



Agir pour
la biodiversité



AMÉLIORATION DE LA CONNAISSANCE DU LAGOPÈDE ALPIN 14.4

CVB Belledonne



2023

La Région
Auvergne-Rhône-Alpes



CONTRAT VERT & BLEU
Belledonne

RÉFÉRENCE DU DOCUMENT

Lambert A., Drillat B., 2023. Amélioration de la connaissance du Lagopède alpin – 14.4. Région Auvergne-Rhône-Alpes – CVB Belledonne. LPO AuRA DT Savoie, 24 pp.

RÉDACTION ET VALIDATION

Objet	Personne(s)
Rédaction	Drillat B, chargé de mission ; Lambert A. coordinateur
Relecture et validation	Dejean A., directrice

STRUCTURE

LPO AuRA DT Savoie

101 rue de Mundelsheim

73290 La Motte-Servolex

Tél : 04 37 61 05 06

Adresse électronique : savoie@lpo.fr

CRÉDITS PHOTO

Page de garde : Simonin D., Bertrand Y.

SOMMAIRE

Introduction.....	5
1 Suivi du Lagopède alpin.....	6
1.1 Matériel et méthodes.....	6
1.1.1 Choix de la bioacoustique dans le cadre du projet.....	6
1.1.2 Échantillonnage spatial et temporel.....	7
1.1.3 Choix et déploiement des enregistreurs.....	10
1.1.4 Analyses bioacoustiques.....	12
1.2 Analyses spatiales et temporelles.....	16
1.2.1 Activité vocale et phénologie.....	18
1.2.2 Activité vocale et analyses spatiales.....	19
Conclusion.....	22
Bibliographie.....	23

INTRODUCTION

Le Lagopède alpin est un galliforme de montagne qui affectionne les landes à végétation rase et pelouses rocailleuses ainsi que les crêtes rocheuses, il est souvent présent entre 1 800m et 3 000m d'altitude et de préférence dans les versants nord plus froids. Son territoire de reproduction est généralement plutôt situé entre 2 100m et 2 600m d'altitude.

L'habitat de l'espèce se situe entre l'étage alpin et l'étage nival. Du fait de son écologie cette espèce est considérée comme une des espèces les plus sensibles au réchauffement climatique et les projections d'évolution de son habitat prévoient une réduction de 60% d'ici 2050 et presque la totalité (plus de 90%) d'ici 2090 (Carlson, 2018). L'augmentation des températures est d'autant plus significative que le milieu est situé à haute altitude. La conservation de ses habitats est considérée comme prioritaire.

Cette espèce fait partie des seules espèces d'oiseaux à occuper des altitudes aussi élevées dans nos massifs. Le lagopède est considéré comme étant une espèce indicatrice de l'évolution des milieux montagnards qu'elle occupe, ainsi agir sur le lagopède alpin permettrait d'avoir une action favorable aux milieux qu'il occupe et serait favorable aux différents cortèges d'espèces présents dans ces habitats. Cette espèce est considérée comme « quasiment-menacée » et disparue de Chartreuse et des Bauges. La dynamique de population de l'espèce est en déclin notamment du fait de la réduction de son aire de répartition. Cette espèce est particulièrement sensible au dérangement notamment par les randonneurs en période de nidification (juin à août) et par le développement des activités de sports d'hiver (Arlettaz, 2007), les stations de ski impactant négativement les populations (Watson&Moss 2014, Simona 2013), les troupeaux domestiques peuvent être à l'origine de destructions directes des nids et les chiens peuvent être à l'origine de prédation sur les nichées (Miquet et Deana, 2002). De plus, cette espèce, qui change de plumage pour devenir blanche en hiver est susceptible de voir sa mortalité accrue du fait des modifications des périodes d'enneigement (elle devient plus facilement repérable par ses prédateurs).

Afin de mieux connaître les logiques de répartition de cette espèce, la LPO AURA a souhaité développer un programme de suivi bioacoustique dans le massif de Belledonne de 2022 à 2025. L'objectif de l'étude vise à améliorer la connaissance de la répartition du Lagopède alpin dans le massif de Belledonne et particulièrement dans deux zones à enjeux identifiées dans l'étude de préfiguration du Contrat Vert et Bleu de Belledonne : le secteur à enjeux n°4 (versant vallée des Villards-Maurienne) et le secteur n°6 (Fond de France-7 Laux). Ce projet est porté dans le cadre du Contrat Vert et Bleu de Belledonne et soutenu par la Région Auvergne-Rhône-Alpes.

1 SUIVI DU LAGOPÈDE ALPIN

1.1 Matériel et méthodes

1.1.1 Choix de la bioacoustique dans le cadre du projet

Les techniques conventionnelles de comptage au chant nécessitent des moyens humains importants et peuvent difficilement être mis en place à grande échelle [Gibbs et al. 2019]. C'est pourquoi la LPO a choisi de déployer une méthode bioacoustique pour son projet en faveur du lagopède.

La bioacoustique cherche à étudier le vivant par l'ensemble de ses émissions sonores, appelé biophonie. La biophonie constitue le paysage sonore d'un habitat, avec la géophonie et l'antropophonie, respectivement les sons naturels d'origine abiotique et d'origine humaine [Farina, 2014].

Le champ d'application de la bioacoustique et de son pendant appliqué aux écosystèmes, l'écoacoustique, s'étend de l'étude de caractéristiques intra-spécifiques et individuelles, jusqu'au déterminisme de l'état de conservation des écosystèmes et biomes.

La pose de détecteurs autonomes est une méthode non-invasive qui permet d'empêcher toute interférence de l'observateur avec le sujet d'étude, tout en évitant les dérangements. Il s'agit également d'un outil privilégié pour le suivi des écosystèmes aux conditions climatiques difficiles, puisque ne nécessitant pas d'accès fréquent par l'observateur. Ainsi, cette méthode ne demande que la mobilisation de moyens humains très limités au regard de la somme des données récoltées, par ailleurs très importante même pour une durée de déploiement courte [Abrahams, 2018]; [Gibbs et al. 2019]; [Marin-Cudraz, 2019].

De même, les espèces rares, cryptiques ou difficilement détectables peuvent être suivies par des sessions d'enregistrements pouvant se prolonger sur plusieurs mois, sans contraintes horaires ni environnementales. Les enregistrements acoustiques sont des données brutes et complètes du paysage sonore des habitats, ceux-ci peuvent donc être analysés pour de nouvelles études plusieurs années après leur récolte [Zwart et al, 2014].

Ces méthodes se prêtent donc parfaitement au projet en faveur du lagopède. En effet, la haute-montagne rend difficile l'accès fréquent par des naturalistes et les conditions météorologiques sont peu prévisibles, ne permettant souvent pas l'obtention de conditions de comptage favorables. Le lagopède étant une espèce peu détectable par des moyens visuels et les comptages au chant nécessitant des sessions d'écoute longues et très matinales, le déploiement d'enregistreurs semble la meilleure solution pour obtenir suffisamment de données exploitables.

1.1.2 Échantillonnage spatial et temporel

Méthode de sélection des mailles

Afin de sélectionner les mailles de manière aléatoire tout en conservant une variabilité maximale des paramètres environnementaux sur l'ensemble de l'étude, une méthode de l'échantillonnage stratifié a été utilisée sur les ensembles de mailles de la zone d'étude.

L'échantillonnage stratifié est une méthode d'échantillonnage qui consiste à diviser un ensemble d'items à sélectionner en sous-groupes (ou strates) en fonction des caractéristiques prises en compte pour l'étude. L'objectif est d'assurer que chaque strate soit représentée de manière équivalente dans l'échantillon final.

Quatre catégories de mailles ont été créées, en fonction de différentes variables environnementales et historiques.

Les données historiques prises en compte sont liées à l'ancienneté de la dernière donnée de Lagopède alpin renseignée sur la maille considérée : les mailles n'ayant jamais enregistré de données de Lagopède alpin reçoivent une note de 0, alors que les mailles ayant enregistré des données de moins de cinq ans reçoivent une note de 3.

Les variables environnementales sélectionnées ont été : le pourcentage de couvert forestier, le pourcentage d'espace cultivé et l'altitude. Ces trois variables ont été catégorisées en quatre et chaque maille a reçu une note (par exemple, 100% de couvert forestier est noté 0 et un couvert de 0% est noté 3, par catégories de 25%). En somme, plus la variable s'approche de l'optimum de l'espèce telle qu'elle est connue dans la littérature (pour l'altitude), plus la note de la maille est élevée. Chaque maille reçoit ensuite une note moyenne et est ensuite classée dans chacune des 4 catégories nommée « défavorable », « peu favorable », « favorable » et « très favorable ».

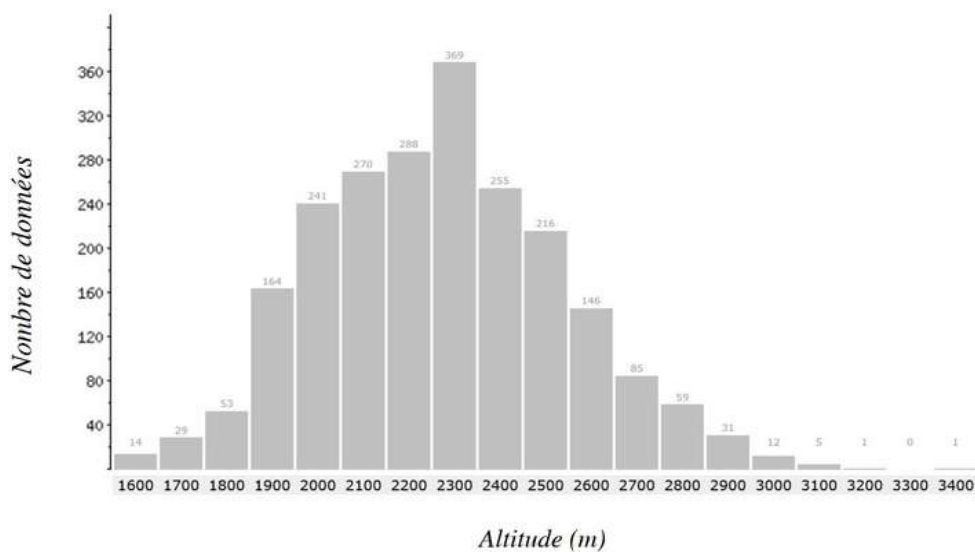


Figure 1: Graphique de répartition altitudinale des observations de Lagopède alpin de la base de données LPO sur les départements rhône-alpins, entre 2010 et 2021.

Parmi ces mailles, 20 sont sélectionnées chaque année pour Belledonne dans ses sous-secteurs géographiques de l'étude afin de regrouper les sites de pose.

En revanche, si la méthode d'échantillonnage stratifié a bien été utilisée lors de la sélection des mailles, le résultat final pourra être modifié afin de permettre la mise en place des dispositifs en toute sécurité (nivologie, accessibilité).

Notons que les variables utilisées pour la catégorisation des mailles ne seront pas les seules à être analysées pour aborder l'attractivité de chacune d'entre elles pour l'écologie du Lagopède alpin. D'autres paramètres, présents en des proportions trop variables pour être considérés comme suffisamment représentés dans l'échantillon final, seront analysés une fois l'ensemble des données récolté.

Une maille de référence située au col de la Perrière a été choisie afin d'affiner le méthode de traitement des sons et individualisation des mâles chanteurs et d'évaluer l'efficacité des méthodes de comptage bioacoustiques sur des places de chant connues. Trois enregistreurs stéréo sont placés en triangle et espacés de 150 à 400m, et permettront d'évaluer finement les populations et l'éthologie des lagopèdes sur ces sites. Le site sur les trois dernières années du suivi. Ils permettront également de tester des méthodes alternatives de comptage et d'évaluation de la dynamique des populations.

Les communes, acteurs et éventuels propriétaires privés concernés par les sites étudiés ont été sollicités et informés de la pose du matériel.



Agir pour
la biodiversité

Mailles échantillonnées et balises 2023

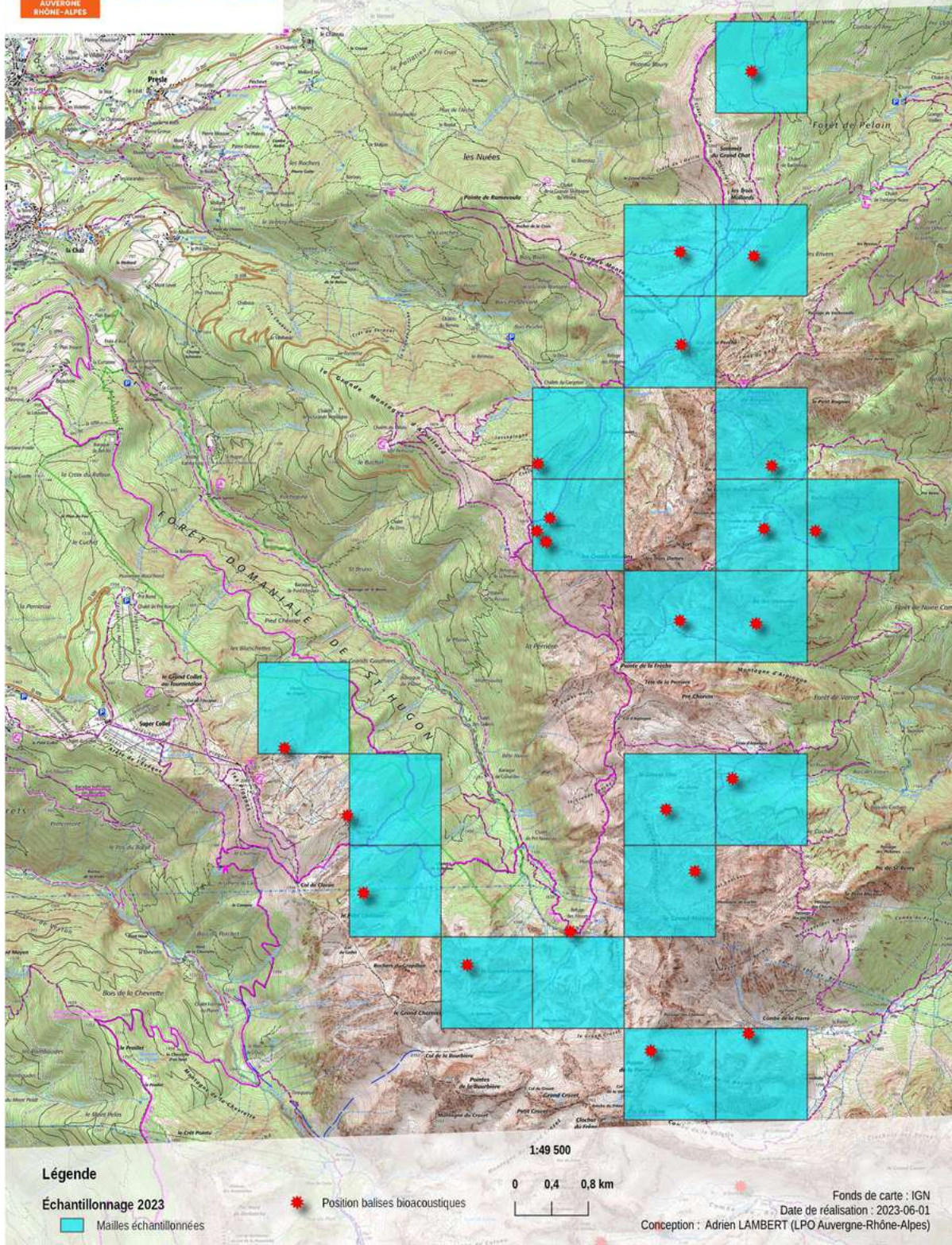


Figure 2: Carte des mailles utilisées pour l'échantillonnage stratifié des trois années d'étude dans le massif de Belledonne

Échantillonnage temporel

L'étude bioacoustique menée en 2022 par la LPO sur le massif de Belledonne a montré que l'activité des mâles en période de reproduction est concentrée entre les mois d'avril et juin. L'accès à des altitudes supérieures à 2000 m étant difficile avant le mois d'avril pour vérifier une éventuelle activité précoce, une période d'enregistrement allant du 15 avril au 15 juin a donc été choisie.

Dans le but d'échantillonner la totalité de la période de chant quotidienne du lagopède, un intervalle allant de 1h30 avant le lever du soleil (à l'horizon) jusqu'à 30 min après a été choisi, soit un intervalle de 2 heures par jours [Guignet et Sèbe, 2022].

1.1.3 Choix et déploiement des enregistreurs

Matériel

Les Song Meter micro utilisés en 2022 pour le suivi des lagopèdes dans Belledonne ont été réutilisés sur les 20 mailles de l'étude du massif. Ces appareils sont adaptés pour l'étude mais comportent un rapport signal sur bruit plus faible que les SM Mini (73 dB), et une réponse en fréquence peu homogène, ce qui pourrait induire des biais lors d'analyses fréquentielles fines, expliquant le choix d'un nouveau modèle pour le remplacement des appareils défectueux ou le renouvellement de celui-ci.

Tableau 1: Configuration des SM Micro (en italique les valeurs des enregistreurs du site de référence)

Paramétrage	Valeur
Fréquence d'échantillonnage	12 kHz / 24 kHz
Longueur des enregistrements	15 min
Canal	Left / Stereo
Gain des canaux	12 dB
Début de la période d'enregistrement	1h30 avant le lever du soleil
Fin de la période d'enregistrement	30 min après le lever du soleil

Déploiement des enregistreurs

Les balises sont posées de façon à se situer à une hauteur supérieure ou égale à 1 m du sol. Celles-ci sont protégées d'une exposition trop importante à la pluie par une gouttière (Figure 3).

L'enregistreur est prioritairement posé de façon à couvrir la plus grande surface dans la maille. Le microphone étant faiblement directionnel, d'un angle large d'environ 300° (Wildlife Acoustics), celui-ci est orienté de façon à couvrir la plus grande surface de la maille. Le centre de la maille n'a donc pas nécessairement été choisi pour leur placement.

La topographie du site est étudiée à l'avance, afin de pouvoir évaluer qualitativement la propagation des sons et couvrir au mieux la maille. Il est cependant nécessaire de faire attention à l'exposition au vent, mais la haute-montagne y étant globalement très exposée, la propagation des sons est privilégiée.



Figure 3: Song-Meter Mini prêt à enregistrer : le microphone, à gauche, est protégé du vent par une bonnette, et le plus gros des précipitations est dévié par une gouttière.

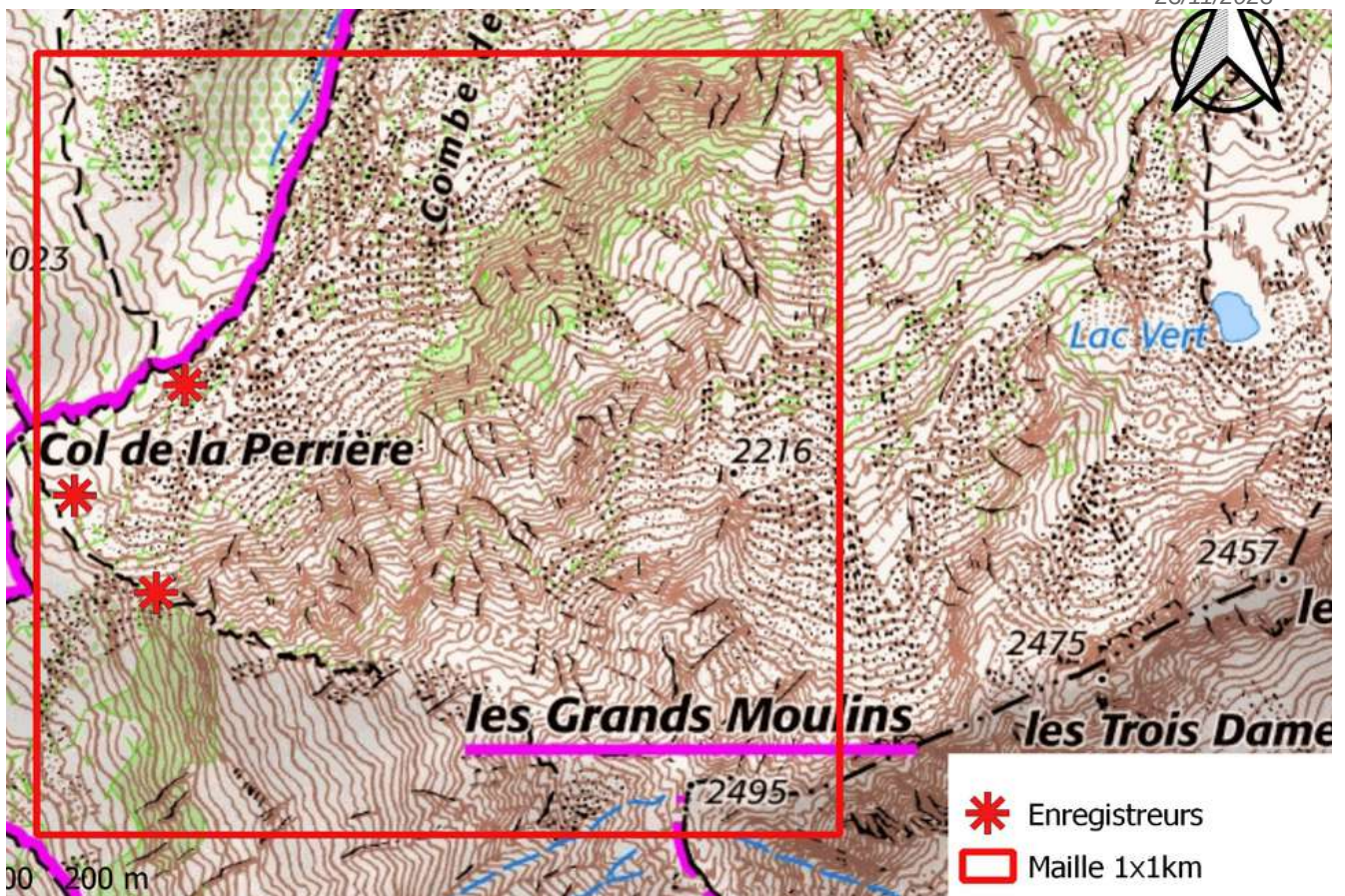


Figure 4: Carte topographique du site de références de Belledonne

Vérification de la fonctionnalité des capteurs température

Les SM Mini étant équipés de thermomètres internes autonomes (une mesure par minute pendant la période de déclenchement), il est donc nécessaire de vérifier leur étalonnage et leur fiabilité dans les conditions de l'étude. Pour ce faire, deux capteurs de température EL-USB-1 ont été placés sur les sites de référence dans les mêmes conditions que les enregistreurs (hauteur, non exposition au soleil le matin).

1.1.4 Analyses bioacoustiques

Les sons ainsi récoltés ont été rassemblés et stockés sur des supports SSD permettant leur utilisation par les différents logiciels exploités au cours de cette étude. Ceux-ci pourront également être conservés comme des données brutes pour des analyses ultérieures.

Tri des enregistrements

L'étude des émissions vocales d'oiseaux par des enregistrements acoustiques requiert non seulement un matériel suffisamment performant, mais aussi des conditions environnementales favorables. En effet, les conditions climatiques en haute-montagne sont dures et les enregistreurs peuvent être soumis à de forts vents ou se situer à proximité d'un cours d'eau à gros débit [Marin-Cudraz, 2019]. Dans ces deux cas, le signal produit peut avoir une intensité supérieure à celle des

chants de lagopède situés à faible ou grande distance, rendant impossibles les analyses bioacoustiques [Guignet et Sèbe, 2022]. Un pré-traitement est nécessaire pour trier ces enregistrements non utilisables et réduire le nombre de faux positifs de détection dus à la présence de sons parasites.

Dans le but d'obtenir des sessions d'enregistrement comparables, un premier tri des enregistrements sur la base de l'intensité médiane du bruit de fond a donc été réalisé. Pour ce faire l'indice M calculant la médiane de l'enveloppe des amplitudes a été utilisé [Depraetere et al, 2012]. Cet indice permet en effet de calculer l'intensité d'un bruit de fond continu sans prendre en compte les signaux ponctuels émis par la biophonie en haute montagne au printemps (activité vocale de l'avifaune). L'anthrophonie n'étant pas significativement présente dans ces habitats, l'indice M reflète donc l'intensité du vent et des bruits issus des torrents.

Cet indice est calculé avec R (package tuneR et seewave) et appliqué à 15 tranches de 5 secondes réparties équitablement dans les 15 minutes d'enregistrements, de façon à réduire le temps de traitement tout en conservant la représentativité de la tranche horaire traitée.

Un filtre est appliqué à l'enregistrement afin de conserver uniquement la bande de fréquence correspondant à celle occupée par le lagopède, de 500 à 3500 Hz. La valeur maximale de l'indice définie pour éliminer les enregistrements trop bruités a ensuite été déterminée sur la base de l'intensité d'un chant de lagopède à longue distance.

L'ensemble des analyses a ensuite été réalisé sur la base de ces enregistrements non bruités.

Détermination de l'activité vocale

Afin d'évaluer quantitativement l'activité reproductrice des lagopèdes dans les mailles, un indice de présence, simple à calculer et permettant une première analyse statistique a été mis en place. Ainsi, le nombre de jours comprenant au moins une vocalise sur la période totale échantillonnée est calculé. Cette méthode ne nécessitant pas d'analyses poussées, celle-ci peut être réalisée à grande échelle. Les biais rencontrés par ces analyses sont basés sur la probabilité de détection, dépendant de paramètres complexes tels que la propagation des sons en fonction de la topographie [Guibard et al., 2022].

Pour ce faire, deux méthodes de détection ont été testées. La première utilise un modèle de Markov caché entraîné sur la base du logiciel Kaleidoscope pro 5.4 à classer les chants de lagopède dans un cluster du même nom. En premier lieu, les détections sont soumises à un algorithme de clustering. L'ensemble de ces détections est ensuite vérifié manuellement afin d'assimiler un ou plusieurs clusters aux chants de lagopède, et les mêmes enregistrements sont de nouveaux analysés pour créer le modèle de reconnaissance par apprentissage supervisé. Dans le cas où le modèle ne donnerait pas de résultats satisfaisants (trop de faux positifs), de nouveaux enregistrements seront utilisés pour affiner les résultats. Lors de l'analyse des résultats finaux, l'ensemble des détections labellisées comme lagopède sont vérifiées manuellement, pour éliminer les faux-positifs.

La seconde méthode utilise BirdNET et son implémentation dans Python [Kahl et al., 2021]. BirdNET est un réseau convolutionnel de neurones, développé par le Cornell Lab of Ornithology permettant de détecter et labelliser les vocalisations d'une grande partie du cortège avifaune mondial. Cette méthode permet d'obtenir des détections associées à une probabilité d'identification sans besoin d'entraînement préalable sur le jeu de données. Cette technique sera donc privilégiée au long terme dans un souci de temps et d'homogénéité de la méthode de détection au cours des 3 années de suivi, le modèle de Kaléidoscope devant être constamment adapté.

Le nombre de vocalisations est ensuite sommé par maille et unité de temps, en relation avec la proportion de jours comparables sur la durée de déploiement. Un poids statistique plus important sera donc donné aux mailles ayant une plus grande proportion de jours non bruités.

Individualisation et comptage des mâles chanteurs

Les indices de présence doivent pouvoir être complétés d'indices d'abondance afin de fournir des informations sur les populations et le comportement des individus, essentielles à l'établissement de tendances démographiques et éthologiques. Des analyses complémentaires seront donc réalisées sur les vocalisations extraites des séquences d'enregistrement.

Les premières analyses seront expérimentées sur les sites de référence. En effet, ceux-ci permettent d'obtenir des séquences de bonne qualité dans des sites d'activité connus, la pose de trois enregistreurs stéréo permettant d'augmenter la probabilité de détection d'un chanteur à grande distance des microphones. Ces trois balises sont positionnées de façon à rester visibles entre elles, à des distances auxquelles la détectabilité des chants par une oreille humaine chute fortement [Marty et al., 2012].

Afin d'étalonner ces indices d'abondance et de confronter les méthodes acoustiques par des protocoles de comptage conventionnels, des comptages par point l'écoute seront réalisés sur les sites de références et des balises posées sur des sites d'activité connus. Diffusé au réseau de bénévoles de la LPO, ce protocole sera réalisé ponctuellement afin d'éviter tout dérangement.

Individualisation par analyse multidimensionnelle

Les vocalises des mâles lagopèdes ont démontré être des signatures individuelles par [Marin-Cudraz et al., 2019]. En effet, chaque mâle conserve un chant équivalent au cours de la saison, mais le perd au cours de la saison suivante, dû à un changement d'état physiologique [Guignet et Sèbe, 2022]. La mesure des différents paramètres définissant une vocalise (nombre de pulsations, durée des silences, fréquences dominantes, figure) permet en effet d'établir un espace acoustique dans lequel se différencient les individus selon les variables comparées.

De plus, un clustering HDDC (high dimensional data clustering) sera appliqué aux données afin d'estimer le nombre de mâles à l'origine des vocalises. Ce clustering est enfin ajusté en fonction des comptages conventionnels effectués sur les sites de référence, et comparé avec la méthode des chorus artificiels.

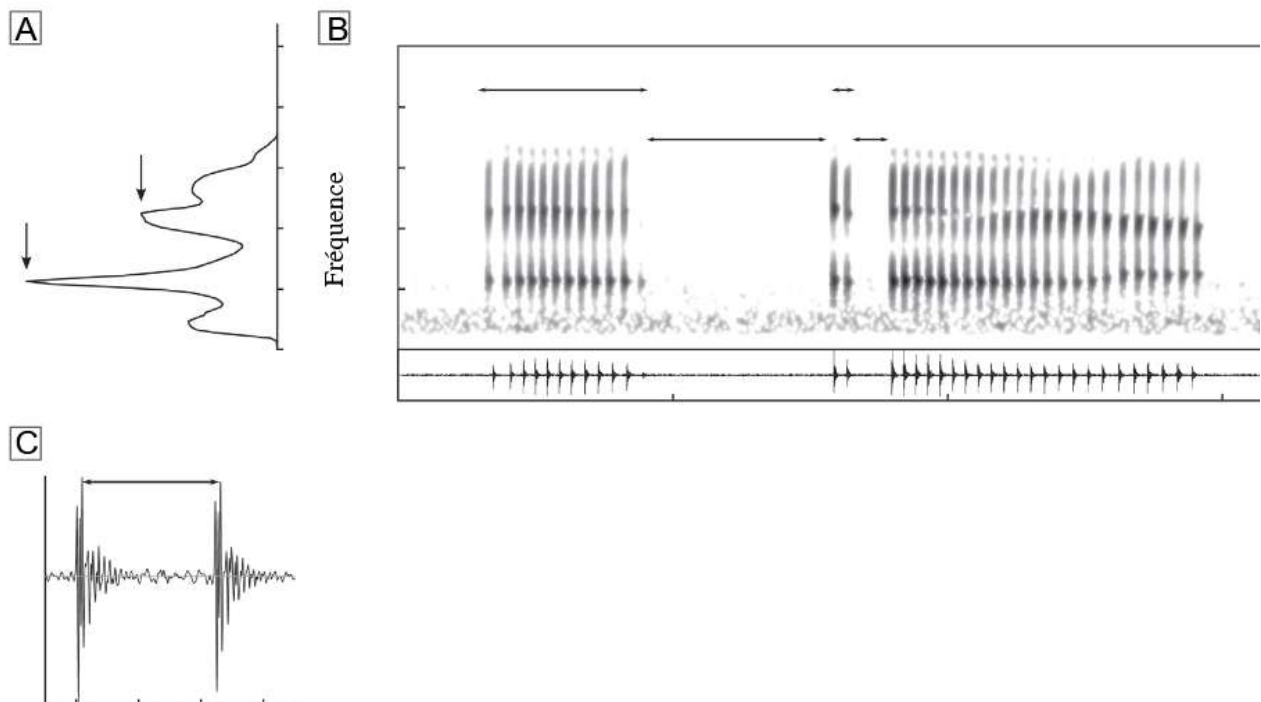
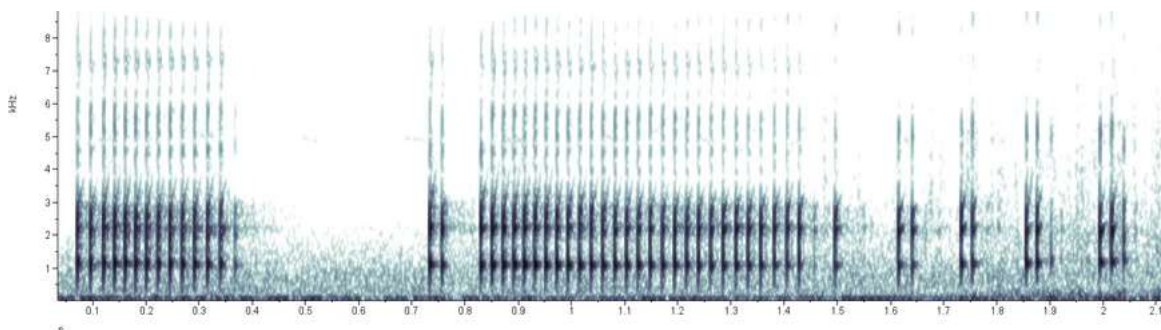


Figure 5: Représentation graphique des paramètres mesurés dans une vocalisation de lagopède, permettant l'individualisation (adapté de [Marin-Cudraz et al., 2019])

A : Répartition de l'intensité en fonction de la fréquence d'un chant, la fréquence des deux pics d'énergie est mesurable.

B : Sonagramme représentant les différentes durées des parties d'un chant et celles des silences les séparant.

C : Oscillogramme des pulsations, mettant en évidence la méthode les pulsations, dont le nombre et leur récurrence sont mesurables.



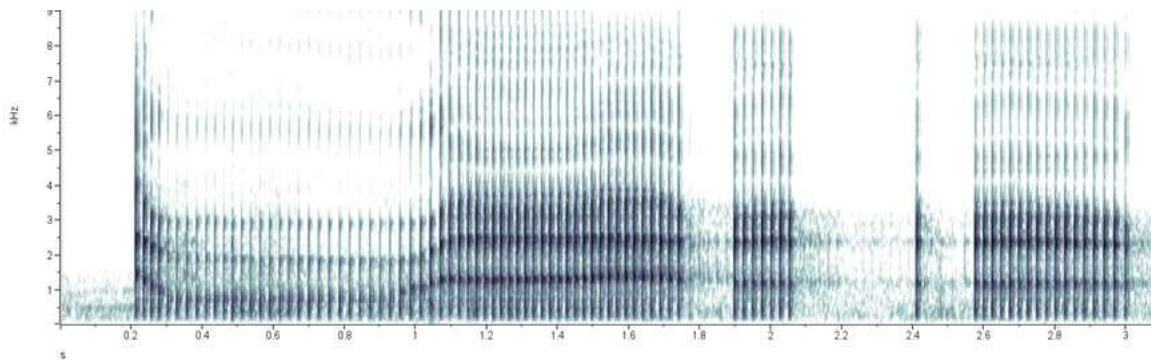


Figure 6: Sonagrammes des deux grands types de chants du lagopède : chant court (en haut) et chant long (en bas). Ces deux chants possèdent une structure différente et doivent donc être comparés entre eux pour l'individualisation.

Utilisation des indices écoacoustiques sur des chorus artificiels

Les indices écoacoustiques évaluent la complexité, la diversité et la richesse présentes dans un paysage sonore, ou des émissions vocales individuelles [Farina, 2014]. La variabilité individuelle des chanteurs de lagopède ayant été démontrée, les valeurs de ces indices pourraient varier selon le nombre de mâles à l'origine d'une séquence de vocalises. Cette méthode, encore inédite pour un oiseau, a été testée avec succès sur des loups par [Papin et al., 2019] pour estimer des tailles de packs allant de 2 à 12 individus.

Dans un premier temps, des chorus artificiels constitués de 15 chants de 8 lagopèdes identifiés par balises GPS (séquences issues de [Marin-Cudraz et al., 2019] et communiquées par l'auteur) ont été créés afin de vérifier la faisabilité de son application dans cette étude. Les séquences ont tout d'abord été nettoyées, tout son ne provenant pas du coq chanteur a été supprimé à l'aide du logiciel Raven pro 1.6, et les enregistrements coupés de façon à débuter et finir au niveau des premières et dernières pulsations du chant. Ensuite, 64 chorus de vocalises mises bout à bout (8x1 individu + 8x2 individus etc.) sont formés en réalisant des tirages aléatoires sans remise à l'aide du logiciel R.

Ce sont trois indices, l'AR, l'ACI et Hf qui sont appliqués aux chorus sur la bande de fréquence du lagopède (500 à 3500 Hz). AR est appliqué sur 15 séquences de tailles égales, tandis que l'ACI et HF sont calculés sur la séquence entière et les chorus découpés. Des coefficients de corrélation de rang de Spearman sont ensuite calculés afin de déterminer la présence d'une éventuelle corrélation entre nombre d'individus présents dans le chorus et valeur des indices.

1.2 Analyses spatiales et temporelles

Analyses générales

Cette étude s'échelonne sur trois années de suivi, par conséquent, les analyses statistiques permettant de déterminer les facteurs influant significativement sur les populations de lagopèdes

seront étudiées en fin de récolte des enregistrements. En effet, des résultats intermédiaires seront établis, mais seulement utilisés pour une première appréciation qualitative des données obtenues et permettront d'affiner les méthodes d'analyses bioacoustiques et d'évaluer la phénologie de l'espèce sur l'aire d'étude.

Les différentes variables explicatives choisies pour décrire l'activité reproductrice du lagopède et ses populations prennent en compte des paramètres biotiques, abiotiques et anthropiques. L'altitude, la température, la pente, l'exposition et l'enneigement sont les paramètres abiotiques principaux décrits dans la littérature [Visinoni et al., 2014]; [Courbin et al., 2022]; [Garcia-Gonzalez et al., 2016]. De même, le recouvrement forestier est également considéré comme facteur limitant. Enfin, la fréquentation humaine hivernale et estivale est comparée entre les sites, ainsi que l'exploitation pastorale des terres.

L'ensemble de ces variables est calculé sur la surface des mailles, sur la base de données présentées dans le tableau 2. Les données d'enneigement utilisent une double source. En effet, les images satellites issues de Copernicus ne renseignent que la présence/absence de couverture neigeuse en fonction de la date, et peuvent être biaisées par la couverture nuageuse. Par conséquent, ces données seront comparées avec des modèles climatiques permettant d'estimer la hauteur de neige en fonction de l'altitude et des massifs. De même, la fréquentation humaine estivale et hivernale est calculée à partir de traces GPS de l'application Strava, dont l'excellente couverture spatiale permet d'évaluer la fréquentation des chemins et descentes de ski, ainsi que OutdoorVision. Cette dernière base de données rend précisément compte des lieux de halte et des randonneurs et skieurs, complétant ainsi les itinéraires de fréquentation de Strava. Enfin, la pression du pastoralisme est estimée dans le département de l'Isère par les unités pastorales de la Fédération des Alpagnes de l'Isère (FAI) et de la Société d'Économie Alpestre de Savoie (SEA73), indiquant la présence d'ovins au cours de l'année sur ces parcelles. Ces unités pastorales sont utilisées périodiquement en fonction de l'enneigement, ainsi les secteurs en altitude sont occupés plus tardivement. Par conséquent, l'impact de ce paramètre pourra être pondéré par l'altitude.

Tableau 2: Variables utilisées dans le cadre de l'analyse de fin d'étude et leurs sources respectives.

Variable	Source
Altitude	Modèle numérique de terrain
Pente	Modèle numérique de terrain
Exposition	Modèle numérique de terrain
Enneigement	Images satellites (Copernicus) / Modèles climatiques
Couverture forestière	Corine Land Cover 2018
Fréquentation humaine	Strava / OutdoorVision
Pression agricole	Unités pastorales (FAI, 2023)

1.2.1 Activité vocale et phénologie

La phénologie de l'activité reproductrice des mâles sera établie sur la base de deux analyses temporelles. La première étudiera la phénologie saisonnière en représentant l'évolution du nombre de vocalisations quotidiennes entre avril et juin, pondérée par la pression d'échantillonnage. Cette pression d'échantillonnage dépend de deux facteurs : le nombre de sessions d'enregistrement bruitées et des dates de pose et de relève des enregistreurs, pouvant varier en fonction des contraintes climatiques. La seconde synthétise le nombre de vocalisations sur les 8 tranches de 15 minutes d'enregistrement quotidien.

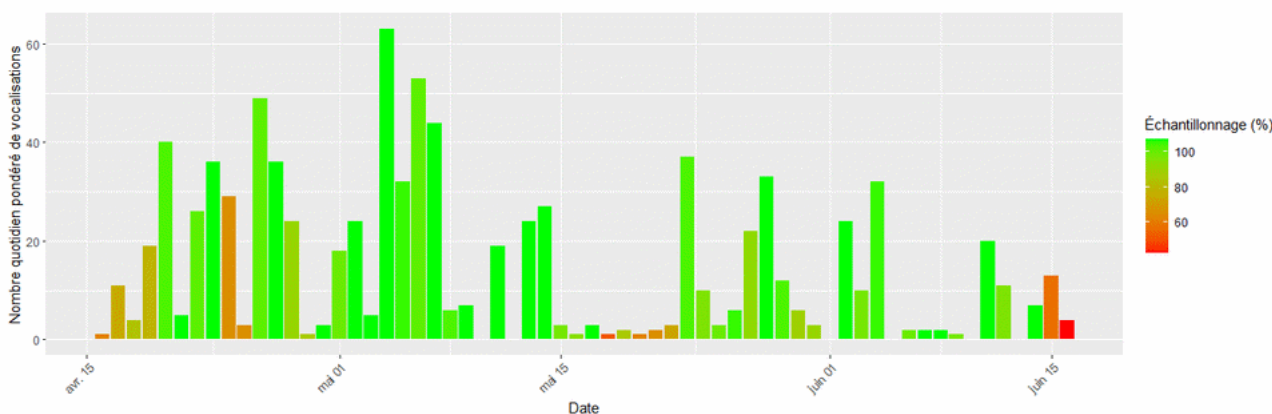


Figure 7 - Graphique saisonnier présentant l'évolution entre mi avril et fin juin de l'activité vocale quotidienne, pondérée négativement par le nombre de sessions d'enregistrement dans Belledonne.

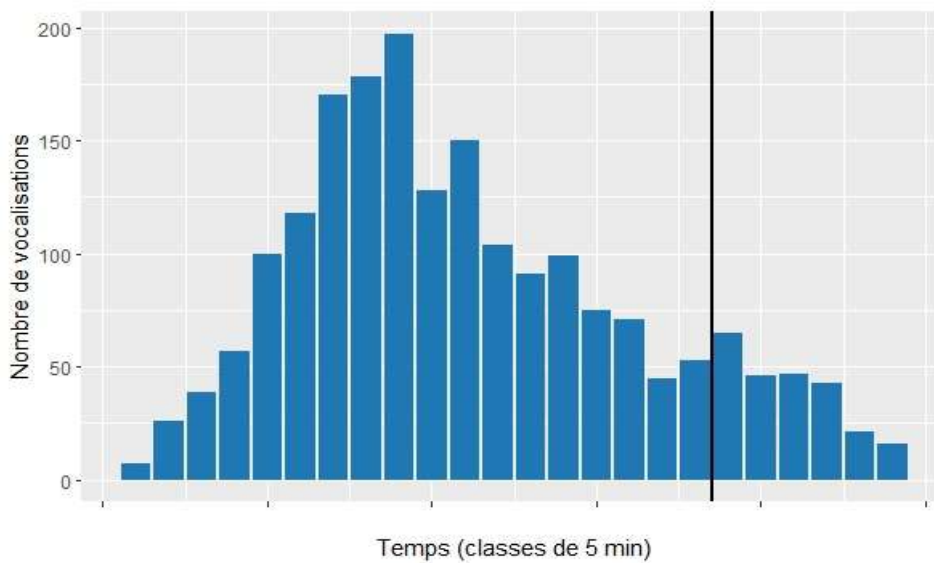


Figure 8 - Graphique de répartition horaire de l'ensemble des contacts au cours des 2 heures de suivi quotidiens. Le lever du soleil est indiqué par un trait.

1.2.2 Activité vocale et analyses spatiales

Activité annuelle et déterminismes environnementaux

A l'horizon 2025, l'échantillonnage des 80 mailles permettra l'analyse des déterminismes environnementaux à l'origine de la répartition de l'activité vocale annuelle. Une analyse multivariées sera dans un premier temps réalisée afin d'évaluer la présence de gradients d'activité vocale en fonction des facteurs environnementaux. Ensuite, l'effet de chaque facteur sera évalué indépendamment en fixant les autres variables, ce que devrait permettre la taille de l'échantillon final. La significativité de ces relations sera enfin calculée.

Influence des déterminismes environnementaux sur la phénologie de la reproduction : étudier l'écologie du lagopède

Sur la base des bases des représentations graphiques précédemment énoncées, les détections seront individuellement associées aux différentes variables afin de détecter d'éventuelles translations des populations ou de l'activité le long des gradients environnementaux au cours de la saison.

De plus, l'individualisation des vocalises pourrait permettre de détecter d'éventuels déplacements inter-mailles à l'échelle du massif. En effet, l'analyse HDDC sera menée sur les données venant d'un même massif, une fois par an. Des vocalises de mailles différentes se situant dans un même cluster pourront donc être associées à un même individu s'étant déplacé pendant la saison de reproduction.

Résultats de la campagne de suivis 2023

Les résultats des suivis de 2023 ont été compilés sous la forme d'un indice d'activité vocale qui correspond au pourcentage de jours d'activités parmi les jours analysables (présentés dans les

étiquettes centrales des mailles).

Les mailles avec un faible nombre de jours exploitables correspondent généralement à des mailles qui comportent des torrents qui, dès qu'ils sont alimentés par la fonte de la neige produisent un volume sonore qui rend imperceptibles les chants des lagopèdes par les enregistreurs. Pour Belledonne deux des vingt enregistreurs ont connu une défaillance technique qui a rendu inexploitable les résultats.

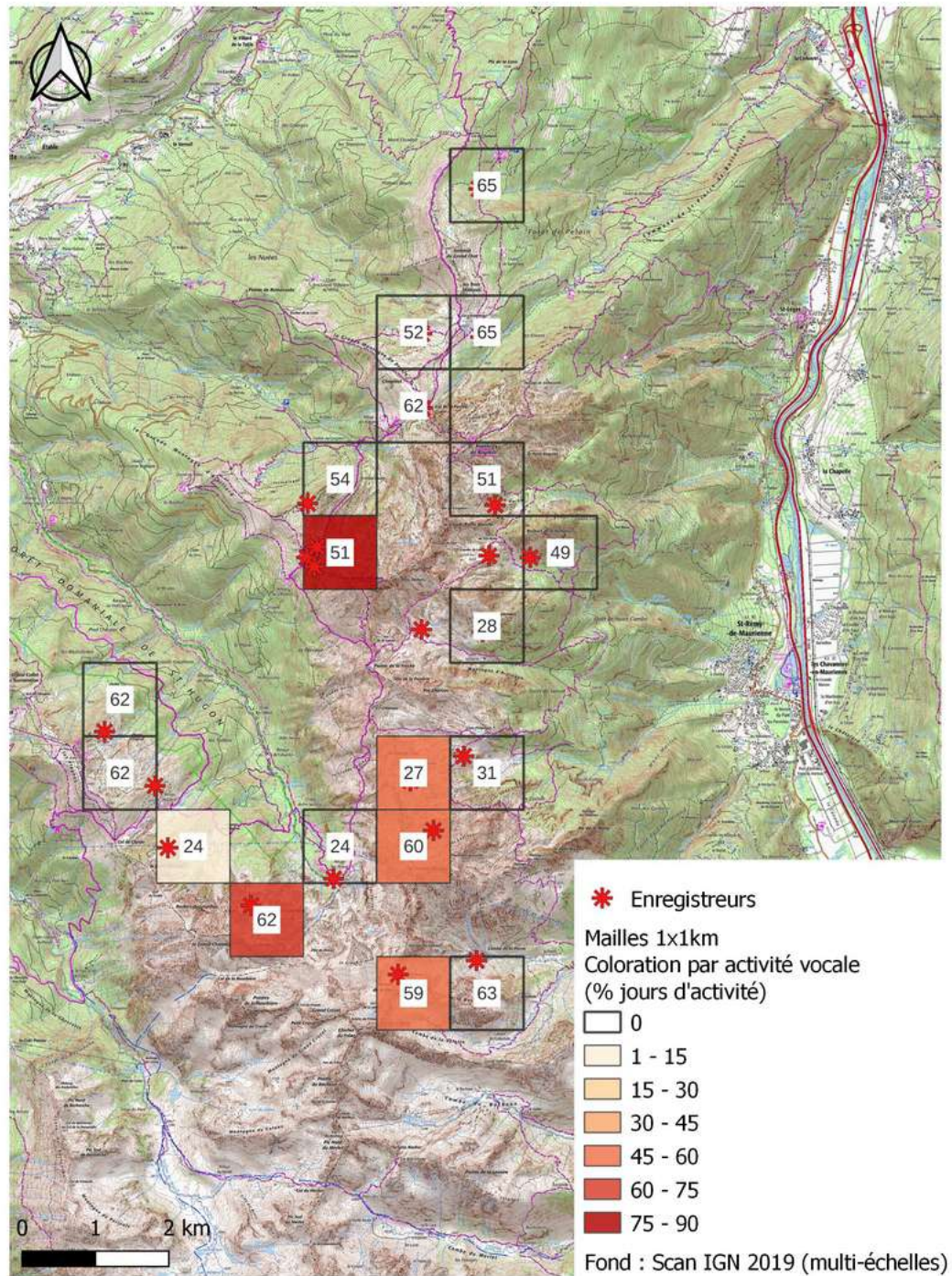


Figure 9 – Activité vocale en 2023 pour les mailles de Belledonne

CONCLUSION

Une journée de restitution et de présentation de la méthodologie de l'étude a été organisée à La Motte-Servolex le 20 septembre 2023 avec 25 personnes présentes et a permis de réunir les acteurs techniques, financiers et scientifiques du projet. Les échanges lors de cette présentation ont permis de valider l'approche choisie et de l'enrichir. Le projet se poursuivra en 2024 selon des modalités similaires et devrait permettre de consolider l'individualisation des mâles chanteurs.

BIBLIOGRAPHIE

- ABRAHAMAS, Carlos, 2018. Bird Bioacoustic Surveys – Developing a Standard Protocol. Inpractice, issue 102
- ARLETTAZ et al., 2007. Spreading free-riding snow sports represent a novel serious threat for wildlife. Proceedings. Biological sciences / The Royal Society. 274. 1219-24.
- CARLSON, 2018. Un avenir incertain pour le lagopède alpin. CREA Mont-Blanc.
- COURBIN, Nicolas, PERROT, Charlotte et MONTADERT, Marc, 2022. Comportement et écologie spatiale du lagopède alpin (*Lagopus muta*) dans les Alpes françaises. Montpellier
- DEPRAETERE et al., 2012. Monitoring animal diversity using acoustic indices: Implementation in a temperate woodland. Ecological Indicators. Vol. 13. DOI : 10.1016/j.ecolind.2011.05.006
- FARINA, Almo, 2014. Soundscape ecology: Principles, patterns, methods and applications. Springer Netherlands.
- FARINA, Almo, PIERETTI, Nadia and PICCIOLI, Luigi, 2011. The soundscape methodology for long-term bird monitoring: A Mediterranean Europe case-study. Ecological Informatics. Vol. 6. DOI 10.1016/j.ecoinf.2011.07.004.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, Ricardo et al., 2016. Influence of Snowmelt Timing on the Diet Quality of Pyrenean Rock Ptarmigan (*Lagopus muta pyrenaica*): Implications for Reproductive Success. PLOS ONE. Vol. 11, no 2, p. e0148632. DOI 10.1371/journal.pone.0148632.
- GIBB, Rory et al., 2019. Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. Methods in Ecology and Evolution. Vol. 10, no. 2, pp. 169–185. DOI 10.1111/2041-210X.13101
- GUIBARD, Arthur et al., 2022. Influence of meteorological conditions and topography on the active space of mountain birds assessed by a wave-based sound propagation model. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 151, no. 6, pp. 3703–3718. DOI 10.1121/10.0011545.
- GUIGNET, Jonas et al., 2022. Suivi ecoacoustique des populations de Lagopèdes alpins dans les Alpes Françaises : changements globaux et suivis à large échelle. Présentation.
- KAHL, Stefan et al., 2021. BirdNET: A deep learning solution for avian diversity monitoring. Ecological Informatics. Vol. 61, p. 101236. DOI 10.1016/j.ecoinf.2021.101236.
- LAILOLO, 2010. The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. Biological conservation, 143(7), 1635-1645.
- MARIN-CUDRAZ, Thibaut, 2019. Potentialité de la bioacoustique comme outil de dénombrement d'espèces difficiles d'accès : cas du Lagopède alpin (*Lagopus muta*) [online]. phdthesis . Université de Lyon. Retrieved from : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02894049>
- MARTY, Evelyn et MOSSOLL-TORRES, Marc, 2012. Point-count method for estimating rock ptarmigan spring density in the Pyrenean chain. European Journal of Wildlife Research. Vol. 58, no 1, pp. 357-363. DOI 10.1007/s10344-011-0541-y.

- MIQUET, DEANA, 2002. Sur des destructions de nids de Lagopède alpin *Lagopus mutus* dues aux ongulés domestiques *Alauda* 70, 345-346.
- NELLI, Luca, MERIGGI, Alberto et FRANZOI, Alessandro, 2013. Habitat selection by breeding rock ptarmigan *Lagopus muta helvetica* males in the western Italian Alps. *Wildlife Biology*. Vol. 19, no 4, pp. 382-389. DOI 10.2981/13-009.
- PAPIN, Morgane et al., 2019. Using acoustic indices to estimate wolf pack size. *Ecological Indicators*. Vol. 103, pp. 202-211. DOI 10.1016/j.ecolind.2019.03.010.
- SIMONA et al., 2013. Climate Change and Human Disturbance Can Lead to Local Extinction of Alpine Rock Ptarmigan: New Insight from the Western Italian Alps. *PloS one*. 8.
- VISINONI, Linda et al., 2015. Microclimate and microhabitat selection by the Alpine Rock Ptarmigan (*Lagopus muta helvetica*) during summer. *Journal of Ornithology*. Vol. 156, no 2, pp. 407-417. DOI 10.1007/s10336-014-1138-5.
- WATSON et MOSS, 2004. Impacts of ski-development on ptarmigan (*Lagopus mutus*) at Cairn Gorm, Scotland. *Biological Conservation*. 116. 267-275.
- XIE, Jie, COLONNA, Juan G. and ZHANG, Jinglan, 2021. Bioacoustic signal denoising: a review. *Artificial Intelligence Review*. Vol. 54, no. 5, pp. 3575–3597. DOI 10.1007/s10462-020-09932-4.