



L'information individuelle dans les vocalisations comme outil pour le suivi des lagopèdes alpins



© F. Sèbe

▲ *Mâle chanteur au printemps.*

**FRÉDÉRIC SÈBE¹,
THIBAUT MARIN-CUDRAZ¹,
CLAUDE NOVOA²,
MATHIEU MAHAMOUD-ISSA¹,
BERTRAND MUFFAT-JOLY²,
PHILIPPE AUBRY³,
MARC MONTADERT²,
JEAN-FRANÇOIS DESMET⁴,
LUDOVIC IMBERDIS⁵,
JÉRÔME MANSON⁶,
JONAS GUIGNET¹,
NICOLAS MATHEVON¹**

¹ ENES/Neuro-PSI, CNRS UMR 9197, université de Lyon/Saint-Étienne – Saint-Étienne.

Actuellement au DBE, IES Adam Mickiewicz University.

² ONCFS, Direction de la recherche et de l'expertise, Unité Petite faune sédentaire – Juvignac.

³ ONCFS, Direction de la recherche et de l'expertise, Cellule d'appui méthodologique – Saint-Benoist, Auffargis.

⁴ GRIFEM – Samoëns,

⁵ Parc national des Écrins.

⁶ Parc national du Mercantour.

Contact : frederic.sebe@univ-st-etienne.fr

Le dénombrement des effectifs constitue une étape essentielle à tout plan de gestion et de conservation des espèces. Cependant, l'identification des individus est souvent lourde et difficile à mettre en place, et peut comporter certains biais. On fait alors appel à d'autres outils, comme la discrimination acoustique. L'objectif de la présente étude est de rechercher l'existence d'une signature individuelle dans le chant du lagopède alpin, et d'évaluer la fiabilité et l'efficacité de l'utilisation de cette information comme méthode de recensement des populations.

Chez la plupart des tétraonidés, le dénombrement des mâles chanteurs au printemps est la méthode la plus utilisée pour étudier les tendances des populations (Watson, 1965). En France, les comptages printaniers de lagopèdes alpins (*Lagopus muta*) sont effectués selon un protocole standardisé préconisé par l'Observatoire des galliformes de montagne (Desmet, 1988 ; Léonard, 1995). Il consiste à détecter un maximum d'oiseaux durant l'heure qui précède le lever du soleil et trente minutes après, aussi bien de manière auditive que visuelle, afin d'estimer le nombre de coqs présents sur la zone de comptage. L'opération est répétée si possible plusieurs jours et nécessite un important déploiement d'observateurs sur le terrain,

en milieu difficile et avec de fortes contraintes climatiques. Cependant, nos connaissances des effectifs demeurent incomplètes, notamment parce qu'il reste difficile de limiter les doubles comptages et de réaliser des inventaires exhaustifs prenant en compte la variabilité spatio-temporelle de la détectabilité. Ceci explique que le rapportage de 2012 de la directive « Oiseaux » a pointé les larges incertitudes concernant l'estimation des populations de lagopèdes en France (Comolet-Tirman *et al.*, 2015).

Afin d'évaluer ces différents biais et d'envisager de nouvelles approches pour le dénombrement printanier des lagopèdes alpins, nous avons proposé d'établir la méthode de recensement traditionnelle au moyen de la bioacoustique.

En effet, pour les animaux qui produisent des sons, les enregistrements acoustiques sont un moyen efficace d'obtenir des estimations fiables de l'occurrence des espèces et, potentiellement, d'estimer la taille des populations (Sèbe, 2012). Pour réaliser ces objectifs, un partenariat a été établi entre l'université de Saint-Étienne (CNPS/ENES, France) et l'ONCFS, incluant une thèse traitant des potentialités de la bioacoustique comme outil de dénombrement du lagopède alpin (*encadré 1*).

L'information Individuelle

On retrouve des signaux acoustiques dans la plupart des comportements fondamentaux de l'oiseau : recherche et identification du partenaire sexuel, du jeune ou du parent, recherche de nourriture, soin aux jeunes, localisation des individus, indications d'états émotionnels. La vie sociale au sein d'un groupe intra-spécifique exige bien souvent que les individus aient la possibilité de se reconnaître pour adapter leurs réponses comportementales. En effet, l'identification d'un protagoniste permet d'adopter un comportement adéquat : sexuel face à un partenaire, agressif vis-à-vis d'un étranger ou parental envers sa descendance. La reconnaissance individuelle a pour fonction principale d'établir puis de maintenir un lien privilégié entre deux individus. L'information individuelle est donc capitale dans les enjeux de territorialité des oiseaux. De ce fait, on peut émettre l'hypothèse que, pour les oiseaux territoriaux, le contenu informatif du signal réponde aux contraintes d'ordre comportemental, telles que la reconnaissance du voisin, imposées par la territorialité (Molles & Vehrenchamp, 2001). C'est cette information individuelle territoriale que nous avons recherchée dans le chant du lagopède alpin. Ainsi, déterminer les modalités de son codage au sein des vocalisations permettra d'évaluer la fiabilité et l'efficacité de l'utilisation de cette information comme méthode de dénombrement des populations.

Extraction de l'information individuelle chez le lagopède alpin

La première étape est l'enregistrement des vocalisations des mâles. Les enregistrements ont été réalisés de 2013 à 2018, durant les mois d'avril, mai et juin, période des parades nuptiales. Deux sites ont été choisis pour cette étude : le massif du Canigou dans les Pyrénées-Orientales et le domaine skiable de Flaine en Haute-

► Encadré 1 • Potentialités de la bioacoustique comme outil de dénombrement d'espèces difficiles d'accès, cas du lagopède alpin

Cette thèse, menée par T. Marin-Cudraz et financée par le ministère français de la Recherche et l'université Lyon/Saint-Étienne en partenariat avec l'ONCFS, a pour objet de développer de nouveaux outils basés sur la bioacoustique afin d'améliorer le protocole de comptage de printemps des lagopèdes alpins. Le premier objectif a été de montrer que les résultats des comptages traditionnels des mâles comportaient effectivement des biais dus à l'interaction entre le milieu montagnard et le protocole de comptage sur points d'écoute. T. Marin-Cudraz s'est ensuite attaché à développer de nouvelles méthodes acoustiques de recensement pour atténuer ces biais. Comme présenté dans cet article, il a montré qu'il est possible de déterminer le nombre de mâles présents dans une zone uniquement à l'aide des chants qu'ils produisent. La troisième partie de la thèse a eu pour objectif de quantifier les données acoustiques sur de longues périodes de temps. Il a été montré que l'extraction automatique des chants était possible malgré les conditions météorologiques difficiles qui règnent en haute montagne. En utilisant ces chants, il a été non seulement possible de déterminer le nombre de mâles, mais également le temps de présence de chaque mâle et d'y associer son statut reproducteur.



▲ Paramétrage des enregistreurs acoustiques autonomes en Haute-Savoie.

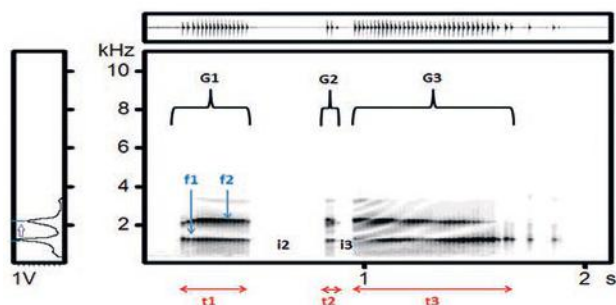
Savoie. Les séances d'enregistrements se sont déroulées le matin entre 5 h 00 et 7 h 00, ainsi que le soir entre 19 h 00 et 23 h 00. Le matériel utilisé était un micro-canon relié à un enregistreur numérique (enregistrement 16 bits en 48 kHz). Les vocalisations territoriales des lagopèdes mâles se définissent comme une suite de trains de pulses (pulsations) donnant un son guttural et sec. Nous avons analysé le signal suivant trois dimensions : le temps, l'amplitude et la fréquence (Sèbe, 2012). En modifiant plus ou moins les caractéristiques de temps, de fréquence ou d'amplitude, l'oiseau a la possibilité de créer une véritable signature acoustique. Notre but est d'extraire de chaque chant ces différents paramètres, afin d'évaluer leur importance pour le codage de la signature individuelle. L'analyse des sons a été effectuée avec une routine développée lors de la thèse de T. Marin-Cudraz (*encadré 1*). Cette routine permet

d'extraire automatiquement les paramètres souhaités sur des signaux préalablement filtrés et reconstruits par un traitement en ondelette (Marin-Cudraz *et al.*, 2019). En effet, en raison des conditions météorologiques difficiles (vent et pluie), les signaux enregistrés étaient souvent bruités. Ainsi, plusieurs types de paramètres fréquentiels et temporels ont été extraits sur les deux groupes de pulses G1 et G2 indépendamment (*figure 1*).

Une fois les paramètres extraits pour chaque vocalisation de plusieurs individus, ils ont été analysés au travers de statistiques exploratoires multidimensionnelles, type analyse en composante principale (ACP), analyse factorielle discriminante (AFD) ou par une analyse discriminante par régression des moindres carrés partiels (PPLS-DA). Ce sont des méthodes d'analyse descriptives qui permettent de décrire et d'expliquer la matrice établie à partir du recueil des

Figure 1 Représentation graphique des vocalisations d'un mâle de lagopède alpin.

Spectrogramme, oscillogrammes et densité spectrale avec la représentation d'une partie des paramètres acoustiques sélectionnés : t1, t2, t3 correspondent à la durée du train de pulses pour chaque groupe (G1, G2, G3) et i2, i3 les intervalles entre les groupes. Les paramètres f1 et f2 sont les pics de fréquences.



nombreuses variables. L'objectif est de réduire le nombre de dimensions d'un jeu de données quantitatives (les variables) attribué à une donnée qualitative (les individus ou population), et de déterminer quels sont les paramètres susceptibles de coder l'information individuelle et donc de discriminer les individus.

Un codage de l'information individuelle suffisant pour discriminer les individus

Les analyses multidimensionnelles nous ont permis de représenter les vocalisations dans un espace acoustique plus restreint, qui permet de discriminer au mieux les individus enregistrés. La PPLS-DA a identifié des différences acoustiques significatives entre les mâles, et nous a permis de créer un espace de combinaison de variables acoustiques qui maximise la séparation individuelle avec un taux de classification moyen correct d'environ 79 % (Marin-Cudraz *et al.*, 2019). Concernant la comparaison des vocalisations entre nos deux sites d'étude, l'ACP conduite sur l'ensemble de nos données montre l'existence d'une distinction entre les deux populations (**encadré 2**). Pratiquement tous les paramètres acoustiques (nombre de pulses, fréquence des pulses, durées, paramètres fréquentiels) contribuent à séparer les mâles. Ce codage multiparamétrique permet de diminuer le risque de confusion entre les individus et de maintenir le contenu informatif du signal, malgré la destruction de certaines de ses parties lors de sa propagation dans l'environnement montagnard.

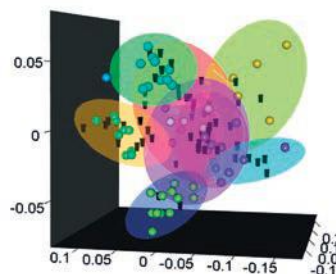
Cette signature individuelle, établie grâce à l'enregistrement d'individus « connus » (suivis par GPS), nous a permis d'injecter les caractéristiques acoustiques de l'ensemble des vocalisations enregistrées après les comptages traditionnels dans l'espace acoustique de discrimi-

nation. Nous avons ensuite utilisé une méthode de classification non supervisée (*clustering* par regroupement de données de grande dimension) pour estimer le nombre de mâles distincts entendus lors des comptages (Marin-Cudraz *et al.*, 2019 – **figure 2**). Nous avons ainsi pu tester la fiabilité de cette information individuelle pour trois années, en comparant les résultats obtenus par la bioacoustique à ceux obtenus avec un protocole traditionnel de dénombrement (par points d'écoute). Nous avons démontré que, grâce à la singularité des paramètres

acoustiques, il est possible de discriminer des individus inconnus en utilisant des algorithmes de classification (*clustering*), et donc de déterminer le nombre d'individus présents dans une zone avec moins d'incertitude que ne le permet le comptage par points d'écoute. Nous soulignons la fiabilité de l'approche bioacoustique, en montrant qu'elle évite à la fois le biais observateur et les doubles comptages ; mais elle nécessite un plus grand nombre de jours d'enregistrement (plus de 10 jours par an pour cette étude) et une plus grande surface couverte.

Figure 2 Représentation graphique des clusters de vocalisations des lagopèdes alpins mâles dans les trois premières dimensions de l'espace acoustique pour l'année 2017.

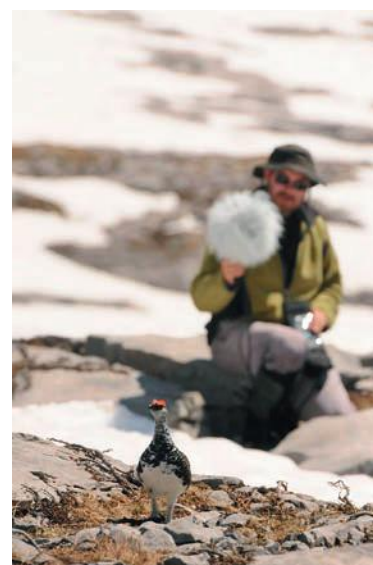
Les ellipses colorées correspondent au regroupement des vocalisations attribuées au même mâle par similarité acoustique, sur 10 jours d'enregistrement. Pour cette année, il y a 8 mâles sélectionnés par la méthode acoustique. Les points colorés représentent les vocalisations de l'ensemble de données « connues ». Les tétraèdres noirs sont des vocalisations « inconnues ».



► Encadré 2 • Variations acoustiques entre les populations de lagopèdes des Alpes et des Pyrénées

L'ACP effectuée sur les données issues des deux populations a permis de mettre en évidence l'existence de dialectes, c'est-à-dire des variations acoustiques d'ordre régional chez le lagopède alpin.

Les différences acoustiques observées entre les populations des Alpes et des Pyrénées peuvent avoir diverses origines. L'hypothèse la plus vraisemblable est qu'il existe des variations acoustiques macro-géographiques (Mundinger, 1982) entre les individus des deux massifs, dues à l'isolement ancien des populations, à travers leurs différences génétiques et/ou physiologiques (Bech *et al.*, 2009). Cependant, il n'est pas impossible que cette spécificité acoustique des populations soit due à des différences de contexte social, comportemental ou environnemental. Les galliformes forment un groupe d'espèces sensibles aux fragmentations de l'habitat et soumises à d'importantes contraintes environnementales. Ainsi, l'analyse conjointe de données acoustiques, phylogénétiques et biogéographiques concernant ces populations permettrait de fournir des informations sur le rôle des dialectes dans la gestion des interactions au sein des réseaux de communication.



© F. Muffat-Joly/ONCFS

▲ Enregistrement du chant d'un mâle au printemps dans les Alpes.

Conclusion

Ces travaux montrent que la bio-acoustique, et plus particulièrement les informations individuelles contenues dans le chant des oiseaux, peuvent être appliquées avec succès pour le recensement automatique des individus. Le développement des techniques acoustiques et des outils informatiques afférents permettrait en premier lieu de fiabiliser la méthode de comptage actuelle et, éventuellement, d'en envisager de nouvelles (**encadré 3**). Le développement d'applications innovantes intégrant les principes de la bio-acoustique s'avère très prometteur dans la gestion et la conservation des populations de galliformes. ●

► Encadré 3 • Projet de Monitoring acoustique à large échelle

Le lagopède alpin est une espèce emblématique, sentinelle du milieu alpin et témoin du changement climatique. Il est donc important de connaître et de quantifier les variations d'effectifs des populations sur l'ensemble du territoire français. Compte tenu du développement des moyens informatiques, nous proposons la mise en place d'un échantillonnage acoustique à large échelle sur l'ensemble des massifs montagneux, qui permettrait d'uniformiser et de fiabiliser les comptages, en limitant l'effet observateur et en intégrant la notion d'espace de détection. Actuellement, plusieurs organismes sont partenaires de ce projet tel que l'ONCFS, l'OGM, le Parc national des Écrins ainsi que celui du Mercantour. Grâce au partenariat entre ces structures, plusieurs enregistreurs autonomes ont été posés, et nous commençons à récolter et à analyser les enregistrements obtenus. Le déploiement d'un réseau d'enregistreurs permettrait, outre le fait de fiabiliser les comptages, de tester et d'améliorer les modèles d'habitat favorable, de couvrir de plus grandes zones et d'en explorer de nouvelles en limite d'aire de répartition, là où les fluctuations d'effectifs risquent d'être plus rapides et plus prononcées qu'ailleurs.



► Mise en place de l'un des 12 enregistreurs acoustiques autonomes dans le Parc national des Écrins.

© L. Imberdis/PN Écrins

Bibliographie

- Bech, N., Boissier, J., Drovetski, S. & Novoa, C. 2009. Population genetic structure of rock ptarmigan in the 'sky islands' of French Pyrenees: implications for conservation. *Animal Conservation* 12: 138-146. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2008.00233.x>
- Comolet-Tirman, J., Sibley, J.-P., Witté, I. & Cadiou, B. 2015. Statuts et tendances des populations d'oiseaux nicheurs de France. Bilan simplifié. *Alauda* 83 : 35-76.
- Desmet, J.-F. 1988 Densité de peuplement en période de reproduction du lagopède alpin en haute vallée du Giffre (Haute-Savoie). *Gibier Faune Sauvage*, Vol. 5 : 447-458.
- Léonard, P. 1995. Méthode de dénombrement des lagopèdes alpins mâles au chant et présentation des résultats. *Bull. Mens. ONC* n°199, Fiche n°85.
- Marin-Cudraz, T., Muffat-Joly, B., Novoa, C., Aubry, P., Desmet, J.-F., Mahamoud-Issa, M., Nicolé, F. Van Niekerk, M. H., Mathevon, N. & Sèbe, F. 2019. Acoustic monitoring of rock ptarmigan: A multi-year comparison with point-count protocol. *Ecological Indicators* 101: 710-719.
- Molles, L.E. & Vehrencamp, S.L. 2001. Neighbour recognition by resident males in the banded wren, *Thryothorus pleurostictus*, a tropical songbird with high song type sharing. *Animal Behaviour* 61: 119-127. <https://doi.org/10.1006/anbe.2000.1561>
- Munding, P.C. 1982. Microgeographic and macrogeographic variation in the acquired vocalizations of birds. In: *Acoustic Communication in Birds. Vol. II*. New York Academic Press : 147-208.
- Sèbe, F. 2012. La bioacoustique : un outil d'avenir pour le suivi et la gestion des espèces animales. *Faune sauvage* n° 295 : 4-7.
- Watson, A. 1965. A population study of ptarmigan (*Lagopus mutus*) in Scotland. *J. Anim. Ecol.*: 34: 135-172.