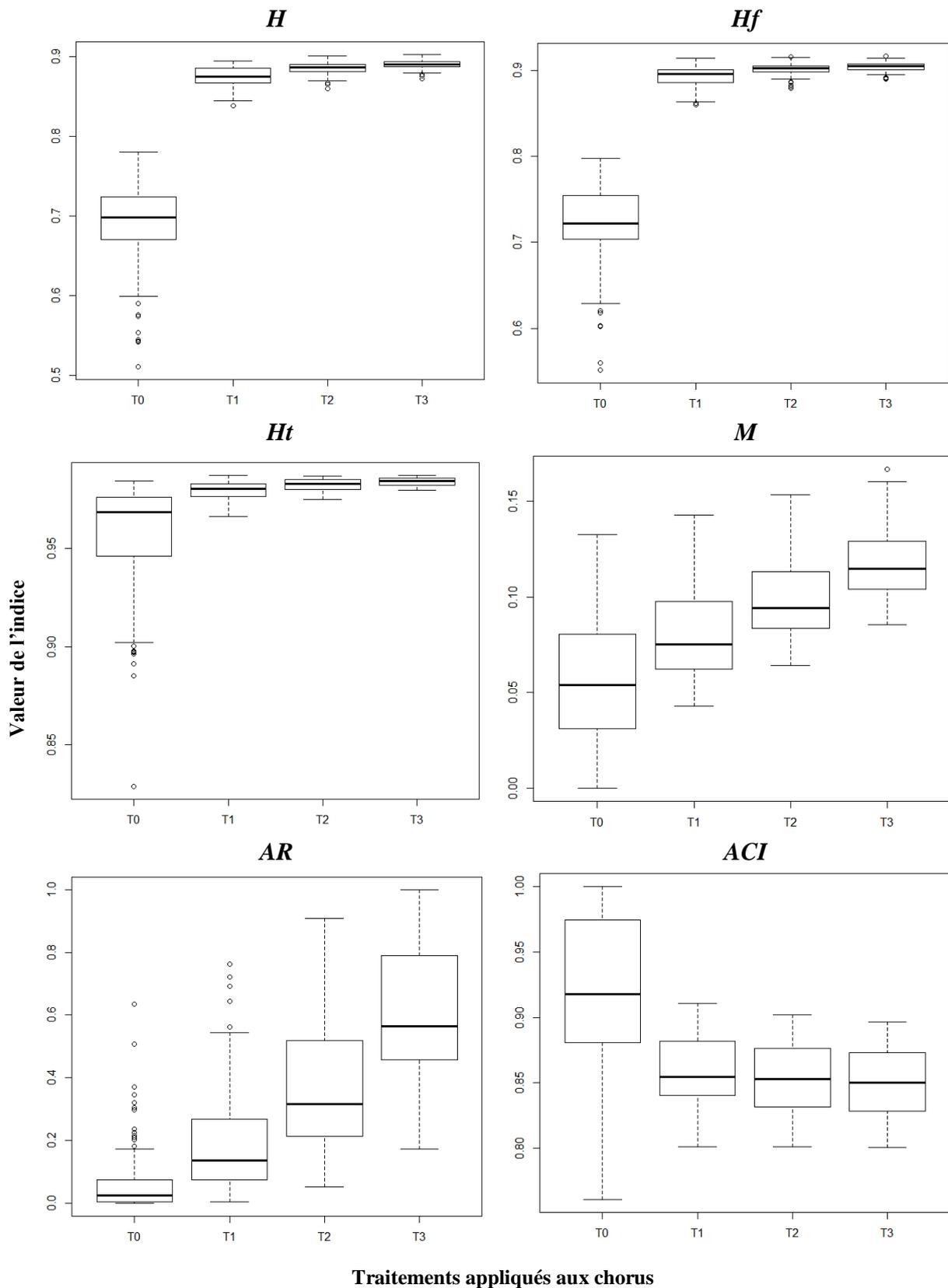
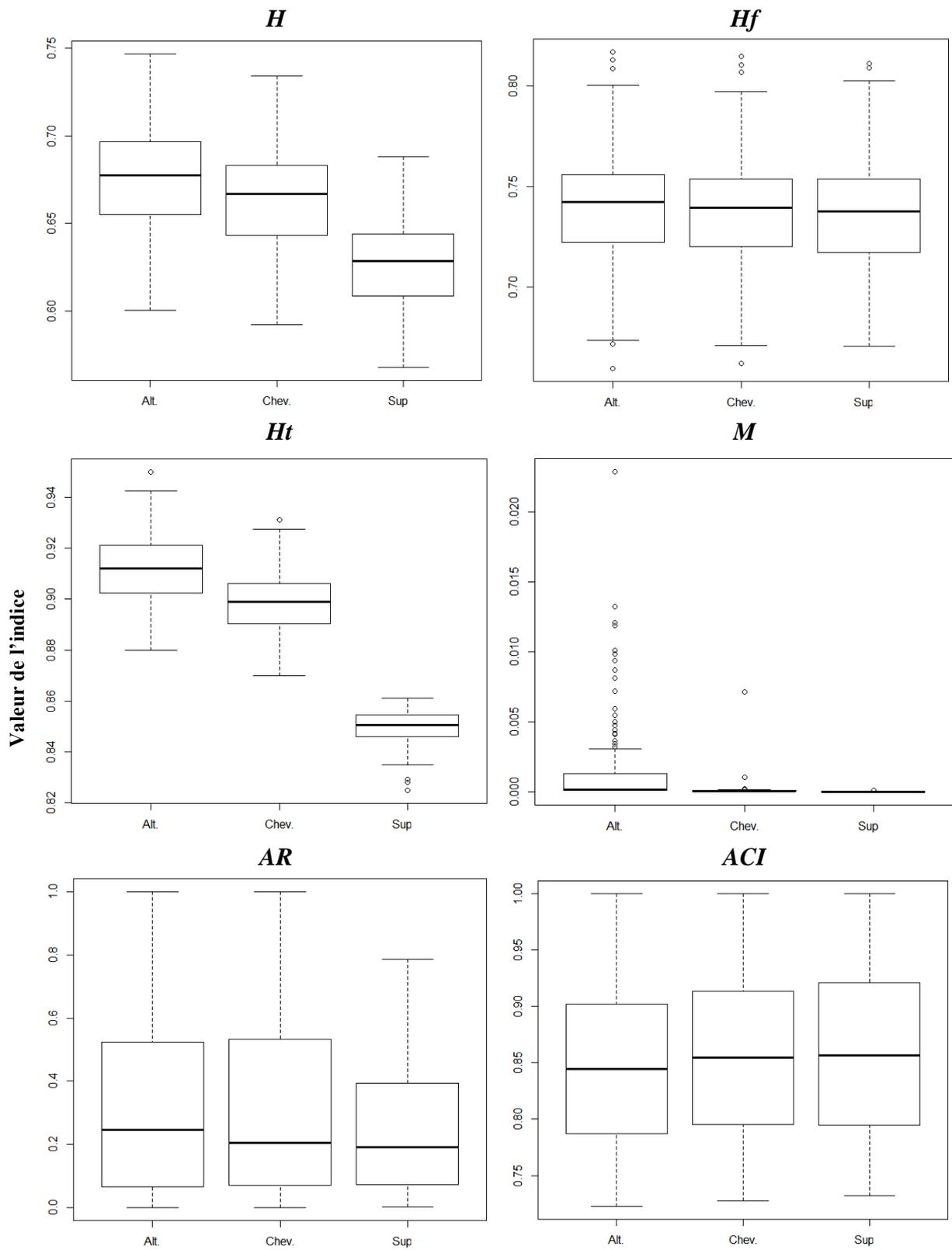


Figure 9 : Boîtes à moustache des valeurs d'indices en fonction de T0 et des 3 traitements du biais 2. **T0** : valeurs étalons (30s), **T1** : T0 + 30 s bruit d'amplitude normale, **T2** : T0 + 30 s bruit d'amplitude x50, **T3** : T0 + 30 s bruit d'amplitude x100.

chorus artificiels originaux (Figure 11). Finalement, *ACI* s'est révélé être l'indice le plus précis dans l'estimation de l'effectif de loups des chorus naturels.

Les cinq autres indices surestiment nettement l'effectif de loups des chorus naturels. Toutefois, les chorus naturels de trois individus ont bien des valeurs d'indice inférieures à celles des chorus naturels de six individus. De plus, pour des chorus naturels de même effectif, les valeurs obtenues varient plus ou moins selon les indices utilisés.



Types de recouvrement entre les individus composant les chorus

Figure 10 : Boîtes à moustache des valeurs d'indices en fonction des 3 traitements du biais 3 (superposition des hurlements dans le chorus) ; **Alt. :** T1, hurlements alternés (pas de chevauchement) ; **Chev. :** T2, hurlements se chevauchant de moitié ; **Sup. :** T3, hurlements superposés.

4. Discussion

Au regard des corrélations obtenues, tous les indices testés semblent prometteurs dans l'estimation du nombre de loups gris composant un chorus, à l'exception de *NP*. Les résultats non concluants obtenus avec ce dernier pourraient être dus au fait que les individus hurlent à plusieurs reprises au cours des chorus mais aussi de l'existence de différences de fréquence et d'amplitude à la fois entre les hurlements d'un même individu et entre les individus. Une approche similaire à celle mise en place pour l'indice *NP* a déjà été menée par Filibeck *et al.* (1982) via la détection de pics de fréquences des individus dans un chorus. Cette méthode les a conduits à dénombrer avec succès les loups hurlant dans une meute. La différence observée entre notre approche et la leur peut s'expliquer par l'effectif des chorus (plus important ici) ainsi que par la présence de plus de modulations de fréquence et d'amplitude dans notre échantillon de chorus artificiels. Ces deux points contribuent à augmenter la difficulté des analyses.

L'existence d'écart-types importants accompagnant les indices, révèle une réelle difficulté pour attribuer une valeur d'indice à un effectif précis. Or, l'objectif à l'avenir est l'analyse d'un chorus isolé (comparaison des nouvelles valeurs d'indices aux valeurs « étalon »). Toutefois, les indices *H*, *Hf* et *Ht*, qui présentent des écarts types importants pour des chorus à faible nombre d'individus, voient cette tendance s'inverser avec l'augmentation du nombre de loups. Aussi, pour les chorus à faible effectif, Passilongo *et al.* (2015) suggèrent que le dénombrement des individus d'un chorus est possible jusqu'à six individus à la seule visualisation d'un spectrogramme. Toutefois, les résultats de cette étude, s'appuyant sur des chorus issus de vidéos sélectionnées sur internet, sont peut-être à prendre avec du recul et ce type d'approche pourrait être sujette à erreurs. Par ailleurs, la présence d'un plafond atteint lorsque le nombre d'individus est important ne permet pas non plus d'estimer finement le nombre loups hurlants pour les meutes de grande taille (plus de huit - neuf loups). Les indices *M* et *AR* présentent l'avantage de ne pas atteindre ce plafond. Or, la taille des meutes dépasse rarement 10 loups en France (Duchamp *et al.* 2017), elle est en moyenne de 3 à 8 loups en Europe occidentale et jusqu'à 12 en Europe de l'est (ONCFS 2011). Ce plateau ne serait donc pas forcément atteint. Aux vues de ces résultats, plutôt que d'obtenir un nombre exact d'individus il pourrait être envisagé de rechercher des classes entre lesquelles la différence de valeur d'indice serait significative.

Si les indices semblent prometteurs, les chorus testés dans un premier temps étaient seulement composés d'extractions permettant d'obtenir un chorus artificiel sans bruit ambiant. Cette particularité a pour conséquence de permettre d'associer les valeurs obtenues, pour chacun des

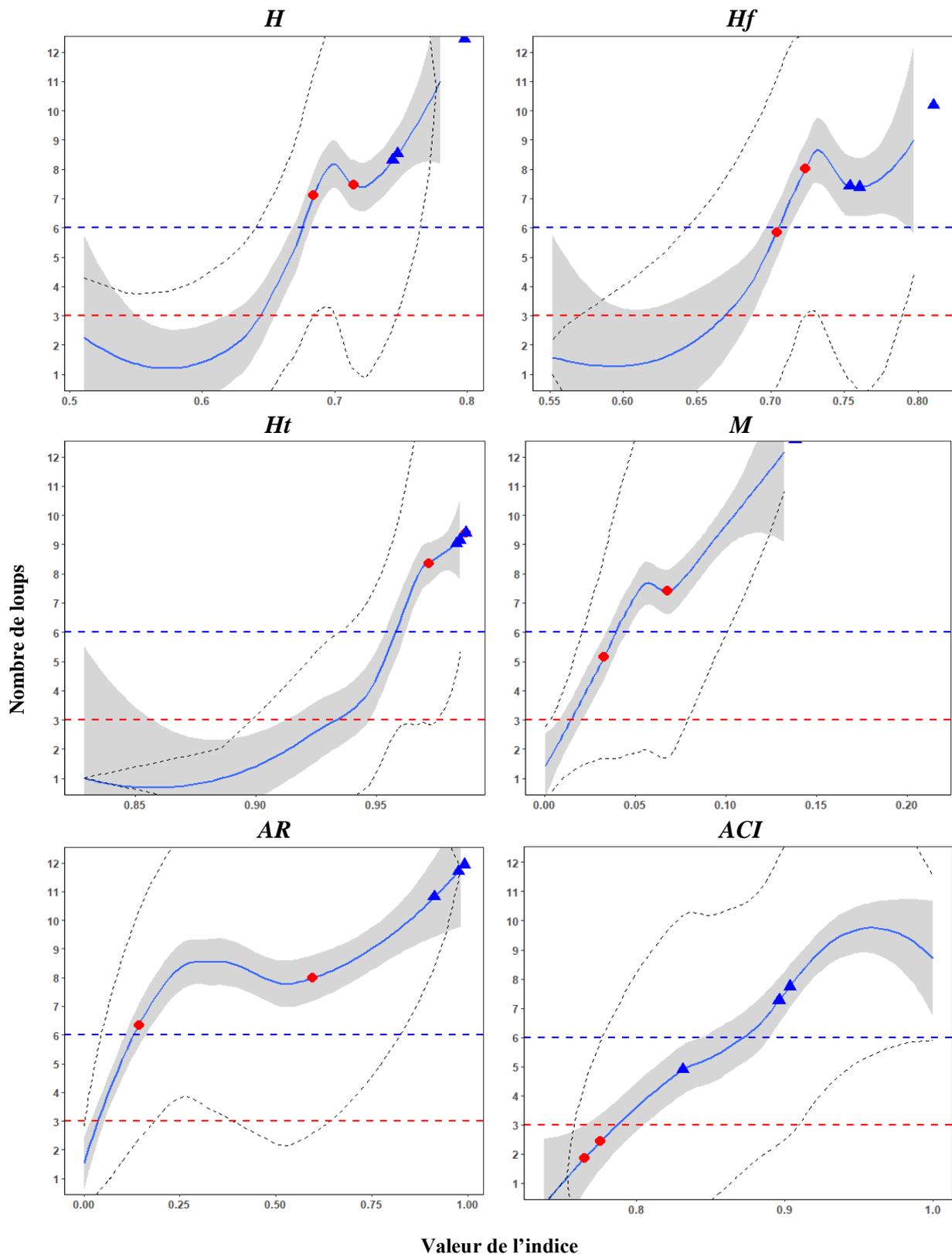


Figure 11: Prédiction du nombre de loups pour 5 valeurs d'indices calculés sur des chœurs naturels. Points rouges : 2 chœurs naturels de 3 individus ; Triangles bleu : 3 chœurs naturels de 6 individus ; Courbe bleue : régression LOESS (y =nombre de loups, en fonction de x =valeur des indices pour les 120 chœurs artificiels) ; Zone grisée : intervalle de confiance à 95% ; Pointillés noirs : intervalle de prédiction à 95% ; Ligne en pointillés rouges : $n=3$ loups ; Ligne en pointillés bleus : $n=6$ loups.

indices, à l'hétérogénéité acoustique propre au signal d'intérêt, c'est-à-dire les hurlements de loups. Pour autant, l'effet de trois autres sources d'hétérogénéité acoustique, pouvant modifier la valeur des indices et donc leur capacité à estimer correctement le nombre de loups composant un chorus, s'est avérée riche en informations.

Pour commencer, concernant le biais du rapport de la durée du chorus de loups sur la durée totale d'enregistrement, ce sont les indices *AR* et *ACI* qui ont été les moins sensibles (T1 à T4). À l'inverse, *Ht*, *M* et *ACI*, dont le calcul se base tout ou en partie sur la composante temporelle du signal, ont été plus impactés que les autres indices par la différence de longueur du fichier lors de l'ajout d'un silence simple aux chorus (T0-T1). L'indice *AR*, utilisant *Ht* et *M* pour son calcul, ne semble pas fortement impacté par ce premier traitement. Afin de limiter l'impact de ce biais sur les indices *H*, *Hf*, *Ht* et *M*, il faudrait limiter la longueur du fichier audio à la portion encadrant au plus près le signal d'intérêt. Une longueur de fichier optimale et standardisée pourrait être déterminée pour le calcul des indices, comme suggéré par Gasc *et al.* (2015). Toutefois, il serait également nécessaire d'explorer l'effet sur les indices, de différentes longueurs de fichiers audio ne comprenant que le signal d'intérêt.

La seconde source d'hétérogénéité acoustique testée était celle liée au rapport d'intensité entre le signal et le bruit ambiant. Pour ce second biais, l'ensemble des indices voient leur valeur s'accroître avec l'augmentation du bruit ambiant à l'exception de l'indice *ACI* dont la tendance est inversée. Toutefois, cet impact est beaucoup moins important pour certains indices (*H*, *Hf*). Cette différence est liée au fait que les propriétés mathématiques et acoustiques utilisées pour le calcul des indices sont différentes. L'indice *Hf* est le moins impacté par les changements d'intensité du bruit ambiant, toutefois son étendue est très faible, ce qui pourrait limiter la possibilité de différencier des chorus de taille variable. Au contraire, les indices *M*, *AR* et *ACI* présentent des étendues plus importantes mais varient beaucoup selon l'intensité du bruit ambiant. Pour rappel, l'indice *ACI* a été créé dans le but de limiter l'impact de sons anthropiques dont l'intensité est relativement constante, tels que la circulation ou le moteur d'un avion (Pieretti *et al.* 2011). Il serait donc intéressant de tester la réaction des indices sur des chorus contenant ce type de bruit ambiant en milieu naturel. Dans le cas du loup, cette idée a d'autant plus de sens que ces sons anthropiques se trouvent sur des bandes de fréquences basses tout comme les hurlements. Ainsi, l'indice *ACI* ne serait peut-être pas aussi efficace à limiter l'impact de ces sons sur l'hétérogénéité acoustique des chorus de loups qu'il ne l'est pour les chorus d'oiseaux par exemple. De plus, l'utilisation de filtres qui permettent de supprimer le bruit ambiant se trouvant à de basses fréquences (< 200 Hz dans Sueur *et al.* 2008b), n'est pas

envisageable dans notre cas puisque les fréquences des hurlements peuvent être inférieures à cette limite (e.g. 170 Hz pour les données de Papin 2014). Les résultats obtenus pour l'effet de ce second biais sur *AR* diffèrent de ceux obtenus par Gasc *et al.* (2015). En effet, dans les travaux de ces auteurs, la différence entre les trois intensités de bruit ambiant était très faible, alors que dans la présente étude, celle-ci était très forte. Ceci peut s'expliquer par le fait que le bruit ambiant ajouté aux chœurs artificiels est composé d'une forte diversité d'oiseaux qui sont probablement détectés par l'indice. Il serait donc intéressant de tester à nouveau ce biais avec un bruit ambiant présentant une diversité acoustique aviaire moins importante. En effet, les sessions de hurlements provoqués au cours desquelles pourraient être enregistrés des chœurs naturels sont le plus souvent effectuées en fin d'été - début d'automne et en fin de soirée (21h-00h), ce qui pourrait significativement réduire la présence et la diversité du bruit ambiant d'origine biologique. Le pic d'activité des chœurs aviaires a notamment lieu un peu avant et après le coucher du soleil mais ils sont fortement réduits à cette saison. À l'inverse, les orthoptères sont présents dans le paysage sonore concerné, à ces périodes et horaires, mais leurs émissions sonores sont situées dans une bande de fréquence plus haute (par exemple 5000 - 15000 Hz pour *Tettigonia cantans*, qui domine le paysage sonore concerné chez les insectes ; J. Pichenot communication personnelle) et ils ne sont donc pas gênants.

La troisième source d'hétérogénéité acoustique étudiée était liée aux différents degrés de recouvrement temporel entre les hurlements des individus composant un chœur. Dans ce cas, *AR* est de loin l'indice le moins impacté par ce biais, suivi par *ACI* et *Hf* qui le sont aussi très peu. Notons que ce biais a été évalué seulement pour un chœur composé de six individus, et qu'il serait intéressant d'évaluer son impact sur des chœurs de tailles différentes.

En complément des trois biais testés au cours de ce travail, d'autres facteurs pouvant également faire augmenter l'hétérogénéité acoustique pourraient être testés comme la composition sonore des chœurs (types de vocalisations composant le chœur) et les différences d'intensités relatives au sein d'un chœur (variabilité de l'amplitude des hurlements pour un même individu ou entre les hurlements de différents individus). En effet, les caractéristiques inter- et intra- individuelles ainsi que d'autres types d'émissions acoustiques (jappements, aboiements, grognements) pourraient également influencer la valeur des indices et complexifier les estimations.

Enfin, les tests réalisés sur les chœurs naturels enregistrés en captivité ont permis de montrer qu'*ACI* est relativement efficace pour estimer le nombre de loups composant un chœur, avec les chœurs artificiels comme références. D'autres indices (*H*, *Hf*, *M* et *AR*) différencient bien les chœurs naturels composés de trois individus d'une part et de six individus d'autre part, mais ne

les classent pas correctement vis-à-vis des chorus de référence. Ceci est très certainement dû au fait que les chorus de référence ne présentent aucun bruit ambiant contrairement aux chorus naturels. De plus, les chorus naturels testés présentent quelques hurlements fortement modulés en termes de fréquence et d'amplitude, ainsi que des vocalisations autres que les hurlements, ce qui peut aussi expliquer les valeurs importantes d'indices obtenues par rapport à celles des chorus artificiels.

Pour finir, d'autres aspects d'ordre technique pourraient également être explorés dans des investigations futures sur l'utilisation des indices de diversité acoustique pour l'estimation de l'effectif des meutes de loups gris. C'est le cas notamment du type de matériel utilisé lors des enregistrements (micro directionnel, enregistreur autonome, etc.) qui est susceptible d'influencer les valeurs d'indices. En effet, le rapport signal/bruit sera généralement plus élevé avec un micro directionnel car celui-ci permet d'éliminer une partie des sons non ciblés, contrairement aux microphones omnidirectionnels des enregistreurs autonomes. De la même manière, sans pour autant que cela fasse l'objet d'investigations, des recommandations devront être formulées quant aux périodes et lieux d'enregistrements propices à l'obtention de chorus de bonne qualité acoustique. En effet, l'ambiance sonore et la propagation du son dépendent notamment du milieu (type de végétation, topographie, etc.), de l'horaire et des caractéristiques environnementales (conditions météorologiques en particulier). Enfin, une distance maximale entre les loups en train d'hurler (émetteur) et le dispositif d'enregistrement (récepteur) devra être fixée.

5. Conclusion

Comme l'a démontré cette étude, six indices acoustiques semblent prometteurs pour l'estimation du nombre de loups gris composant un chorus. Toutefois, l'étude des trois biais a démontré que les indices *ACI* et *AR* semblent les moins sensibles à la variation de l'hétérogénéité acoustique non liée au nombre de loups composant les chorus. L'efficacité de l'indice *ACI* a été confirmée par les tests préliminaires effectués sur les chorus naturels puisque la valeur obtenue était proche de celle correspondant au nombre réel d'individus. L'indice *AR* quant à lui présente l'inconvénient de se baser sur les rangs des indices *Ht* et *M*, ce qui rend son utilisation impossible si un jeu de données étalon n'est pas disponible. De plus, l'impact d'un bruit ambiant différent de celui utilisé dans notre étude n'est pas connu. Enfin, *Ht* et *M* sont plus fortement influencés par les différents biais testés, ce qui doit donc indirectement influencer *AR*. D'autres indices de diversité acoustique de type alpha pourraient aussi être testés (e.g. *Hv* ; Towsey *et al.* 2014). Par ailleurs, la création d'un nouvel indice ou d'un super indice couplant plusieurs indices efficaces, pourrait être envisagée afin de s'adapter au mieux aux caractéristiques acoustiques des chorus de loups gris.

La méthode proposée par cette étude pourrait permettre un suivi des meutes sur le long terme, en étudiant les variations de l'indice d'une année à l'autre, afin par exemple de détecter une augmentation de la taille de la meute. Cette perspective de comparaison inter annuelle ou entre meutes pourrait par ailleurs être envisagée à travers l'utilisation des indices de dissimilarité acoustique de type β , non étudiés dans ce travail. Toutefois, il faut rappeler que la méthode testée dans ce présent travail estime l'effectif de loups composant un chorus mais pas nécessairement celui de la meute. En effet, tous les individus composant une meute n'hurlent pas forcément (Harrington 1987) et ne sont pas toujours tous réunis lors des chorus (Holt 1998). De plus, une estimation par classe d'effectif de loups dans les chorus semblerait plus appropriée au regard des écarts-types importants obtenus pour chaque indice. En l'état, le risque d'une sur ou sous-estimation doit être exploré afin d'affiner les estimations. Enfin, la constitution d'une base de données de chorus naturels (enregistrés en captivité ou en milieu naturel), dont les effectifs sont connus, permettrait d'approfondir les potentialités de cette méthode. Cette base de données permettrait en effet d'obtenir une courbe étalon pouvant servir de référence pour prédire plus finement l'effectif à partir d'enregistrements réalisés en milieu naturel.

Bibliographie et Webographie

- Audacity. 2017. Logiciel libre et multi-plateforme pour l'enregistrement et l'édition de sons. Version 2.1.3.
- Barataud M. & Tupinier Y. 2015. Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe : Identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse. Troisième édition. Biotope, Mèze. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 344p.
- Boelman N.T., Asner G.P., Hart P.J. & Martin R.E. 2007. Multitrophic invasion resistance in Hawaii: bioacoustics, field surveys, and airborne remote sensins. *Ecological Applications*, 17: 2137-2144.
- Cleveland W.S., Devlin S.J. & Grosse E. 1988. Regression By Local Fitting. *Journal of Econometrics*, 37: 87-114.
- Cleveland W.S., Grosse E. & Shyu W.M. 1992. Local regression models. Chapter 8, *Statistical Models in S*, Eds J.M. Chambers and T.J. Hastie, Wadsworth & Brooks/Cole.
- 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.
- Depraetere M., Pavoine S., Jiguet F., Gasc A., Duvail S. & Sueur J. 2012. Monitoring animal diversity using acoustic indices: implementation in a temperate woodland. *Ecological Indicators*, 13: 46-54.
- Duchamp C., Chapron G., Gimenez O., Robert A., Sarrazin F., Beudels-Jamar R. & Le Maho Y. 2017. Expertise collective scientifique sur la viabilité et le devenir de la population de loups en France à long terme sous la coordination ONCFS-MNHN de : Guinot-Ghestem M., Haffner P., Marboutin É., Rousset G., Savouret- Soubelet A., Siblet J.P., Trudelle L. 92p.
- Farina, A. & Morri, D. 2008. Source-sink e eco-field: ipotesi ed evidenze sperimentali. Atti del X congresso nazionale della SIEP-IALE. *Ecologia e governance del paesaggio: esperienze e prospettive*. Bari, 365-372.

- Filibeck U., Nicoli M., Rossi P. & Boscagli G. 1982. Detection by frequency analyzer of individual wolves howling in a chorus: A preliminary report. *Bolletino di zoologia*, 49: 151-154.
- Gasc A. 2012. Analyse et suivi de la biodiversité animale par des techniques novatrices de bioacoustique. Thèse de doctorat, sous la direction de Sueur J., Pavoine S. et Grandcolas P., 229p.
- Gasc A., Sueur J., Pavoine S., Pellens R. & Grandcolas P. 2013. Biodiversity Sampling Using a Global Acoustic Approach: Contrasting Sites with Microendemics in New Caledonia. *PLoS ONE*, 8(5): e65311.
- Gasc A., Pavoine S., Lellouch L., Grandcolas P. & Sueur J. 2015. Acoustic indices for biodiversity assessments: Analyses of bias based on simulated bird assemblages and recommendations for field surveys. *Biological Conservation*, 191: 306–312.
- Harrington F.H. 1987. Aggressive howling in wolves. *Animal Behaviour*, 35: 7-12.
- Harrington F.H. 1989. Chorus howling by wolves: acoustic structure, pack size and the Beau Geste effect. *Bioacoustics*, 2: 117-136.
- Harrington F.H. & Asa C.S. 2003. Wolf communication. In: Mech L.D., Boitani L., editors. *Wolves: behaviour, ecology and conservation*. The University of Chicago press, 448: 66-103.
- Holt T. 1998. A structural description and reclassification of the wolf, *Canis lupus*, chorus howl. M.S. thesis, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada. 100p.
- Joo W., Gage S. H. & Kasten E. P. 2011. Analysis and interpretation of variability in soundscapes along an urban rural gradient. *Landscape and Urban Planning*, 103: 259-276.
- Kasten E., Gage S., Fox J. & Joo W. 2012. The remote environmental assessment laboratory's acoustic library: an archive for studying soundscape ecology. *Ecological Informatics*, 12: 50-67.
- Krause B., Gage S. & Joo W. 2011. Measuring and interpreting the temporal variability in the soundscape at four places in Sequoia National Park. *Landscape Ecology*, 26: 1247-1256.
- Legendre L. & Legendre P. 1984. *Écologie numérique*. Deuxième édition française, revue et augmentée : Masson, Paris, et les Presse de l'Université du Québec. 335p.

- Leonard Y., Briaudet P., Bataille A., Delacour G., Laurent A., Duchamp C. & Marboutin E. 2012. Bilan du suivi hivernal 2011/2012. Bulletin loup du Réseau Loup Lynx, 27: 13-23.
- Longis S., Leonard Y., Sèbe F. & Duchamp C. 2004. Test de la méthode du hurlement provoqué. Compte rendu suivi estival pour la reproduction du loup 2004. Quoi de neuf ? Bulletin d'information du réseau loup, 12: 5-7.
- MEDDE⁵ & MAAF⁶. 2013. Plan National d'Action Loup 2013-2017. 69 p.
- Obrist M., Pavan G., Sueur J., Riede K., Llusia D. & Márquez R. 2010. Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. *Abc Taxa*, 8: 68-99.
- ONCFS 2011. Document de formation : Le loup. Réseaux loup-lynx. ONCFS - Direction Etudes & Recherche - CNERA PAD - Equipe loup-lynx. 81p.
- ONCFS 2016a. Répartition du Loup en France depuis 2008. Portail cartographique Carmen [http://carmen.carmencarto.fr/38/Loup_presence_communale.map], consulté le 24/05/2017.
- ONCFS 2016b. Répartition du Lynx en France depuis 1987. Portail cartographique Carmen [http://carmen.carmencarto.fr/38/Lynx_presence_par_maille.map], consulté le 24/05/2017.
- Palacios V., Font E. & Marquez R. 2007. Iberian wolf howls: acoustic structure, individual variation, and a comparison with North American populations. *Journal of Mammalogy*, 88: 606-613.
- Palacios V., López-Bao J.V., Llaneza L., Fernández C. & Font E. 2016. Decoding Group Vocalizations: The Acoustic Energy Distribution of Chorus Howls Is Useful to Determine Wolf Reproduction. *PLoS ONE*, 11(5): e0153858.
- Papin M. 2014. Suivi et estimation de l'effectif des meutes de loups gris (*Canis lupus lupus*) grâce à une méthode bioacoustique : Essais et test préliminaires sur des meutes captives. Rapport de stage de Master 2, CROC, Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores, Lucy, France, 35p.
- Passilongo, D., Buccianti, A., Dessì-Fulgheri, F., Gazzola, A., Zaccaroni, M. & Apollonio, M., 2010. The acoustic structure of wolf howls in some Eastern Tuscany (Central Italy) free ranging packs. *Bioacoustics*, 19: 159–175.

⁵ Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie.

⁶ Ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la Forêt.

- Passilongo D., Mattioli L., Bassi E., Szabó L. & Apollonio M. 2015. Visualizing sound: counting wolves by using a spectral view of the chorus howling. *Frontiers in Zoology*, 12: 22.
- Pekin B.K., Jung J., Villanueva-Rivera L.J., Pijanowski B.C. & Ahumada J.A. 2012. Modeling acoustic diversity using soundscape recordings and LIDAR-derived metrics of vertical forest structure in a neotropical rainforest. *Landscape Ecology*, 27: 1513-1522.
- Pieretti N., Farina A. & Morri F.D. 2011. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: the Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators*, 11: 868-873.
- Root-Gutteridge H., Bencsik M., Chebli M., Gentle L.K., Terrell-Nield C., Bourit A. & Yarnell R.W. 2014a. Improving individual identification in captive Eastern Grey Wolves (*Canis lupus lycaon*) using the time course of howl amplitudes. *Bioacoustics* 23: 39-53.
- Root-Gutteridge H., Bencsik M., Chebli M., Gentle L.K., Terrell-Nield C., Bourit A. & Yarnell R.W. 2014b. Identifying individual wild Eastern grey wolves (*Canis lupus lycaon*) using fundamental frequency and amplitude of howls. *Bioacoustics*, 23: 55-66.
- RStudio Team. 2017. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, <http://www.rstudio.com/>, Version 1.0.153.
- Rychtáriková M. & Vermeir G. 2013. Soundscape categorization on the basis of objective acoustical parameters. *Applied Acoustics*, 74: 240-247.
- Sèbe F., Heitz N., Latini R. & Aubin T. 2004. Le wolf howling, un outil pour le recensement et la conservation des loups: possibilités et limites de la méthode. *Recherches Naturalistes en Région Centre*, 14: 53-59.
- Sèbe F. 2012. La bioacoustique : un outil d'avenir pour le suivi et la gestion des espèces animales. *Faune Sauvage*, 295: 4-7.
- SONY SpectraLayers Pro. 2013. SONY Creative Software. Version 2.0.
- Sueur J., Aubin T., Simonis C. 2008a. Seewave: a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, 18: 213-226.
- Sueur J., Pavoine S., Hamerlynck O. & Duvail S. 2008b. Rapid Acoustic Survey for Biodiversity Appraisal. *PLoS ONE*, 3: e4065.

- Sueur J., Gasc A., Grandcolas P. & Pavoine S. 2012. Global estimation of animal diversity using automatic acoustic sensors. In: Sensors for ecology, Editors Le Gaillard J.-F., Guarini J.-M., Gaill F. Paris, CNRS, 99-117.
- Sueur J., Farina A., Gasc A., Pieretti N. & Pavoine S. 2014. Acoustic Indices for Biodiversity Assessment and Landscape Investigation. *Acta Acustica united with Acustica*, 100: 772-781.
- Theberge, J.B. & Falls J.B. 1967. Howling as a means of communication in timber wolves. *American Zoologist*, 7: 331–338.
- Tooze Z.J., Harrington F.H. & Fentress J.C. 1990. Individually distinct vocalizations in timber wolves, *Canis lupus*. *Animal Behaviour*, 40: 723-730.
- Towsey M., Wimmer J., Williamson I. & Roe P. 2014. The use of acoustic indices to determine avian species richness in audio-recordings of the environment. *Ecological Informatics*, 21: 110-119.
- UICN France, MNHN, SFEPM & ONCFS. 2009. La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Mammifères de France métropolitaine. Paris, France, 12p.
- Villanueva-Rivera L. J. 2007. Digital recorders increase detection of Eleutherodactylus frogs. *Herpetological Review*, 38: 59-63.
- Zaccaroni M., Passilongo D., Buccianti A., Dessì-Fulgheri F., Facchini C., Gazzola A., Maggini I. & Apollonio M. 2012. Group specific vocal signature in free-ranging wolf packs. *Ethology Ecology & Evolution*, 24: 322-331.

Annexes

Annexe 1 : Diagramme de Gantt présentant le programme de réalisation de ce stage.

	Mois Semaines	Mars					Avril					Mai					Juin				Juillet				Août				
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
Taches																													
Point hebdomadaire/suivi avancement*																													
*Sous forme de fiche transmise par mail les lundi, et entretien si besoin.																													
Recherche bibliographique sur les indices																													
Réunion point synthèse (équipe)				21																									
Présentation de ma synthèse à l'équipe (Power Point)					3																								
Analyses																													
Familiarisation avec le logiciel seewave																													
Document de réflexion sur les analyses à réaliser (support réunion)																													
Réunion point analyse (équipe)									28				17	22				8	12				7						
Calcul des indices																													
Tests paramétrages des indices sous Seewave																													
Tests découpes temporelles des fichiers audio																													
Sélection d'ambiances sonores																													
Création de nouveaux choris les biais 3 et 4																													
Tests sur les biais																													
Rédaction du rapport																													
Rendu pré-rapport pour relecture														9			22												
Rendu définitif pré-rapport															28														
Rendu rapport pour relecture + révisions																									3				
Rendu définitif rapport																											20		
Power Point pour oral																													
Rendu pour relecture + entraînements																													
Rendu définitif Power Point oral																											21		
Oral																												30	

Légende



taches principales



21 point clé (réunion ou échéance) (date du rendu)

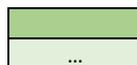


28 rendus pour la fac (date du rendu)



durée de la tache principale

... prolongement de la tache principale en cas de besoin



durée d'une tache

... prolongement de la tache en cas de besoin

Annexe 2 : Tableau récapitulatif des individus composant les chorus artificiels (modifié à partir de Papin 2014).

Parc animalier	Individu	Code identifiant	Sexe	Année de naissance
PASC (3 loups enregistrés sur une meute de 4)	Amande	A	F	2002
	Coyote	Co	F	2008
	Zorro	Z	M	2003
PASC (7 loups enregistrés sur une meute de 9)	Alix	Al	F	2010
	Ana	An	F	2010
	Aron	Ar	M	2005
	Cerbère	Cer	M	2012
	Chaussette	Cha	F	2012
	Cheyenne	Che	M	2012
	Lola	Lo	F	2005
PESCH (2 loups enregistrés sur une meute de 10)	Grimlins	G	F	2007
	Léa	L	F	2004

Abréviations :

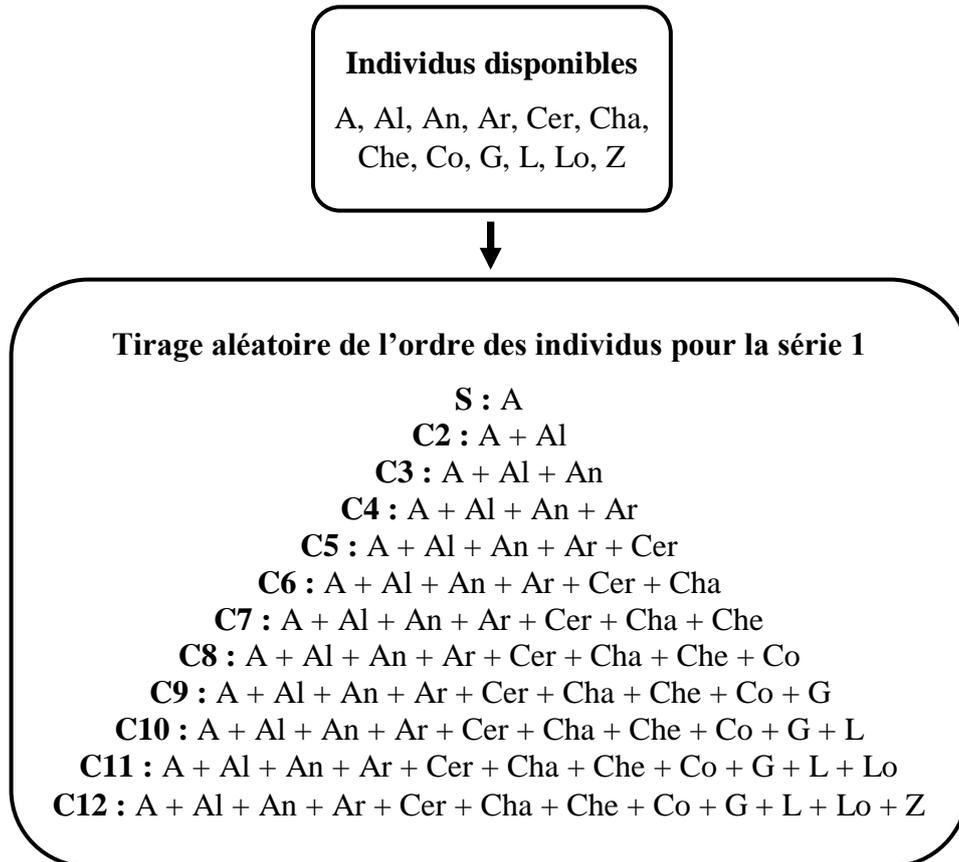
M : Mâle ; F : Femelle ; PASC : Parc Animalier de Sainte Croix (France, Moselle) ;
PESCH : Domaine de Pescheray (France, Sarthe).

Annexe 3 : Démarche de constitution des chorus artificiels de Papin (2014), exemple de la série 1

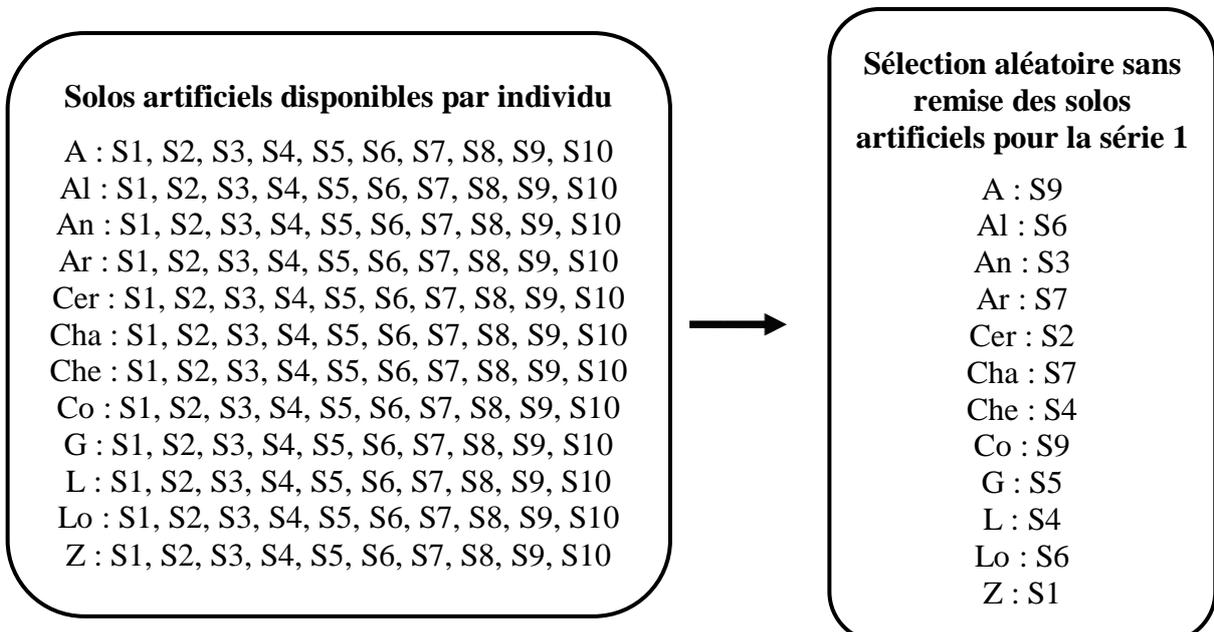
S : Solos artificiels ; C2 à C12 : Chorus artificiels de 2 individus à 12 individus,

S1 à S12 : Solo artificiel 1 à 10 de chaque individu.

Etape 1 : Composition en individus des chorus (répété pour 10 séries, avec remise)



**Etape 2 : Finalisation des chorus avec la sélection du solo artificiel par individu
(répété pour les 10 séries, sans remise des solos artificiels entre séries)**

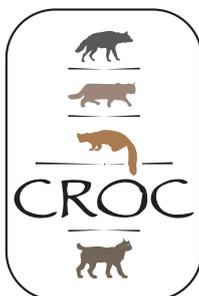


Les indices de diversité acoustique ont été récemment développés pour obtenir une évaluation de la biodiversité. Ils mesurent l'hétérogénéité acoustique produite par la faune dans un milieu naturel. Parmi les indices existants, ceux de type α mesurent la diversité en espèces d'une communauté en étudiant les variations fréquentielles et temporelles du signal sonore de celle-ci. Dans le cadre du présent travail, nous avons voulu savoir si ces indices pouvaient être détournés de leur usage initial pour estimer l'effectif des chorus de meutes de loups gris (*Canis lupus*). Au total, sept indices de type α (*Hf*, *Ht*, *H*, *M*, *AR*, *ACI*, *NP*) ont été calculés à partir de chorus artificiels créés avec des effectifs allant de un à douze loups. L'existence d'une corrélation positive entre le nombre d'individus et la valeur de l'indice a été mise en évidence pour six des indices testés. Toutefois, l'hétérogénéité acoustique sur laquelle ces indices se basent peut être influencée par d'autres facteurs que le nombre d'individus composant les chorus (trois biais testés). Finalement, les indices *ACI* et *AR* semblent être les plus prometteurs et fournissent une nouvelle approche innovante pour le suivi de l'effectif des meutes de loups gris. Une étude basée sur des chorus naturels (de taille connue) permettrait de compléter ces résultats et de fournir un outil opérationnel non invasif pour le suivi des meutes.

Mots clés : indices acoustiques, *Canis lupus*, chorus, hurlements, simulations, biais, suivi d'espèce

Acoustic diversity indices were recently developed for biodiversity evaluation. They measure acoustic heterogeneity generated by fauna in natural environment. Among these existing indices, α indices measure the species diversity in a community, by studying frequency and temporal variations of the community acoustic signal. In our study, we explored if acoustic diversity indices could be used for other objectives like the estimation of gray wolves (*Canis lupus*) number in pack choruses. A total of seven α type indices (*Hf*, *Ht*, *H*, *M*, *AR*, *ACI*, *NP*) have been calculated with artificial choruses composed of one to twelve wolves. A positive correlation between the number of wolves and the indices values has been highlighted for six of the seven indices tested. However, these indices are based on the acoustic heterogeneity that appeared to be influenced by factors other than the number of individuals composing the choruses (three biases tested). Finally, *ACI* and *AR* appear to be the most promising indices and provide a new innovative approach for monitoring pack sizes. A complementary interesting study based on natural choruses (known pack sizes) would complete these results to conduce to an operational and non-invasive tool for wolf pack monitoring.

Keywords: acoustic indices, *Canis lupus*, chorus, howls, simulations, bias, species monitoring



Centre de Recherche et d'Observation sur les Carnivores

www.croc-asso.org

Bureaux et siège social :

4 rue de la banie

57590 Lucy

Tél : 03.87.86.90.76
