Évaluation du suivi de la Bécasse des bois à la croule dans le Massif vosgien

Apport de l'individualisation bioacoustique et évaluation du protocole national adapté



Licence Professionnelle Métiers de la protection et de la gestion de l'environnement - Métiers du diagnostic, de la gestion et de la protection des milieux naturels, MINA.

UFR Sciences et Techniques de l'Université Marie et Louis Pasteur

Tuteur universitaire : Francis RAOUL

Professionnel tuteur : Thomas CHEVALIER

Lucas GASPERMENT

Année universitaire 2025-2026

©Lucas Gasperment

Groupe Tétras Vosges

UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ

UFR SCIENCES & TECHNIQUES

Le contenu de ce mémoire est la seule responsabilité du candidat et de l'organisme d'accueil et n'engage pas la responsabilité scientifique du tuteur universitaire ni de l'Université

Remerciements

Je tiens tout d’abord à remercier Thomas Chevalier pour son accompagnement tout au long de ce projet. Ses conseils, ses suggestions et sa disponibilité ont largement contribué à la réalisation de ce travail. Je le remercie également pour le temps consacré aux échanges, au suivi de l’étude et à la relecture attentive de ce rapport.

Je remercie également Francis Raoul, mon tuteur universitaire, pour sa présence et son accompagnement aux différentes étapes du projet, ainsi que pour ses conseils et sa relecture du rapport.

J’adresse aussi mes remerciements à Jean-Lou Zimmermann pour son accueil, sa disponibilité et le temps qu’il a consacré à répondre à mes nombreuses questions. Je le remercie tout particulièrement pour la transmission de ses connaissances et pour la formation qu’il m’a apportée, aussi bien sur le terrain que lors de l’analyse des données acoustiques. Son expérience et la passion qu’il consacre depuis de nombreuses années à cette espèce fascinante ont profondément enrichi ce travail. Je tiens aussi à remercier Jean-Lou pour la relecture de ce rapport, ses remarques ciblées et ses suggestions de corrections, qui ont contribué à améliorer la qualité de la rédaction et de l’analyse.

Je remercie également l’Office français de la biodiversité, et plus particulièrement Kévin Le Rest et Juliette Jobard, pour les informations apportées sur le protocole national de suivi de la Bécasse des bois à la croule, pour le partage de la base d’échantillonnage ainsi que pour les éléments transmis concernant le suivi conduit dans le Parc naturel régional du Morvan.

Enfin, je souhaite remercier l’ensemble des bénévoles, collègues et partenaires ayant contribué au déploiement du protocole national adapté. Leur participation aux inventaires et, pour certains, leur présence à mes côtés sur le terrain ont été précieuses, y compris lors des soirées d’écoute les moins fructueuses. Leur disponibilité et leur motivation ont contribué à rendre ces sorties aussi utiles qu’agréables.

Résumé

La Bécasse des bois (Scolopax rusticola) demeure peu étudiée durant sa période de reproduction, notamment à l'échelle locale. Le protocole national de suivi repose sur le nombre de contacts de mâles en activité de croule, sans permettre de déterminer précisément le nombre d'individus présents. Cette étude, conduite en 2026 dans le Massif des Vosges, visait à évaluer la variabilité temporelle des contacts et à tester l'intérêt de l'individualisation bioacoustique pour améliorer l'estimation des effectifs reproducteurs. Une adaptation du protocole national, comprenant trois passages sur six points d'écoute, a été associée à un protocole bioacoustique comportant cinq passages sur cinq sites. Les signatures vocales ont été caractérisées à partir de quatre variables acoustiques extraites des strophes de croule.

Le protocole national adapté a permis de recenser 54 contacts au cours de 18 sessions, avec une forte variabilité entre les points et les passages. Le protocole bioacoustique a produit 228 contacts, dont 185 séquences analysables et 178 classables. Ces dernières ont été attribuées à 14 profils acoustiques distincts, correspondant au nombre minimal de mâles distingués. Les comparaisons statistiques ont montré que 16 des 17 paires de profils comparées au sein d'un même site différaient significativement pour au moins une variable acoustique. Le nombre d'individus distingués augmente avec le nombre de contacts, mais cette relation reste partielle. L'équation utilisée dans le cadre du protocole national a fourni des estimations significativement supérieures aux nombres obtenus par individualisation acoustique. Par ailleurs, le nombre de contacts varie fortement entre les soirées et diminue lorsque la température augmente. Une analyse exploratoire estime un changement de pente autour de 25,1 °C, résultat qui doit néanmoins être interprété avec prudence en raison du nombre limité de sessions et de la possible confusion entre température et avancement de la saison.

Ces résultats montrent que les contacts constituent avant tout un indicateur d'intensité de l'activité de croule et ne peuvent être directement assimilés à un effectif. La répétition des passages apparaît nécessaire pour limiter les risques de sous-détection. L'individualisation bioacoustique apporte une information complémentaire en permettant d'estimer un nombre minimal de mâles et d'étudier leur fréquence de détection. Sa généralisation nécessiterait toutefois une validation indépendante des profils, un effort de traitement important et l'acquisition de données sur davantage de sites et d'années.

Abstract

The Eurasian Woodcock (Scolopax rusticola) remains poorly studied during its breeding season, particularly at the local scale. The French national monitoring protocol is based on counts of contacts with males performing their roding display, but it does not provide a direct estimate of the number of individuals present. Conducted in 2026 in the Vosges Mountains, this study aimed to assess the temporal variability of roding contacts and to investigate whether bioacoustic individual identification could improve estimates of the breeding population. An adapted version of the national protocol, involving three visits to six listening points, was combined with a bioacoustic protocol consisting of five visits to five sites. Vocal signatures were characterised using four acoustic variables extracted from roding calls.

The adapted national protocol recorded 54 contacts during 18 sessions and revealed substantial variation among listening points and visits. The bioacoustic protocol produced 228 contacts, of which 185 acoustic sequences were suitable for analysis and 178 could be classified. These sequences were assigned to 14 distinct acoustic profiles, representing the minimum number of acoustically distinguished males. Statistical comparisons showed that 16 of the 17 pairs of profiles compared within the same site differed significantly in at least one acoustic variable. The number of acoustically distinguished individuals increased with the number of contacts, although this relationship remained limited. The equation used in the national protocol produced estimates that were significantly higher than those obtained through acoustic individualisation. Contact numbers also varied considerably among evenings and decreased as temperature increased. An exploratory analysis estimated a change in slope at approximately 25.1°C. This result should, however, be interpreted cautiously because of the limited number of sessions and the potential confounding effect between temperature and seasonal progression.

These findings indicate that contact counts primarily measure the intensity of roding activity and cannot be directly interpreted as population size. Repeated visits are necessary to reduce the risk of under-detection. Bioacoustic individualisation provides complementary information by estimating a minimum number of males and describing their detection frequency. Its wider application would nevertheless require independent validation of acoustic profiles, substantial processing effort, and data collected from more sites over several years.

Sommaire

Introduction 1

1. Structure d'accueil 2

2. Matériels et méthodes 3

2.1. Zone d'étude 3

2.1.1. Le Massif Vosgien 3

2.1.2. Statut de protection et d'inventaire écologique des sites suivis 3

2.2. Variables environnementales 4

2.2.1. Facteurs abiotiques 4

2.2.2. Facteurs biotiques 4

2.3. La Bécasse des bois (*Scolopax rusticola*) 5

2.3.1. Généralités, morphologie et écologie générale 5

2.3.2. Répartition, déplacements et habitat 5

2.3.3. Biologie, reproduction et alimentation 6

2.3.4. Menaces et tendances 6

2.4. Méthodologie 7

2.4.1. Méthode d'échantillonnage 7

2.4.2. Protocole de terrain 7

2.4.3. Analyse et traitement des données 8

3. Résultats 11

3.1. Activité de croule et données bioacoustiques 11

3.1.1. Activité de croule et dynamique temporelle dans le cadre du protocole national adapté 11

3.1.2. Activité de croule et exploitabilité des données issues du protocole bioacoustique 12

3.1.2.1. Contacts détectés et répartition par site 12

3.1.2.2. Exploitabilité des séquences acoustiques 12

3.1.2.3. Individualisation acoustique des mâles 13

3.2. Dynamique temporelle et fréquence de détection des individus acoustiquement distingués 13

3.3. Relation entre le nombre de contacts et le nombre d'individus acoustiquement distingués 15

3.4. Relation entre l'activité de croule et la température 16

4. Discussion 17

4.1. Robustesse des estimations issues des contacts de croule 17

4.1.1. Relation entre le nombre de contacts et le nombre d'individus 17

4.1.2. Variabilité temporelle de l'activité de croule et influence potentielle de la température 17

4.2. Apport et critique de la méthode bioacoustique 18

4.2.1. Pouvoir discriminant des variables acoustiques 18

4.2.2. Effort de suivi et nombre minimal de passages 18

4.2.3. Exploitabilité des séquences acoustiques 19

4.2.4. Régularité de détection et contribution des individus à l'activité acoustique 20

4.2.5. Apport quantitatif de la bioacoustique pour l'estimation des effectifs 20
5. Limites et biais de l'étude 21
6. Recommandations 22
7. Conclusion 23

Table des figures

Figure 1 : Situation géographique du Massif des Vosges 2
Figure 2 : Mâle de Bécasse des bois lors de l'activité de croule (Photographie ©Lucas Gasperment, 2026) 4
Figure 3 : Aire de répartition européenne de la Bécasse des bois, réalisée d'après les données de l'OFB 4
Figure 4 : Prédiction de la présence/absence de croule sur les points d'écoute en France pour les années 1988 et 2018 (Boussac, 2018) 5
Figure 5 : Illustration des variables acoustiques extraites lors de l'analyse des spectrogrammes 8
Figure 6 : Nombre de contacts de Bécasse des bois recensés sur les six points d'écoute au cours des trois passages du protocole national adapté. 10
Figure 7 : Nombre de contacts de Bécasse des bois recensés par site au cours des cinq sessions du protocole bioacoustique. 11
Figure 8 : Distribution des variables acoustiques chez les individus acoustiquement distingués dans le cadre du protocole bioacoustique. 12
Figure 9 : Courbes d'accumulation du nombre d'individus acoustiquement distingués en fonction du nombre de passages réalisés. 13
Figure 10 : Relation entre le nombre de contacts et le nombre d'individus acoustiquement distingués dans le cadre du protocole bioacoustique. 14
Figure 11 : Relation entre la température et le nombre de contacts de Bécasse des bois au cours des sessions d'écoute. 15

Table des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des contacts recensés, des séquences acoustiques analysées et classables par site dans le cadre du protocole bioacoustique. 11
Tableau 2 : Fréquence de détection et nombre de séquences attribuées aux profils acoustiques distingués sur chaque site. 13
Tableau 3 : Nombre de séquences attribuées à chaque individu acoustiquement distingué au cours des cinq passages réalisés sur chaque site 14

Table des annexes

Annexe 1 : Localisation des sites du protocole bioacoustique et statuts de protection ou d'inventaire écologique associés 26
Annexe 2 : Localisation des sites suivis dans le cadre du protocole national adapté 27
Annexe 3 : Fiche d'inventaire protocole national adapté 28
Annexe 4 : Codification des séquences 29
Annexe 5 : Base de données des variables acoustiques et de l'attribution des séquences aux profils individuels 30
Annexe 6 : Nombre de contacts de Bécasse des bois recensés par point d'écoute et par session dans le cadre du protocole national adapté 37
Annexe 7 : Données détaillées du protocole bioacoustique par site et par sortie 38
Annexe 8 : Résultats des comparaisons des variables acoustiques entre les profils individuels au sein de chaque site 40
Annexe 9 : Variables acoustiques présentant une différence significative entre les profils comparés au sein de chaque site. 41
Annexe 10 : Température relevée et nombre de contacts de Bécasse des bois recensés au cours des sessions d'écoute des deux protocoles 42

Glossaire

Contact : Détection auditive, visuelle ou simultanément auditive et visuelle du passage d'une Bécasse des bois. Un même mâle peut être à l'origine de plusieurs contacts au cours d'une même session.

Cro : Élément grave et de basse fréquence émis plusieurs fois au début de la strophe de croule.

Croule : Vol de parade nuptiale effectué principalement au crépuscule et à l'aube par les mâles de Bécasse des bois. Il s'accompagne d'une vocalisation caractéristique composée de sons graves, les « cro », suivis d'un son aigu, le « tsit ».

Enregistrement acoustique : Prise de son ou fichier sonore obtenu sur le terrain. Un enregistrement peut contenir plusieurs contacts et plusieurs séquences acoustiques.

Individualisation acoustique : Démarche visant à distinguer différents mâles à partir des caractéristiques de leurs vocalisations.

Nombre minimal d'individus acoustiquement distingués : Nombre de profils individuels différenciés à partir des séquences classables. Il s'agit d'un minimum, car certains mâles détectés peuvent ne pas avoir produit suffisamment de séquences exploitables pour être distingués.

Passage : Terme employé dans deux sens dans le rapport. Il désigne soit une visite effectuée sur un site d'écoute, soit le passage en vol d'une Bécasse devant l'observateur. Le contexte permet de distinguer ces deux significations.

Profil acoustique : Ensemble cohérent de caractéristiques vocales attribué à un même mâle potentiel à partir de plusieurs séquences concordantes. Il correspond à un individu acoustiquement distingué, mais dont l'identité réelle n'a pas été vérifiée indépendamment.

Séquence acoustique : Extrait isolé d'un enregistrement de terrain, correspondant généralement au passage vocal d'un individu et constituant l'unité utilisée pour mesurer les variables acoustiques.

Séquence analysable : Séquence dont la qualité permet d'identifier les éléments de la strophe et de mesurer de manière fiable les quatre variables acoustiques retenues.

Séquence classable : Séquence analysable dont les caractéristiques permettent un rapprochement suffisamment fiable avec un profil acoustique. Une séquence analysable n'est donc pas nécessairement classable.

Signature acoustique : Combinaison des caractéristiques vocales mesurées chez un mâle et utilisée pour le distinguer des autres individus enregistrés.

Situation de « Péron » : Situation au cours de laquelle un ou plusieurs mâles interagissent entre eux ou avec une femelle en se poursuivant en vol, produisant des émissions vocales inhabituelles ou fortement modifiées par rapport à la croule ordinaire. Ces séquences peuvent être difficiles à attribuer à un profil acoustique.

Température de rupture : Température estimée à partir de laquelle la relation entre la température et le nombre de contacts change de pente. Elle constitue une rupture statistique et non nécessairement un seuil biologique strict.

Tsit : Élément sonore aigu émis à la fin d'une strophe de croule.

Introduction

La biodiversité connaît actuellement un déclin majeur à l'échelle mondiale, au point que plusieurs auteurs évoquent une sixième extinction de masse (Ceballos et al., 2015 ; Cowie et al., 2022 ; Dirzo & Raven, 2003). Ce déclin concerne l'ensemble du vivant, y compris les oiseaux. À l'échelle européenne, les populations d'oiseaux communs ont décliné d'environ 20 à 25 % depuis 1980 (PECBMS, 2021). En France, les données du programme STOC (Suivi Temporel des Oiseaux Communs) montrent qu'entre 1989 et 2024 l'abondance des oiseaux spécialistes a diminué d'environ un tiers, traduisant une dégradation progressive de nombreux habitats naturels (MNHN Cesco & SDES, 2025). Les espèces forestières apparaissent globalement moins affectées que celles des milieux agricoles ou urbains, mais présentent néanmoins des tendances préoccupantes à long terme.

Parmi les oiseaux forestiers, la Bécasse des bois (Scolopax rusticola Linnaeus, 1758) présente un cycle annuel complexe et une large distribution paléarctique. Ses principales populations nicheuses se situent en Russie, en Europe centrale et en Fenno-Scandinavie, tandis qu'une part importante hiverne en Europe occidentale, notamment en France (Cramp & Simmons, 1983 ; Ferrand & Gossmann, 2009). Les tendances démographiques sont contrastées selon les régions, avec plusieurs signaux de déclin en Europe occidentale, dans un contexte où la pression cynégétique demeure importante (BirdLife International, 2021 ; PECBMS, 2021).

À l'échelle mondiale, la Bécasse des bois est classée en catégorie « Préoccupation mineure » (LC) par l'UICN (BirdLife International, 2024), statut largement influencé par l'importance des populations nicheuses russes. En France, l'espèce est également classée en catégorie « Préoccupation mineure » (LC) sur la Liste rouge nationale des oiseaux nicheurs (UICN France et al., 2016). Toutefois, la situation mérite une certaine attention puisqu'elle est classée « Quasi menacée » (NT) dans le Grand Est (ODONAT Grand Est, 2024).

Les populations hivernantes font l'objet d'une attention particulière depuis plusieurs décennies, notamment en raison du statut d'espèce chassable durant la période hivernale. En France, le réseau Bécasse coordonné par l'Office français de la biodiversité mobilise plusieurs centaines de bagueurs d'octobre à mars. La base de données nationale regroupe aujourd'hui près de 180 000 oiseaux bagués et plus de 30 000 reprises ou contrôles, constituant l'une des bases de données les plus importantes au monde sur l'espèce (Réseau Bécasse, 2024). Ces travaux ont permis d'améliorer considérablement les connaissances relatives aux taux de survie, aux déplacements migratoires et à l'origine géographique des oiseaux hivernants (Péron et al., 2012).

À l'inverse, les populations nicheuses demeurent nettement moins bien connues. Leur suivi repose principalement sur le protocole national de suivi de la croule coordonné par l'Office français de la biodiversité. Celui-ci fournit un indicateur d'abondance relative permettant d'évaluer les tendances démographiques à grande échelle (Ferrand, 1989 ; Ferrand & Gossmann, 2009). Une étude fondée sur plus de trente années de suivi a ainsi mis en évidence une diminution d'environ 30 % des effectifs nicheurs en France, accompagnée d'une contraction de l'aire de reproduction, particulièrement marquée dans les Pyrénées et les Alpes (Boussac, 2018).

Malgré les connaissances acquises à l'échelle nationale, les informations disponibles à l'échelle locale demeurent limitées. Les effectifs nicheurs restent mal connus dans la plupart des massifs forestiers français, et peu d'études ont cherché à estimer directement le nombre de mâles présents sur un site ou à évaluer la fiabilité des protocoles actuellement utilisés. Le protocole national repose sur le comptage crépusculaire des contacts de mâles à la croule depuis des points d'écoute. Il permet d'étudier leur répartition et les variations de leur activité, mais pas d'estimer précisément le nombre de mâles présents dans chaque secteur, puisqu'un même individu peut être contacté plusieurs fois au cours d'une session. À ce jour, les travaux conduits dans le Morvan constituent l'un des rares exemples de suivi approfondi mené à l'échelle locale en

France. Cette étude a permis d'estimer la population entre 200 et 300 mâles, tout en mettant en évidence une forte variabilité temporelle et la nécessité de suivis plus réguliers pour dégager une tendance robuste.

Parmi les approches susceptibles d'améliorer l'estimation des effectifs, l'individualisation bioacoustique repose sur la recherche de caractéristiques vocales propres à chaque mâle. La méthode développée par Mulhauser et Zimmermann s'appuie sur l'analyse comparative de plusieurs variables acoustiques mesurées dans les strophes émises pendant la croule. Leurs travaux ont montré que leur combinaison permettait d'obtenir des taux élevés de discrimination entre individus connus, atteignant 100 % dans les situations les plus simples et environ 82 % dans les cas plus complexes (Mulhauser & Zimmermann, 2010a).

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude, réalisée au sein du Groupe Tétras Vosges. Elle vise à évaluer la variabilité temporelle des contacts de croule, à étudier leur relation avec le nombre minimal de mâles acoustiquement distingués et à tester la capacité des signatures vocales à améliorer l'estimation des effectifs reproducteurs dans le Massif des Vosges.

1. Structure d'accueil

En 1979, plusieurs naturalistes décident de créer un groupe de contact nommé GTV (Groupe Tétras Vosges), dont l'objectif est de recenser les populations de Grand Tétras au sein du massif vosgien. Cette initiative s'inscrit dans un contexte de forte régression des populations de cette espèce à cette période. Progressivement, le GTV acquiert une reconnaissance en tant que groupe d'expertise naturaliste multipartenarial. C'est notamment sous l'impulsion du GTV, et en lien avec d'autres associations, que l'Office national des forêts établira en 1991 la « Directive Tétras », qui vise à améliorer la gestion forestière en faveur du Grand Tétras sur une grande partie du massif vosgien. Celle-ci est actualisée par la suite en 2016.

En 1990, le groupe de naturalistes devient officiellement une association loi de 1908 (régime Alsace-Moselle) sous le nom d'Association pour la protection des tétraonidés, auquel est ajoutée en 2005 la mention « et de leurs habitats », tout en conservant l'appellation GTV auprès du public. À partir de cette date, les objectifs de l'association s'élargissent au recueil de l'ensemble des données nécessaires à la connaissance de la biologie des tétraonidés présents dans le massif vosgien, principalement le Grand Tétras et la Gélinotte des bois. L'association assure également la coordination des actions de protection, d'aménagement et de restauration des habitats favorables à ces espèces.

En 1995, grâce au soutien financier de la Région Lorraine et du Ministère de l'Environnement, un premier poste salarié à mi-temps est créé.

Actuellement, le GTV poursuit le suivi des tétraonidés et de leurs habitats, tout en ayant progressivement élargi ses missions à l'ensemble des espèces patrimoniales partageant les mêmes milieux forestiers montagnards. Les principales missions de l'association concernent le recueil et l'analyse des données relatives à la biologie des espèces suivies et de leurs habitats, leur valorisation et diffusion auprès des partenaires, la proposition d'actions de conservation, ainsi que la coordination et le suivi des actions de préservation et de restauration des habitats.

L'association compte aujourd'hui cinq salariés, dont trois en contrat à durée indéterminée, une en contrat à durée déterminée et un alternant. Cette équipe salariée est appuyée par un réseau d'environ soixante bénévoles actifs.

Le GTV travaille en étroite collaboration avec de nombreux partenaires techniques, parmi lesquels figurent l'Office national des forêts, l'Office français de la biodiversité, le Conservatoire d'espaces naturels de Lorraine, le Parc naturel régional des Ballons des Vosges, les Directions départementales des territoires, la Ligue pour la protection des oiseaux, Lorraine Association Nature et Oiseaux Nature. L'association bénéficie également de soutiens financiers de la Région Grand Est, de l'Union européenne et de la DREAL.

2. Matériels et méthodes

2.1. Zone d'étude

2.1.1. Le Massif Vosgien

Le massif des Vosges est une moyenne montagne située dans le nord-est de la France, proche de la frontière allemande. Il s'étend sur environ 200 km selon un axe nord-sud et concerne sept départements. Le périmètre étudié comprend les versants lorrain et alsacien, à l'exclusion du Parc naturel régional des Vosges du Nord.

Dans le cadre de cette étude, le périmètre considéré correspond à l'ensemble du massif vosgien, incluant les versants lorrain et alsacien hors Parc Naturel des Vosges du Nord.

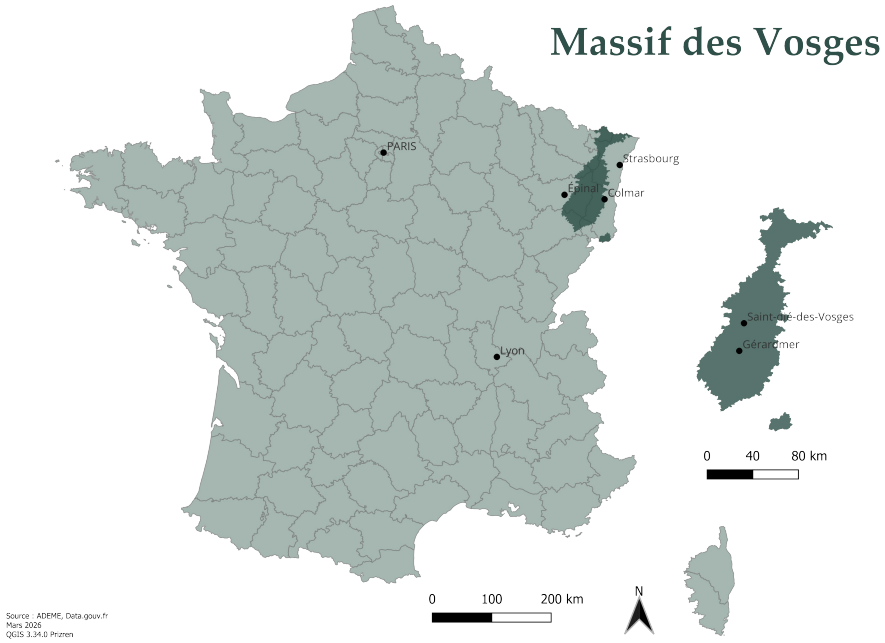


Figure 1 : Situation géographique du Massif des Vosges

2.1.2. Statut de protection et d'inventaire écologique des sites suivis

Les cinq sites retenus pour le protocole bioacoustique présentent différents statuts de protection ou d'inventaire écologique, présentés en Annexe 1. L'ensemble des sites est concerné par le site Natura 2000 « Massif Vosgien » au titre de la directive Oiseaux (FR4112003) ainsi que par la ZNIEFF de type 2 « Massif Vosgien » (410010387).

Des statuts complémentaires sont présents selon les sites :

- Sérichamps : APB et Réserve Biologique Dirigée de la Haute Meurthe (FR2300114) + Natura 2000 Habitats « Massif de Haute Meurthe, défilé de Straiture » (FR4100198) + ZNIEFF de type 1 « Forêt domaniale de Haute Meurthe à Clefcy » (410000540).
- Tourbière de Rouge Feigne : ZNIEFF de type 1 « Tourbière de la Grande Basse à La Bresse » (410010390).
- Tourbière des Charmes : Réserve Naturelle Régionale de la Tourbière des Charmes (FR9300041) + Réserve Biologique des Charmes (FR2300090) + Natura 2000 Habitats « Massif forestier de Longégoutte » (FR4100202) + ZNIEFF de type 1 « Tourbière de la Charme à Thiéfosse et Rupt-sur-Moselle » (410002150).
- La Pierre le Lièvre : ZNIEFF de type 1 « Forêt domaniale de Fossard et tourbière à Tendon » (410002166).
- Noir Rupt : Natura 2000 Habitats « Forêt domaniale de Gérardmer Ouest (La Morte Femme, Faigne de Noir Rupt) » (FR4100194) + ZNIEFF de type 1 « Forêt domaniale de Gérardmer » (410030440).

2.2. Variables environnementales

2.2.1. Facteurs abiotiques

- **Pédologie**

Les sols du massif vosgien, principalement issus de roches cristallines et gréseuses, sont généralement acides et pauvres en bases (Baize & Girard, 2008 ; Duchaufour, 2001). Leur humidité et leur richesse en matière organique varient notamment selon l'altitude et le substrat, influençant l'abondance des invertébrés du sol. Ces caractéristiques sont importantes pour la Bécasse des bois, dont le régime alimentaire repose largement sur les lombriciens (Hoodless & Hirons, 2007).

- **Topographie**

Le massif présente des altitudes comprises entre environ 300 et 1 424 m. Son relief asymétrique oppose un versant lorrain aux pentes relativement douces à un versant alsacien plus abrupt. Ces variations d'altitude, d'exposition et d'humidité contribuent à la diversité des habitats disponibles (IGN, 2012).

- **Climat**

Le massif des Vosges est soumis à un climat de transition entre influences océaniques et semi-continentales, fortement modifié par le relief (IGN, 2012). Il agit comme un obstacle aux perturbations atlantiques, générant un fort gradient pluviométrique entre versants : les secteurs occidentaux sont très arrosés, tandis que la plaine d'Alsace est plus sèche sous l'effet du foehn (Météo-France, s.d.).

Les cumuls annuels peuvent dépasser 1 800 à 2 000 mm sur les crêtes, contre environ 500 à 700 mm en plaine d'Alsace (Colmar) (Météo-France, s.d.). Les températures diminuent en moyenne d'environ 0,6 °C tous les 100 m d'altitude, entraînant des hivers longs et rigoureux en altitude et plus tempérés en plaine.

2.2.2. Facteurs biotiques

Le Massif des Vosges est caractérisé par une couverture forestière particulièrement importante, constituant un paramètre essentiel pour la Bécasse des bois. Le massif vosgien est recouvert de forêts à hauteur d'environ 75 %, avec des surfaces forestières estimées à près de 405 000 hectares, soit une part très majoritaire de son territoire (IGN, 2012).

La composition forestière varie fortement en fonction de l'altitude et des conditions stationnelles. Aux basses altitudes (jusqu'à environ 400–500 mètres), les peuplements sont dominés par des chênaies-charmaies. Entre 500 et 900 mètres, ces formations évoluent vers des hêtraies-sapinières caractéristiques de l'étage montagnard. Au-delà de 900–1 000 mètres, la hêtraie montagnarde domine, avant de laisser place, au-dessus de 1 200 mètres environ, à des formations ouvertes constituées de landes et de prairies sommitales, appelées localement « hautes chaumes » (Rameau et al., 2008).

Les essences résineuses, telles que le sapin pectiné (*Abies alba*) et l'épicéa commun (*Picea abies*), occupent une place importante dans les étages montagnards, en lien notamment avec les conditions stationnelles et les pratiques sylvicoles. Le hêtre (*Fagus sylvatica*) est également une essence largement répandue sur l'ensemble du gradient altitudinal, pouvant dominer certains secteurs, y compris en altitude où il peut constituer, avec le sapin, l'une des essences principales voire dominantes selon les stations. Les chênes sont quant à eux davantage représentés dans les zones de piémont et les altitudes les plus basses.

Ces différentes typologies forestières présentent des intérêts contrastés pour la Bécasse des bois. Les forêts mixtes humides de moyenne altitude, associant feuillus et résineux sur des sols frais et riches en matière organique, constituent les habitats de reproduction les plus favorables à l'espèce (Hoodless & Hirons, 2007). Les milieux ouverts tels que les clairières forestières et les chaumes sommitales jouent quant à eux un rôle essentiel pour l'activité de croule et l'alimentation, la mosaïque de milieux fermés et ouverts étant une condition déterminante pour la présence de l'espèce (Ferrand & Gossmann, 1995).

2.3. La Bécasse des bois (*Scolopax rusticola*)

2.3.1. Généralités, morphologie et écologie générale

La Bécasse des bois (*Scolopax rusticola* Linnaeus, 1758) est un limicole de la famille des Scolopacidae, dont la sous-famille des Scolopacinae regroupe les seuls représentants strictement forestiers toute l'année (Ferrand & Gossmann, 1995). C'est un oiseau trapu (300–350 g ; 35–38 cm) doté d'un long bec de 6,5 à 8 cm (Cramp & Simmons, 1983). Son plumage cryptique brun, roux et noir lui confère une homochromie efficace avec le substrat forestier. L'espèce ne présente pas de dimorphisme sexuel et adopte un comportement discret, restant immobile au sol en cas de dérangement (Ferrand & Gossmann, 1995).



Figure 2 : Mâle de Bécasse des bois lors de l'activité de croule (Photographie ©Lucas Gasperment, 2026)

2.3.2. Répartition, déplacements et habitat

La Bécasse des bois possède une très large aire de répartition paléarctique, s'étendant de l'Europe de l'Ouest jusqu'à la Russie et l'Asie orientale, et hivernant jusqu'en Afrique du Nord et en Asie du Sud-Est (Cramp & Simmons, 1983 ; Ferrand & Gossmann, 1995). En Europe, elle est absente uniquement d'Islande.

Les populations se déplacent selon un cycle migratoire annuel, les zones de reproduction sont principalement situées en Russie, Scandinavie et Europe centrale, tandis que l'Europe occidentale accueille majoritairement les individus en période hivernale.

En France, l'espèce est présente toute l'année avec des nicheurs concentrés dans les massifs forestiers et des hivernants plus diffus. Elle occupe principalement les forêts feuillues et mixtes riches en sols humides, conditions favorables à l'abondance de lombriciens, ressource alimentaire principale (Hoodless & Hirons, 2007 ; Duriez et al., 2005). Les zones ouvertes (clairières, lisières, coupes) sont utilisées lors de la croule, tandis que les milieux ouverts agricoles peuvent être exploités en hivernage nocturne.

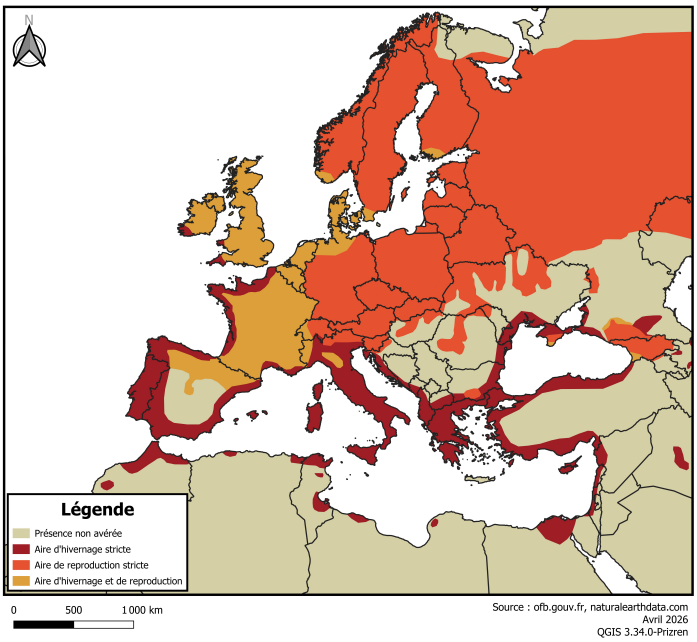


Figure 3 : Aire de répartition européenne de la Bécasse des bois, réalisée d'après les données de l'OFB

2.3.3. Biologie, reproduction et alimentation

La Bécasse des bois est une espèce solitaire et essentiellement crépusculaire. En France, la reproduction s'étend de février à juillet, avec un pic plus précoce en plaine et plus tardif en altitude (Ferrand & Gossmann, 1995). Le système reproducteur est polygynique, avec une forte contribution de quelques mâles dominants.

La reproduction est caractérisée par la croule, vol de parade au crépuscule et à l'aube, au cours duquel les mâles émettent une succession de sons graves et aigus (Ferrand & Gossmann, 1995 ; Mulhauser et al., 2010a). La femelle assure seule la nidification et l'élevage. La ponte comprend quatre œufs, avec une incubation d'environ 22 jours et un envol des jeunes entre 15 et 20 jours (Ferrand, 1989).

Le régime alimentaire est dominé par les lombriciens, représentant la majeure partie de l'apport énergétique (Granval, 1987 ; Granval, 1988). L'espèce consomme également divers invertébrés du sol. Sa morphologie céphalique et son bec sensitif spécialisé lui permettent de détecter les proies dans le sol. Cette dépendance rend l'espèce sensible aux conditions d'humidité du sol, aux sécheresses et aux périodes de gel.

2.3.4. Menaces et tendances

Les principales pressions s'exerçant sur la Bécasse des bois concernent l'ensemble de son cycle annuel. La pression cynégétique constitue le facteur le mieux documenté, avec des prélèvements estimés entre 3 et 4 millions d'individus par an en Europe, dont environ 0,8 à 1 million en France (Ferrand & Gossmann, 1995). Cette pression s'inscrit dans un contexte de survie relativement faible, estimée à 34 % chez les jeunes et 44 % chez les adultes (Tavecchia et al., 2002).

La transformation et la fragmentation des habitats forestiers, liées aux pratiques agricoles et sylvicoles intensives, contribuent également à la diminution de la qualité des habitats disponibles. Ces modifications s'accompagnent d'un appauvrissement de la faune du sol, notamment des lombriciens, ressource alimentaire principale de l'espèce (Duriez et al., 2005).

Enfin, les conditions climatiques, en particulier les épisodes de sécheresse printanière, peuvent fortement limiter l'accessibilité alimentaire et affecter le succès reproducteur (Heward et al., 2015 ; Guzmán & Arroyo, 2015).

Sur le plan démographique, les suivis à long terme indiquent une diminution d'environ 30 % de mâles en France sur les trois dernières décennies, accompagnée d'une contraction de l'aire de reproduction, notamment dans les massifs alpins et pyrénéens (Boussac, 2018).

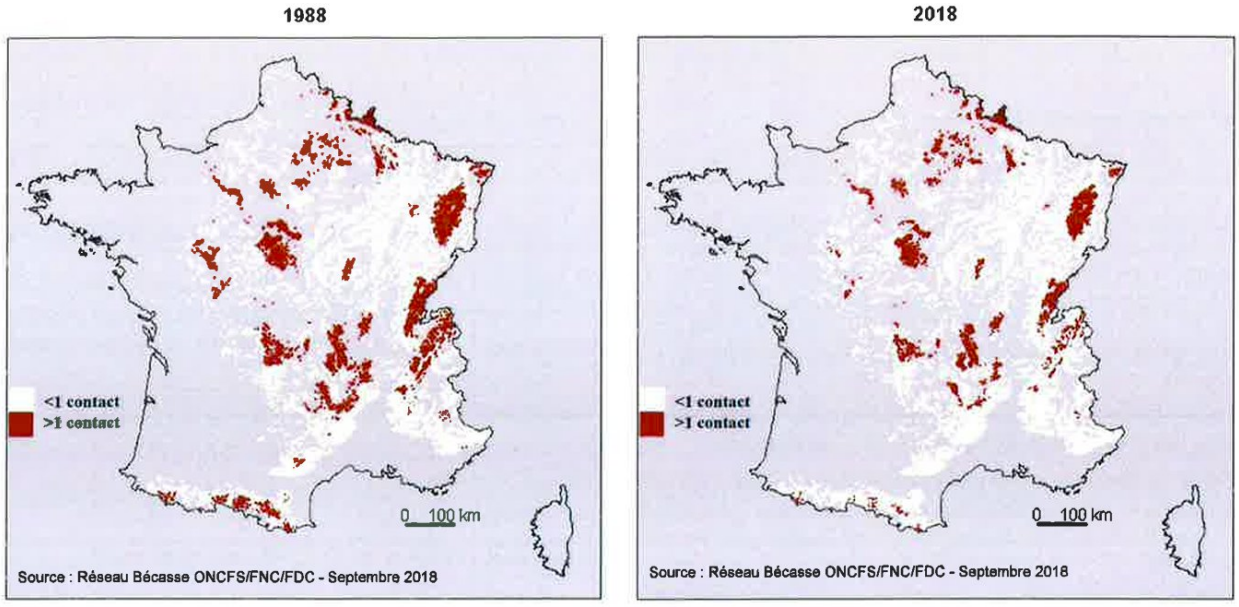


Figure 4 : Prédiction de la présence/absence de croule sur les points d'écoute en France pour les années 1988 et 2018 (Boussac, 2018)

2.4. Méthodologie

2.4.1. Méthode d'échantillonnage

Deux dispositifs indépendants sont mis en œuvre, une adaptation du protocole national de suivi de la Bécasse des bois à la croule et un dispositif bioacoustique visant à tester l'individualisation des mâles à partir de leurs signatures vocales.

- **Protocole national**

Le protocole national repose sur un maillage standardisé composé de mailles rectangulaires de 280 ha, correspondant approximativement à la surface utilisée par un ou plusieurs mâles en période de reproduction (Ferrand, 1989). Seules les mailles situées dans le Massif vosgien, comprenant plus de 75 % de surface forestière et au moins une zone ouverte de plus d'un hectare, sont retenues (Réseau Bécasse, 2013).

Les mailles sont sélectionnées aléatoirement et un point d'écoute est positionné dans une zone ouverte, si possible près de leur centre, afin de limiter les doubles comptages entre mailles adjacentes (Ferrand, 1989 ; Jobard, 2025). Les mailles déjà suivies par l'Office français de la biodiversité en 2026 sont exclues afin d'éviter le recouvrement des inventaires.

Une stratification par classes altitudinales de 200 m, comprises entre 200 et 1 400 m, est appliquée afin de couvrir les principaux contextes écologiques du massif. La répartition des points sélectionnés est présentée en Annexe 2.

- **Protocole bioacoustique**

Le dispositif bioacoustique repose sur une sélection ciblée de sites présentant une présence connue ou probable de la Bécasse et des conditions favorables à l'enregistrement. Ce choix vise à obtenir un volume de données suffisant pour tester l'individualisation acoustique ; il répond donc à un objectif méthodologique et non de représentativité spatiale.

Les points d'écoute sont espacés d'au moins 10 km afin de limiter le risque de détecter un même individu sur plusieurs sites tout en maintenant une couverture spatiale cohérente à l'echelle du massif (J.-L. Zimmermann, comm. pers.). Leur localisation est présentée en Annexe 1.

2.4.2. Protocole de terrain

- **Conditions communes aux deux dispositifs**

Les inventaires sont réalisés au crépuscule pendant deux heures, de 45 minutes avant le coucher du soleil à 1 h 15 après celui-ci. Cette plage horaire permet de couvrir l'activité crépusculaire de la Bécasse des bois, depuis les premiers départs en croule jusqu'aux derniers contacts de la soirée. Les sessions sont conduites en l'absence de précipitations et par vent faible à nul afin de favoriser la détection auditive et, dans le cadre du protocole bioacoustique, la qualité des enregistrements.

Bien que la Bécasse des bois puisse crouler régulièrement chaque soir pendant le pic de la saison, les conditions météorologiques peuvent modifier son activité et sa détectabilité, en particulier en cas de fortes précipitations ou de vent soutenu (Hoodless et al., 2006 ; Heward et al., 2019 ; Mulhauser et al., 2010a). La standardisation des conditions de terrain vise donc à limiter les variations de détection liées aux conditions atmosphériques (Mulhauser et al., 2010b). Les suivis nationaux sont également réalisés au crépuscule pendant la principale période d'activité de reproduction.

- **Protocole national adapté**

Le protocole national prévoit la réalisation des inventaires entre le 15 mai et le 30 juin. Dans cette étude, la période de suivi est élargie de la mi-avril à la fin juin afin de couvrir une part plus importante de la saison de croule et d'évaluer la variabilité temporelle de l'activité.

L’observateur se positionne au point d’écoute préalablement défini au sein de chaque maille et recense tous les passages de mâles en croule pendant la session. Pour chaque contact, l’heure, le nombre d’individus concernés et le mode de détection, auditif, visuel ou simultanément auditif et visuel, sont consignés sur la fiche d’inventaire présentée en Annexe 3. Le nombre total de contacts correspond au nombre de passages recensés au cours de la session.

Contrairement au protocole national, qui prévoit un seul passage par point d’écoute, trois passages espacés d’au moins sept jours sont réalisés dans le cadre de cette étude, idéalement à raison d’un passage en avril, en mai et en juin. L’élargissement de la période et la répétition des passages visent à déterminer si une session unique permet de caractériser l’activité observée sur un point ou si le nombre de contacts varie sensiblement entre les soirées. L’intérêt de visites répétées et réparties au cours de la saison a également été souligné pour réduire l’influence des conditions propres à une seule soirée (Heward et al., 2019).

- **Protocole bioacoustique**

Sur cinq sites ciblés, les inventaires de croule sont complétés par des enregistrements acoustiques réalisés simultanément. Le matériel utilisé comprend un microphone canon Sennheiser ME66, équipé d’un blimp Røde et d’une bonnette anti-vent de type « DeadWombat », connecté à un enregistreur numérique Zoom H4n. Les enregistrements sont réalisés en mono au format WAV, avec une résolution de 24 bits, une fréquence d’échantillonnage de 48 kHz et un niveau d’enregistrement réglé à 100. Ces paramètres visent à obtenir des signaux de qualité suffisante pour l’analyse ultérieure des spectrogrammes.

Le protocole vise à enregistrer plusieurs émissions vocales par mâle potentiel afin de permettre leur comparaison et leur individualisation. Il s’appuie sur la méthode développée par Jean-Lou Zimmermann et ses collaborateurs dans le canton de Neuchâtel, en Suisse, depuis le début des années 2000. Cette approche associe l’enregistrement des mâles en croule à des observations directes. Le suivi d’individus capturés et équipés de bagues colorées a permis de confronter l’identité visuelle de certains mâles à leur signature acoustique et d’évaluer la stabilité de leurs vocalisations au cours du temps (Zimmermann & Santiago, 2019). Des travaux antérieurs fondés sur des oiseaux connus ou suivis ont notamment montré la stabilité de plusieurs variables acoustiques et leur intérêt pour l’individualisation des mâles.

Cinq passages espacés d’au moins sept jours sont réalisés sur chaque site entre le 15 avril et le 30 juin (Mulhauser et al., 2010b). Cet effort vise à maximiser le nombre de contacts exploitables et à obtenir plusieurs enregistrements d’un même individu potentiel, condition nécessaire à la construction de profils acoustiques robustes. La répétition des sessions permet également de prendre en compte la variabilité journalière de l’activité et de distinguer les mâles régulièrement détectés sur un site de ceux qui ne le sont que ponctuellement. Elle permet enfin de mieux appréhender d’éventuels déplacements intra-saisonniers, certains individus pouvant ne pas être strictement associés au même secteur pendant toute la période de croule (J.-L. Zimmermann, comm. pers.).

Lorsqu’un individu est détecté, l’enregistrement est déclenché immédiatement. Le microphone est orienté vers l’oiseau et suit son déplacement pendant toute la durée du vol de croule, jusqu’à la disparition du signal sonore. Tous les individus contactés sont enregistrés sans sélection afin de ne pas privilégier les passages les plus proches ou les signaux de meilleure qualité.

Les comportements particuliers observés, notamment les vols de transit, les poursuites, les tentatives de pose, les vols atypiques ou les situations impliquant plusieurs mâles, sont notés oralement au cours de l’enregistrement. Ces informations permettent de contextualiser les émissions vocales et de faciliter leur interprétation lors du tri et de l’individualisation des séquences acoustiques.

2.4.3. Analyse et traitement des données

- **Tri et sélection des séquences acoustiques**

Les enregistrements sont triés afin d'isoler les passages de Bécasses en séquences acoustiques, qui constituent les unités d'analyse. Un contact correspond généralement au passage d'un individu et à une séquence. Lorsque deux oiseaux sont distingués au cours d'un même contact, leurs séquences sont différenciées par les lettres « a » et « b ».

Une séquence est considérée comme analysable lorsque les éléments de la strophe peuvent être identifiés et les quatre variables acoustiques mesurées de manière fiable. Les séquences trop courtes, bruitées, éloignées ou comportant des chevauchements non séparables sont écartées.

- **Extraction des variables acoustiques**

Pour chaque séquences acoustique retenue, les variables sont extraites à partir de l'analyse des spectrogrammes à l'aide du logiciel Chirosurf 3.9. Les 4 variables mesurées sur chaque strophe de croule sont les suivantes (Mulhauser et al., 2010a) :

- Le nombre d'éléments « cros » de basse fréquence dans la strophe de parade nuptiale (A)
- L'intervalle de temps en millisecondes entre deux sons « tsit » de haute fréquence supérieure à 5 kHz, correspondant à la durée d'une strophe et à la pause qui suit (B)
- La durée de la strophe de parade nuptiale mesurée à 5 kHz (D)
- Et l'intervalle en millisecondes entre le début et la fin de l'élément « tsit » mesuré à 4,5 kHz (E).

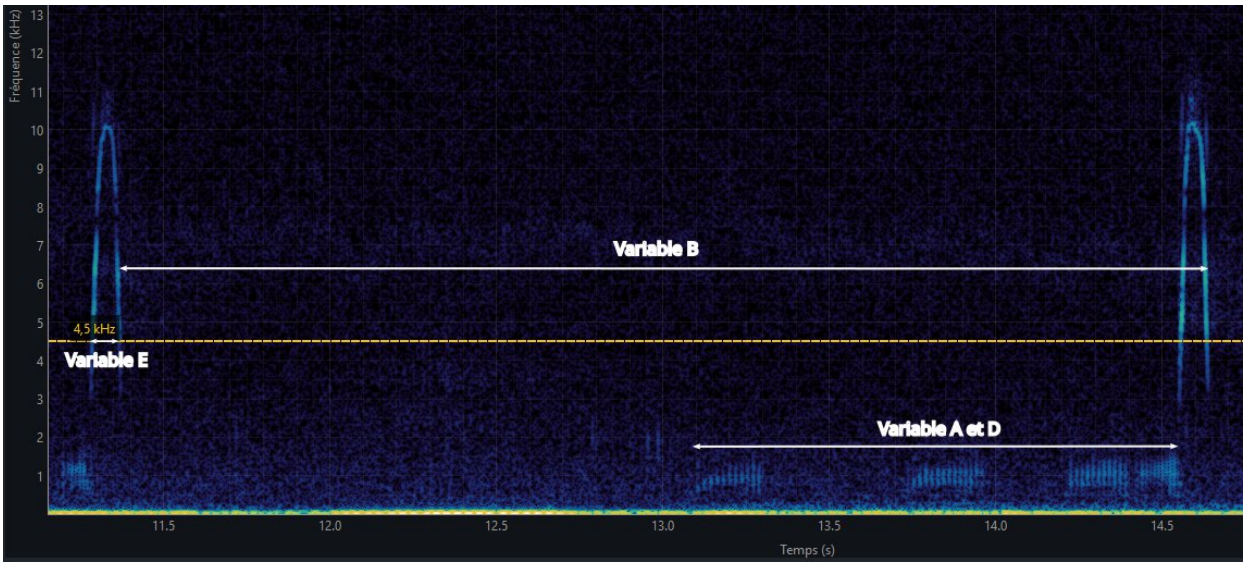


Figure 5 : Illustration des variables acoustiques extraites lors de l'analyse des spectrogrammes

Pour chaque séquence, on calcule la moyenne de chaque variable à partir des strophes analysables. Chaque passage est ainsi caractérisé par un vecteur de quatre valeurs moyennes.

Bien que lors des écoutes le nombre de « cros » apparaît souvent comme une valeur entière (habituellement entre 2 et 6), l'examen des sonagrammes révèle que le dernier « cro » n'est souvent pas complet. Il représente une fraction de la durée des « cros » précédents. Selon la proportion, la séquence est alors codée selon une valeur intermédiaire (par exemple 3,2 ou 3,5 cros) et plus rarement une valeur entière.

Un code synthétique est également attribué à chaque séquence. Il combine le nombre de « cros » et série de lettre correspondant à une classe de durée du « tsit » (Annexe 4). Par exemple, le code « 35T » désigne une strophe comportant en moyenne 3,5 « cro » et un « tsit » d'une durée comprise entre 70 et 80 ms. Cette codification facilite le classement initial et la comparaison des séquences, sans se substituer à l'analyse conjointe des quatre variables. La base de données regroupant les variables extraites, les codes attribués et le classement des séquences par profil individuel est présentée en Annexe 5.

Le nombre de « cros » n'est pas toujours strictement constant chez un même mâle. Certains individus peuvent en effet présenter ponctuellement des strophes comportant un élément supplémentaire ou, au

contraire, un élément en moins. Un mâle émettant généralement 2,2 « cros » peut, par exemple, produire occasionnellement une strophe à 3,2 « cros ». Afin d'intégrer cette variabilité au classement, les différentes valeurs observées chez un même profil sont regroupées dans le code « cros ». Par simplification, les virgules sont supprimées : un individu alternant entre 2,2 et 3,2 « cros » reçoit ainsi le code « 2232 », tandis qu'un individu émettant trois « cros » complets est codé « 30 ». Ce code synthétique permet de conserver l'information relative aux variations observées sans considérer automatiquement chaque changement ponctuel du nombre de « cros » comme la signature d'un individu différent.

- **Classement des séquences acoustiques et individualisation des mâles**

Parmi les séquences analysables, sont considérées comme classables celles dont les caractéristiques permettent un rapprochement cohérent avec un profil acoustique associé à un individu potentiel. L'individualisation repose sur la comparaison conjointe des codes et des quatre variables acoustiques. Un profil individuel est généralement retenu lorsqu'au moins trois séquences présentent des caractéristiques suffisamment concordantes. Lorsqu'une ou deux séquences seulement peuvent être rapprochées, leur nombre est considéré comme insuffisant pour permettre une attribution fiable et elles restent non classées.

Les séquences présentant des valeurs proches pour plusieurs paramètres sont considérées comme susceptibles de provenir d'un même individu. À l'inverse, des différences marquées permettent de distinguer plusieurs mâles. Les profils atypiques (tsit nasillard, durée anormale, nombre de « cros » extrême) facilitent l'attribution. Leur répétition sur plusieurs séquences renforce alors la cohérence du profil individuel.

Les séquences liées à des comportements particuliers (poursuite, agitation, vols atypiques, « Péron ») peuvent différer des émissions habituelles. Elles sont conservées et analysées, mais ne sont pas toujours classées lorsque leurs caractéristiques ne permettent pas une attribution suffisamment fiable.

Le classement repose ainsi sur une analyse comparative multiparamétrique tenant compte des caractéristiques acoustiques et du contexte comportemental. Une incertitude subsiste néanmoins lorsque les profils présentent des valeurs proches ou reposent sur un nombre limité de séquences.

Afin d'évaluer les différences entre les profils distingués, chacune des quatre variables est comparée séparément au sein de chaque site. Pour les sites comprenant au moins trois profils, des tests de Kruskal-Wallis sont d'abord réalisés. Lorsqu'un test global est significatif, des tests de Wilcoxon deux à deux sont appliqués avec une correction de Holm afin de tenir compte de la multiplicité des comparaisons. Pour le site comprenant seulement deux profils, les variables sont directement comparées à l'aide de tests de Wilcoxon. Les analyses reposent sur les valeurs moyennes calculées pour chaque séquence. Les valeurs manquantes sont exclues uniquement de l'analyse de la variable concernée.

En complément des quatre variables quantitatives, le classement tient compte de plusieurs caractéristiques qualitatives visibles sur les spectrogrammes. Ces critères sont notamment mobilisés lorsque deux profils présentent le même code « cros » et la même classe de durée du « tsit ». Deux mâles possédant, par exemple, le code « 32LT » peuvent être différenciés par le rythme d'émission des « cros », par leur espacement ou par la présence sporadique d'une irrégularité affectant l'un de ces éléments.

La forme du « tsit » fournit également des informations complémentaires. Son inclinaison, la disposition et la connexion de ses composantes spectrales ainsi que certaines formes particulières peuvent contribuer à distinguer les profils. Les « bâtons » constituant le « tsit » peuvent notamment être reliés en tunnel ou en dents de scie. Certains « tsits » nasillards présentent quant à eux une ouverture centrale évoquant la forme d'une cheminée de centrale nucléaire. Ces caractéristiques qualitatives ne se substituent pas aux quatre mesures acoustiques, mais complètent leur interprétation dans le cadre du classement multiparamétrique des séquences. Elles doivent être observées de façon répétée sur plusieurs séquences avant d'être considérées comme caractéristiques d'un profil individuel.

- **Analyse de la relation entre le nombre de contacts et le nombre d’individus**

La relation entre le nombre de contacts et le nombre minimal d’individus acoustiquement distingués par session est testée par corrélation de Spearman. Ce test est retenu en raison du caractère discret des données et afin de ne pas supposer une relation linéaire entre les deux variables. Un modèle linéaire simple est également ajusté afin de décrire la tendance observée dans le jeu de données.

Les nombres théoriques de mâles sont ensuite calculés à partir de l’équation de Hoodless et al., utilisée dans le cadre du protocole national de suivi de la Bécasse des bois à la croule : $W = 0{,}74 \times R^{0{,}708}$ *où* W désigne le nombre estimé de mâles et R le nombre de contacts recensés. Ces estimations sont comparées au nombre d’individus acoustiquement distingués à l’aide d’un test de Wilcoxon apparié. Le biais moyen, l’erreur absolue moyenne et l’erreur quadratique moyenne sont également calculés afin de mesurer les écarts entre les deux séries de valeurs. Le seuil de significativité retenu pour l’ensemble des analyses statistiques est fixé à 5 %.

- **Analyse de la relation entre la température et le nombre de contacts**

La relation entre la température relevée lors de chaque session et le nombre de contacts de Bécasse des bois est évaluée à l’aide d’une corrélation de Spearman. Ce test non paramétrique permet d’étudier le sens et l’intensité de l’association entre les deux variables sans supposer une relation linéaire ni une distribution normale des données.

En complément, une régression segmentée exploratoire est réalisée afin de rechercher une température de rupture correspondant à une modification de la relation entre la température et le nombre de contacts. Le nombre de contacts, variable de comptage surdispersée, est modélisé par régression binomiale négative. L’existence d’un changement de pente est évaluée à l’aide du test de Davies, puis la température de rupture et son intervalle de confiance à 95 % sont estimés à partir du modèle segmenté.

L’ensemble des analyses statistiques est réalisé avec le logiciel R. Le seuil de significativité est fixé à 5 %.

3. Résultats

3.1. Activité de croule et données bioacoustiques

3.1.1. Activité de croule et dynamique temporelle dans le cadre du protocole national adapté

Les trois passages prévus ont été réalisés sur chacun des six points d'écoute, soit un total de 18 sessions conduites entre le 25 mai et le 1er juillet 2026. Au cours de ces sessions, 54 contacts de Bécasse des bois en activité de croule ont été recensés. Au moins un contact a été enregistré lors de 12 sessions sur 18, soit 66,7 % des sessions. L'espèce a été détectée au moins une fois sur chacun des six points d'écoute.

Le nombre de contacts varie fortement selon les points et les soirs d'écoute, avec des valeurs comprises entre 0 et 8 contacts par session. Les nombres cumulés les plus élevés sont observés sur les points BC2605 et BC2601, avec respectivement 16 et 14 contacts. Ils sont suivis par BC2602, avec 10 contacts, et BC2603, avec 8 contacts. Les points BC2604 et BC2606 présentent les nombres cumulés les plus faibles, avec 3 contacts chacun.

La répartition temporelle des contacts diffère également entre les passages. Le premier passage totalise 24 contacts sur l'ensemble des points, contre 20 lors du deuxième et 10 lors du troisième. Cette diminution globale ne se retrouve cependant pas de manière uniforme sur tous les points. Sur BC2603, le nombre de contacts diminue progressivement au cours des trois passages, passant de 5 à 2 puis à 1 contact. Sur BC2601 et BC2602, le nombre maximal de contacts est enregistré lors du deuxième passage, avec respectivement 8 et 6 contacts, alors qu'aucun contact n'est recensé lors du troisième. À l'inverse, sur BC2604, les trois contacts sont exclusivement enregistrés au cours du dernier passage.

La régularité de détection varie elle aussi selon les points. Au moins un contact est recensé au cours de chacun des trois passages sur BC2603 et BC2605. L'espèce est détectée lors de deux passages sur trois sur BC2601 et BC2602, mais au cours d'un seul passage sur BC2604 et BC2606. Le détail du nombre de contacts et des dates associées à chaque session est présenté en Annexe 6, tandis que leur répartition par point et par passage est illustrée dans la Figure 6.

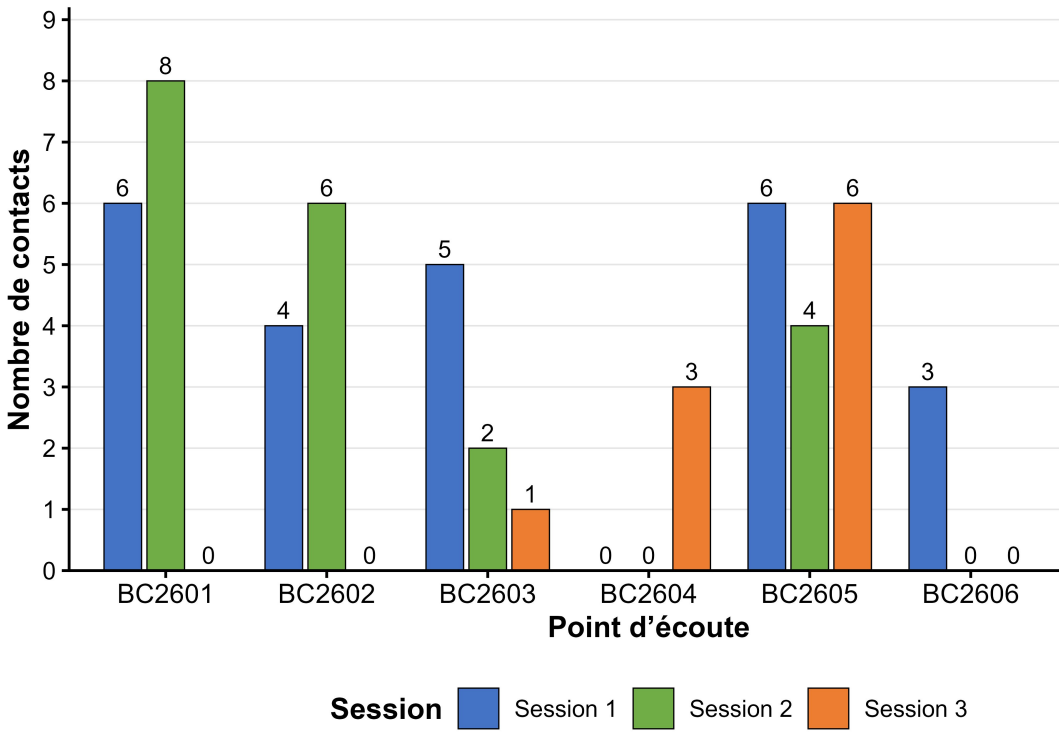


Figure 6 : Nombre de contacts de Bécasse des bois recensés sur les six points d'écoute au cours des trois passages du protocole national adapté.

3.1.2. Activité de croule et exploitabilité des données issues du protocole bioacoustique

3.1.2.1. Contacts détectés et répartition par site

Dans le cadre du protocole bioacoustique, les cinq passages prévus ont été réalisés sur chacun des cinq sites, soit un total de 25 sorties. Au cours de ces sessions, 228 contacts de Bécasse des bois en activité de croule ont été recensés. Leur répartition varie selon les sites et les sessions (Figure 7). Les nombres les plus élevés sont enregistrés à la Tourbière de Rouge Feigne et à Noir Rupt, avec respectivement 67 et 63 contacts. Ces deux sites regroupent ainsi 57,0 % de l'ensemble des contacts recensés. La Tourbière de Rouge Feigne présente une activité relativement régulière au cours du suivi, tandis que les autres sites montrent des variations plus marquées entre les sessions. Le maximum est observé à Noir Rupt lors de la première session, avec 21 contacts. À l'inverse, aucun contact n'est recensé lors de la dernière session à la Tourbière des Charmes et à La Pierre le Lièvre.

Les résultats synthétiques par site sont présentés dans le Tableau 1, tandis que le détail par site et par sortie est fourni en Annexe 7.

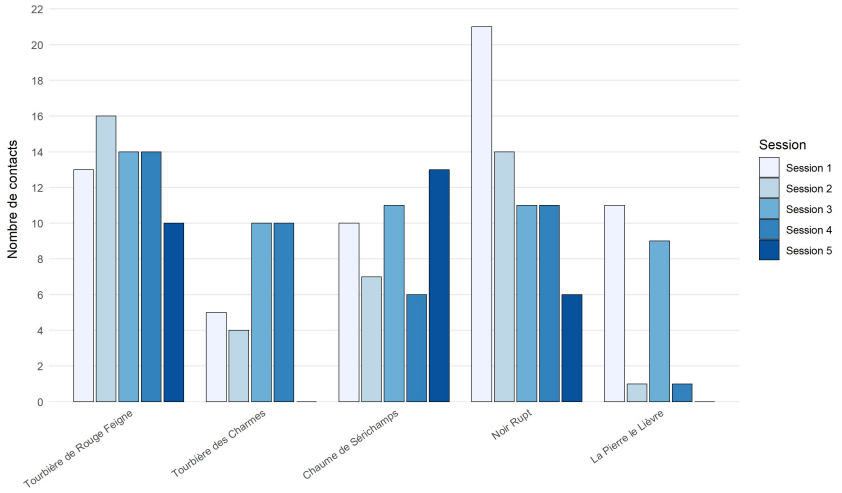


Figure 7 : Nombre de contacts de Bécasse des bois recensés par site au cours des cinq sessions du protocole bioacoustique.

3.1.2.2. Exploitabilité des séquences acoustiques

Sur les 228 contacts recensés, 185 séquences acoustiques ont pu être analysées, soit 81,1 %. Une séquence correspond à une unité sonore exploitable pour l'extraction des variables acoustiques. Parmi les 185 séquences analysées, 178 ont été considérées comme classables, soit 96,2 %. Seules sept séquences, représentant 3,8 % des séquences analysées, n'ont donc pas pu être rattachées de manière suffisamment fiable à un profil acoustique. Les séquences classables représentent 78,1 % de l'ensemble des contacts recensés. Les taux obtenus varient selon les sites. La part de séquences analysées est comprise entre 75,9 et 95,5 %, tandis que le taux de classement varie de 81,0 à 100 % selon les sites (Tableau 1). La répartition détaillée des séquences non classées par site et par session est présentée en Annexe 7.

Site	Contacts recensés	Séquences analysées	Séquences classables	Taux de séquences analysées	Taux de classement des séquences analysées
Tourbière de Rouge Feigne	67	54	54	80,6%	100%
Tourbière des Charmes	29	22	22	75,9%	100%
Chaume de Sérichamps	47	36	36	76,6%	100%
Noir Rupt	63	52	49	82,5%	94,2%
La Pierre le Lièvre	22	21	17	95,5%	81,0%
TOTAUX	228	185	178		

Tableau 1 : Synthèse des contacts recensés, des séquences acoustiques analysées et classables par site dans le cadre du protocole bioacoustique. Le taux de séquences analysées correspond au rapport entre le nombre de séquences analysées et le nombre de contacts recensés. Le taux de classement correspond au rapport entre le nombre de séquences classables et le nombre de séquences analysées.

3.1.2.3. Individualisation acoustique des mâles

L'analyse des séquences classables a permis d'attribuer les 178 séquences acoustiques à 14 profils distincts, correspondant au nombre minimal d'individus acoustiquement distingués dans le cadre du protocole bioacoustique. La répartition de ces profils varie selon les sites, avec cinq individus distingués à la Chaume de Sérichamps, trois à la Tourbière de Rouge Feigne, trois à Noir Rupt, deux à La Pierre le Lièvre et un à la Tourbière des Charmes.

Le nombre de séquences attribuées par individu est variable, avec des valeurs comprises entre 2 et 42 séquences. Les individus présentant le plus grand nombre de séquences attribuées sont R1, avec 42 séquences, N2, avec 26 séquences, C1, avec 22 séquences, et N1, avec 20 séquences. À l'inverse, certains profils reposent sur un nombre plus limité de séquences, notamment S5, N3, S3, P2 et R3, avec respectivement 2, 3, 4, 5 et 5 séquences attribuées. Le profil S5 a été retenu malgré un nombre limité de séquences, en raison de son observation simultanée avec un autre individu et de sa signature acoustique particulière par rapport aux autres profils du même site.

Les distributions des quatre variables acoustiques diffèrent significativement entre les profils des sites comprenant au moins trois individus. Les tests de Kruskal-Wallis sont significatifs pour l'ensemble des variables sur les sites N, R et S ($p < 0,01$ dans tous les cas). Sur le site P, les tests de Wilcoxon mettent également en évidence des différences significatives entre les deux profils pour les quatre variables analysées ($p < 0,05$).

Les comparaisons deux à deux avec correction de Holm montrent que 16 des 17 paires de profils comparées au sein d'un même site diffèrent significativement pour au moins une variable acoustique. Parmi elles, trois paires diffèrent pour les quatre variables, quatre pour trois variables et neuf pour une ou deux variables. Seule la paire S3–S5 ne présente aucune différence significative pour les variables considérées séparément. La distinction des profils repose donc sur des paramètres variables selon les individus comparés, plutôt que sur une variable acoustique systématiquement discriminante. La distribution des variables pour les 14 profils distingués est présentée en Figure 8. Les résultats des tests globaux et des comparaisons deux à deux sont respectivement présentés en Annexes 8 et 9.

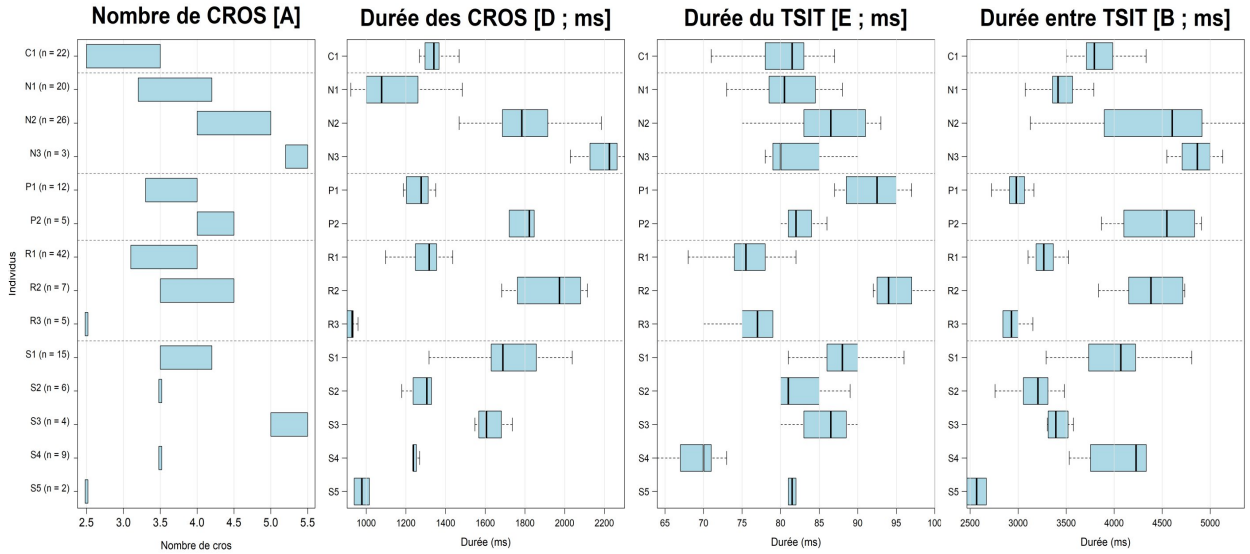


Figure 8 : Distribution des variables acoustiques chez les individus acoustiquement distingués dans le cadre du protocole bioacoustique. Les lettres A, B, D et E désignent les variables pour lesquelles une différence significative entre les profils a été mise en évidence à l'aide de tests de Wilcoxon avec correction de Holm ($p < 0,05$). Les effectifs indiqués à côté des codes des individus dans le graphique A correspondent au nombre de séquences classables attribuées à chacun d'entre eux.

3.2. Dynamique temporelle et fréquence de détection des individus acoustiquement distingués

La dynamique de détection des individus acoustiquement distingués a été étudiée à partir du nombre de passages au cours desquels chaque profil a été détecté et du nombre de séquences qui lui ont été attribuées. Les résultats sont présentés dans le Tableau 2.

Site	Individu	Nombre de sortie ou détectées	Fréquence de détection
Chaume de Sérichamps	S1	4	80%
Chaume de Sérichamps	S2	4	80%
Chaume de Sérichamps	S3	2	40%
Chaume de Sérichamps	S4	4	80%
Chaume de Sérichamps	S5	2	40%
La Pierre le Lièvre	P1	2	40%
La Pierre le Lièvre	P2	3	60%
Noir Rupt	N1	4	80%
Noir Rupt	N2	5	100%
Noir Rupt	N3	2	40%
Tourbière de Rouge Feigne	R1	5	100%
Tourbière de Rouge Feigne	R2	2	40%
Tourbière de Rouge Feigne	R3	3	60%
Tourbière des Charmes	C1	4	80%

Tableau 2 : Fréquence de détection et nombre de séquences attribuées aux profils acoustiques distingués sur chaque site.

Le nombre cumulé d'individus distingués évolue différemment selon les sites. À la Tourbière de Rouge Feigne, à La Pierre le Lièvre et à la Tourbière des Charmes, le nombre total d'individus finalement distingués est atteint dès le premier passage. À la Chaume de Sérichamps, il passe de trois individus au premier passage à quatre au deuxième, puis à cinq au quatrième passage. À Noir Rupt, deux individus sont détectés au cours des deux premiers passages, puis un troisième à partir du troisième passage. Au terme du quatrième passage, le nombre cumulé d'individus distingués n'augmente plus sur aucun des sites suivis (Figure 9).

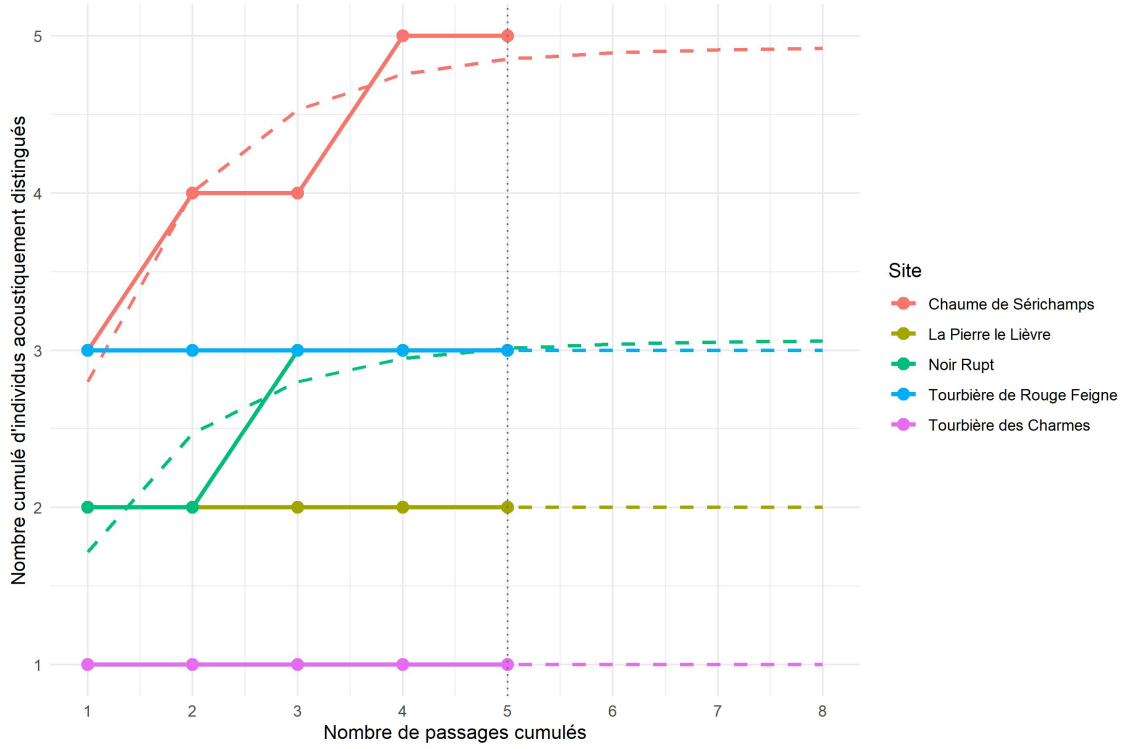


Figure 9 : Courbes d'accumulation du nombre d'individus acoustiquement distingués en fonction du nombre de passages réalisés.
Les lignes pleines représentent le nombre cumulé d'individus distingués au cours des cinq passages. Les lignes pointillées correspondent à une extrapolation indicative jusqu'à huit passages obtenue à partir d'un modèle asymptotique.

La contribution des individus au nombre de séquences classables varie également au sein des sites. R1 regroupe 77,8 % des séquences classables de la Tourbière de Rouge Feigne, P1 70,6 % de celles de La Pierre le Lièvre et N2 53,1 % de celles de Noir Rupt. À la Tourbière des Charmes, l'ensemble des séquences classables est attribué à C1, seul individu distingué sur ce site. À la Chaume de Sérichamps, les contributions sont davantage réparties entre les cinq individus, avec des valeurs comprises entre 5,6 % pour S5 et 41,7 % pour S1. Le détail du nombre de séquences attribuées à chaque individu lors des cinq passages est présenté dans le Tableau 3.

Site	Individu	Passage 1	Passage 2	Passage 3	Passage 4	Passage 5	TOTAL
Chaume de Sérichamps	S1	2	0	6	3	4	15
Chaume de Sérichamps	S2	1	2	1	0	2	6
Chaume de Sérichamps	S3	2	2	0	0	0	4
Chaume de Sérichamps	S4	0	3	1	1	4	9
Chaume de Sérichamps	S5	0	0	0	1	1	2
La Pierre le Lièvre	P1	7	0	5	0	0	12
La Pierre le Lièvre	P2	3	1	1	0	0	5
Noir Rupt	N1	7	5	3	5	0	20
Noir Rupt	N2	8	6	5	3	4	26
Noir Rupt	N3	0	0	2	1	0	3
Tourbière de Rouge Feigne	R1	5	12	13	8	4	42
Tourbière de Rouge Feigne	R2	4	0	0	3	0	7
Tourbière de Rouge Feigne	R3	2	1	2	0	0	5
Tourbière des Charmes	C1	3	3	9	7	0	22

Tableau 3 : Nombre de séquences attribuées à chaque individu acoustiquement distingué au cours des cinq passages réalisés sur chaque site.

3.3. Relation entre le nombre de contacts et le nombre d'individus acoustiquement distingués

Une corrélation de Spearman met en évidence une relation positive significative entre le nombre de contacts recensés au cours d'une session et le nombre d'individus acoustiquement distingués ($\rho = 0{,}563$; p-value = 0,003 ; n = 25). La fonction de puissance ajustée aux données s'écrit comme suit : Nombre d'individus = $1{,}059 \times$ Nombre de contacts$^{0{,}293}$.

Les nombres d'individus théoriques ont ensuite été calculés à partir de l'équation de Hoodless et al., utilisée dans le cadre du protocole national de suivi de la Bécasse des bois à la croule : $W = 0{,}74 \times R^{0{,}708}$, où W correspond au nombre estimé de mâles et R au nombre de contacts recensés. Pour les 25 sessions étudiées, les valeurs calculées avec cette équation sont en moyenne supérieures aux nombres d'individus acoustiquement distingués. Le biais moyen, calculé comme la différence entre le nombre d'individus distingués et le nombre estimé, est de −1,515 individu. L'erreur absolue moyenne est de 1,592 individu et l'erreur quadratique moyenne de 1,972 individu. Le test de Wilcoxon apparié met en évidence une différence significative entre les deux séries de valeurs (V = 10 ; p-value = 0,000104).

La relation observée entre le nombre de contacts et le nombre d'individus acoustiquement distingués, ainsi que les valeurs estimées par l'équation de Hoodless et al., sont présentées dans la Figure 10.

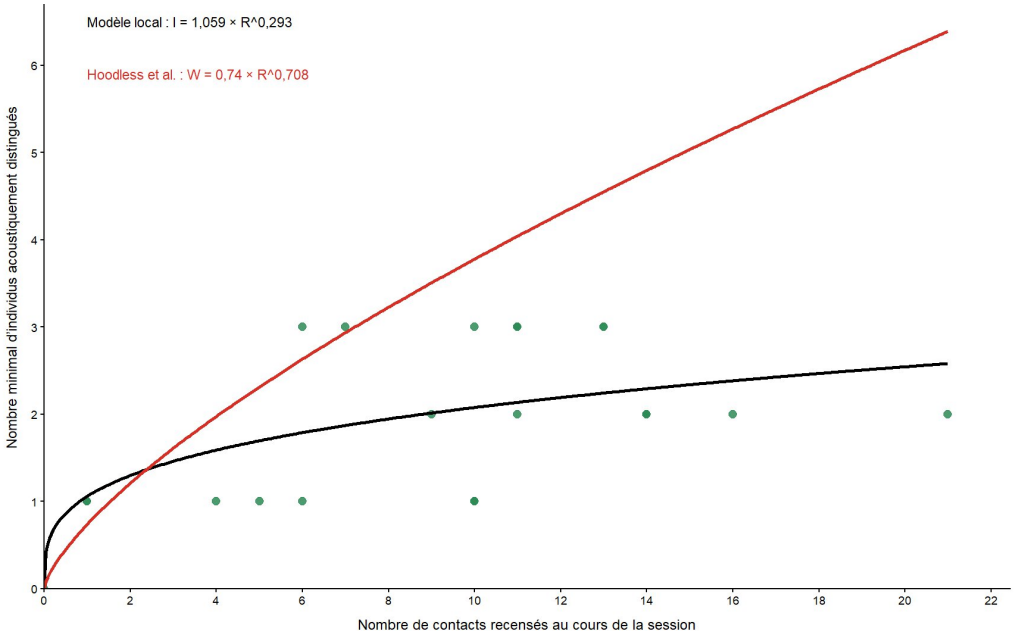


Figure 10 : Relation entre le nombre de contacts et le nombre minimal d'individus acoustiquement distingués dans le cadre du protocole bioacoustique. Les points verts représentent les 25 sessions d'écoute. La courbe noire correspond à la fonction de puissance $I = 1{,}059 \times R^{0{,}293}$, ajustée aux données de l'étude, *où I* désigne le nombre minimal d'individus acoustiquement distingués et *R* le nombre de contacts recensés. La courbe rouge représente les valeurs estimées à partir de l'équation de Hoodless et al. ($W = 0{,}74 \times R^{0{,}708}$), *où W* correspond au nombre estimé de mâles.

3.4. Relation entre l’activité de croule et la température

La relation entre la température et le nombre de contacts a été étudiée à partir des 43 sessions réalisées dans le cadre des deux protocoles. Les températures relevées sont comprises entre 1 et 31 °C, tandis que le nombre de contacts varie de 0 à 21 par session. Le détail des dates, des températures et des nombres de contacts enregistrés au cours de chaque session est présenté en Annexe 10.

Une corrélation de Spearman met en évidence une association négative significative entre la température et le nombre de contacts ($\rho = -0{,}613$; $p < 0{,}001$; $n = 43$). Les sessions réalisées aux températures les plus élevées tendent ainsi à présenter un nombre plus faible de contacts.

L’analyse exploratoire de la relation met également en évidence une modification significative de la pente (test de Davies, $p = 0{,}0016$). La température de rupture est estimée à 25,13 °C, avec un intervalle de confiance à 95 % compris entre 23,43 et 26,82 °C. En dessous de cette valeur, le nombre moyen de contacts présente une diminution estimée à 4,0 % par degré supplémentaire. Au-dessus de la rupture, cette diminution est plus marquée et atteint 61,3 % par degré. Cette dernière estimation doit toutefois être considérée avec prudence en raison du nombre limité de sessions réalisées aux températures les plus élevées.

Le modèle segmenté présente un meilleur ajustement aux données que le modèle sans rupture, avec des AIC respectifs de 232,53 et 242,95. La différence d’AIC de 10,42 est ainsi favorable au modèle segmenté. La relation entre la température et le nombre de contacts ainsi que la température de rupture estimée sont présentées en Figure 11.

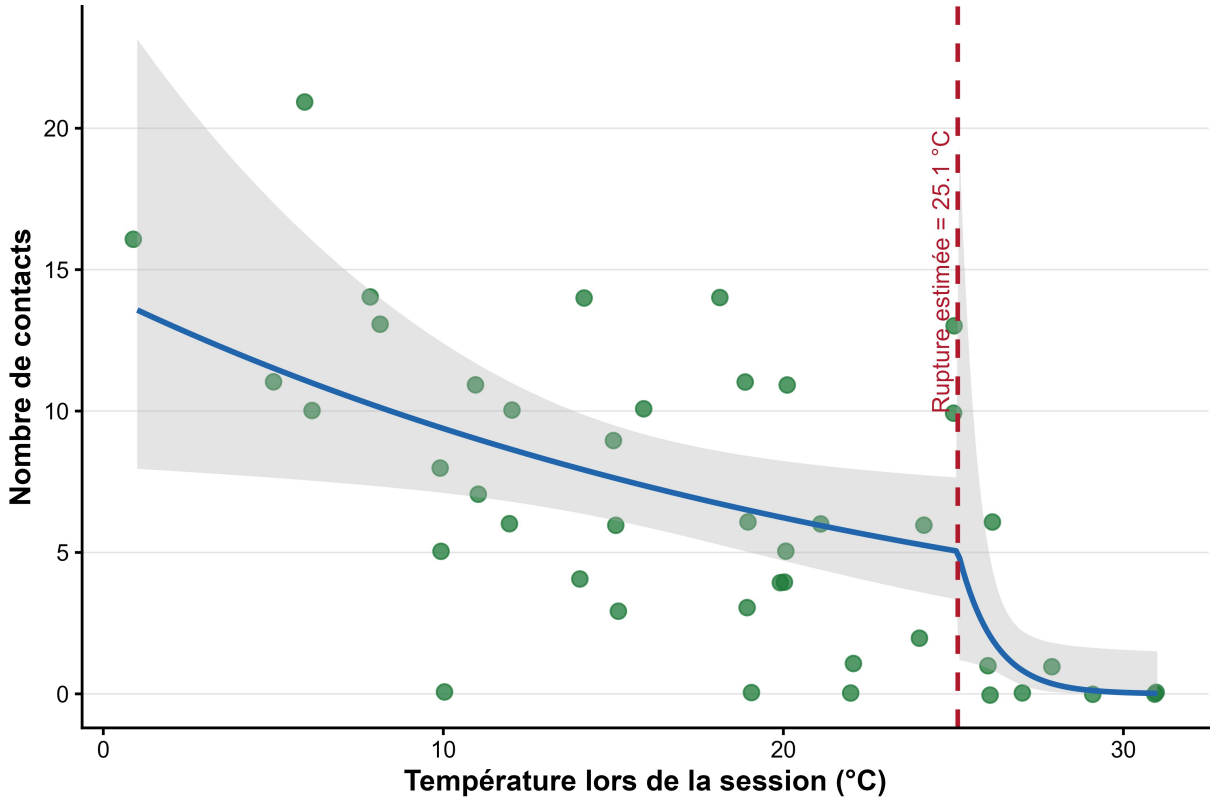


Figure 11 : Relation entre la température et le nombre de contacts de Bécasse des bois au cours des sessions d’écoute.
Les points représentent les 43 sessions réalisées dans le cadre des deux protocoles. La courbe bleue correspond aux prédictions du modèle segmenté et la zone grisée à leur intervalle de confiance à 95 %. La ligne verticale rouge indique la température de rupture estimée à 25,13 °C.

4. Discussion

4.1. Robustesse des estimations issues des contacts de croule

4.1.1. Relation entre le nombre de contacts et le nombre d'individus

La relation positive observée entre le nombre de contacts et le nombre d'individus acoustiquement distingués indique que les sessions présentant une activité de croule élevée tendent à concerner davantage de mâles. Cette relation reste toutefois limitée, puisque le nombre de contacts n'explique qu'une partie de la variation du nombre d'individus. Un même mâle peut effectuer plusieurs passages au cours d'une session, tandis que plusieurs individus peuvent n'être contactés qu'un faible nombre de fois. Le nombre de contacts renseigne donc principalement sur l'intensité de l'activité de croule et ne peut pas être directement assimilé à un effectif.

L'équation exploratoire obtenue dans cette étude décrit uniquement la relation observée à partir des 25 sessions réalisées en 2026. Le faible nombre de sites et d'observations ne permet pas de l'extrapoler à l'ensemble du Massif vosgien, ni à d'autres territoires. Sa validation nécessiterait l'acquisition de données sur davantage de sites et durant plusieurs années, afin de vérifier la stabilité de la relation et de limiter l'influence des conditions propres à une seule saison de suivi.

L'équation de Hoodless et al., utilisée dans le cadre du protocole national pour estimer le nombre de mâles à partir du nombre de contacts, produit ici des valeurs supérieures à celles obtenues par individualisation acoustique. Cet écart ne remet pas en cause sa validité dans son contexte initial, mais montre qu'elle ne s'ajuste pas directement aux données de la présente étude. Cette équation a été calibrée à partir de données britanniques, dans des conditions écologiques et méthodologiques susceptibles de différer de celles rencontrées dans le Massif vosgien. La configuration des sites, la détectabilité des oiseaux, leur activité de croule et la manière de comptabiliser les contacts peuvent notamment modifier la relation entre le nombre de contacts et le nombre d'individus.

Ces résultats invitent donc à la prudence lors de l'application directe de cette équation au contexte vosgien. L'individualisation bioacoustique apporte une information complémentaire en permettant de distinguer le nombre de contacts enregistrés du nombre minimal de mâles détectés. Une calibration locale fondée sur un jeu de données plus important et pluriannuel serait cependant nécessaire avant de proposer une relation adaptée au Massif vosgien.

4.1.2. Variabilité temporelle de l'activité de croule et influence potentielle de la température

Les deux protocoles mettent en évidence une variabilité importante de l'activité de croule entre les sessions réalisées sur un même point. Dans le protocole national adapté, le nombre de contacts varie de 0 à 8 par soirée et l'espèce n'est détectée que lors de 12 des 18 sessions. Certains points présentent des contacts lors des trois passages, tandis que d'autres ne permettent de détecter l'espèce qu'une seule fois. Le protocole bioacoustique montre une variabilité comparable, avec une activité relativement régulière sur certains sites et de fortes fluctuations sur d'autres. Ces résultats montrent qu'une session isolée ne reflète pas nécessairement l'activité observée sur l'ensemble de la période de suivi. Cette variabilité peut aussi relever du contexte reproducteur, la présence d'une femelle dans le secteur peut attirer des mâles périphériques, augmentant temporairement le nombre de contacts sans modifier le noyau d'individus localement présents. (J.-L. Zimmermann, comm. pers.)

L'individualisation acoustique confirme que cette variabilité ne concerne pas uniquement le nombre de contacts. Certains mâles sont détectés à chacune des cinq sessions, alors que d'autres ne le sont que lors de deux passages. Une absence ponctuelle de contact ne traduit donc pas nécessairement une absence de l'espèce ou de l'individu, mais peut résulter d'une activité plus faible, d'un passage hors de portée ou d'une variation de la détectabilité. Les estimations fondées sur une seule soirée sont ainsi sensibles aux fluctuations de l'activité, ce qui justifie la répétition des passages (Heward et al., 2019 ; Bristow et al., 2023).

La température peut expliquer une partie de cette variabilité. Les sessions ayant été réalisées sans précipitations et par vent faible à nul, l'influence de ces deux facteurs a été limitée. La corrélation négative observée indique que les soirées les plus chaudes tendent à présenter moins de contacts. L'analyse

exploratoire met en évidence un changement de pente autour de 25 °C, au-delà duquel la diminution de l'activité devient plus marquée. Ce résultat suggère que les températures élevées peuvent réduire l'activité de croule ou, plus largement, la probabilité de détecter les mâles. Les travaux de Heward et al. (2019) montrent également que les conditions météorologiques peuvent modifier l'activité de croule et les nombres de contacts obtenus lors des inventaires. Ils soulignent notamment l'influence du vent, de la température et des précipitations précédant les sessions.

La température de rupture estimée à 25,13 °C ne doit toutefois pas être considérée comme un seuil biologique strict. Elle repose sur une seule saison de suivi et sur un nombre limité de soirées avec des températures supérieures à 25 °C. En outre, la baisse des contacts en fin de saison peut aussi résulter d'une évolution phénologique de la reproduction (démarrage plus précoce de la croule, diminution de la disponibilité de femelles réceptives), et ne pas être exclusivement d'origine thermique. La diminution particulièrement marquée observée au-delà de cette valeur est donc probablement accentuée par quelques sessions chaudes comportant peu ou pas de contacts. Des données supplémentaires seraient nécessaires pour vérifier si ce point de rupture se maintient au cours d'autres années et sur un plus grand nombre de sites.

L'association observée ne permet pas d'attribuer la diminution des contacts à la seule température. Les températures les plus élevées ayant principalement été enregistrées en fin de période de suivi, l'effet thermique peut être confondu avec une évolution saisonnière de l'activité de croule. La régularité de cette activité peut également dépendre du comportement reproducteur, des déplacements des individus et de différences de détectabilité entre les sites. En particulier, un mâle cantonné à proximité du point d'écoute en présence d'une femelle peut concentrer temporairement son activité dans ce secteur et en défendre l'accès face à d'autres mâles. Cette situation peut accroître ponctuellement le nombre de contacts sans traduire une augmentation du nombre d'individus présents. Des variations saisonnières de l'activité et de l'utilisation de l'espace par les mâles ont déjà été observées, ce qui invite à considérer conjointement les effets de la météo, de l'avancement de la saison et du contexte reproducteur (Bristow et al., 2023 ; J.-L. Zimmermann, comm. pers.).

L'activité observée au crépuscule pourrait également être influencée par les événements survenus au cours de la croule matinale. Les interactions entre mâles, la présence d'une femelle ou les déplacements réalisés à l'aube pourraient modifier l'intensité et la répartition de l'activité enregistrée le soir. Cette hypothèse constitue une source supplémentaire de variabilité entre les sessions crépusculaires, mais elle n'a pas été testée directement dans la présente étude, qui portait uniquement sur les inventaires du soir. Les données obtenues à l'aide d'enregistreurs acoustiques automatiques apportent néanmoins des éléments descriptifs sur la succession des périodes d'activité matinale et crépusculaire (J.-L. Zimmermann, comm. pers.).

Ces résultats renforcent finalement l'intérêt de répéter les inventaires. Même lorsque les conditions de vent et de précipitations sont standardisées, le nombre de contacts peut varier selon la température, la période de la saison et le comportement des individus. Plusieurs passages répartis au cours de la période de croule permettent donc de réduire le risque qu'une soirée peu favorable conduise à sous-évaluer l'activité d'un site. Cette recommandation rejoint celle de Heward et al. (2019), qui préconisent au moins trois visites par site, réparties sur la période principale de croule, afin de limiter l'influence des conditions propres à une seule soirée.

4.2. Apport et critique de la méthode bioacoustique

4.2.1. Pouvoir discriminant des variables acoustiques

Les comparaisons statistiques confortent la différenciation des profils acoustiques retenus. Les quatre variables présentent des différences significatives entre les profils à l'échelle de chaque site, et 16 des 17 paires locales sont différenciées par au moins un paramètre. Ce résultat montre que les variables mesurées possèdent un réel pouvoir discriminant, mais que celui-ci varie selon les profils comparés. Aucune variable ne permet en effet de distinguer systématiquement toutes les paires, ce qui confirme l'intérêt d'une analyse conjointe des paramètres acoustiques plutôt que l'utilisation d'un critère unique.

L'absence de différence significative entre S3 et S5 ne permet pas de conclure à l'identité des deux profils. Elle indique seulement que les données disponibles ne mettent pas en évidence de différence pour les quatre variables considérées séparément. Ce résultat doit être interprété avec prudence, notamment en raison du

faible nombre de séquences attribuées à S5. Plus généralement, les tests renforcent la cohérence du classement acoustique, mais ne constituent pas une validation indépendante de l'identité réelle des oiseaux, puisque les mêmes variables ont servi à constituer les profils puis à les comparer. Une validation fondée sur des individus marqués ou identifiés visuellement resterait nécessaire pour mesurer précisément la fiabilité de la méthode.

4.2.2. Effort de suivi et nombre minimal de passages

L'un des objectifs du protocole bioacoustique était de déterminer si la répétition des passages permettait d'améliorer la détection des individus et d'obtenir un nombre suffisant de séquences pour permettre leur individualisation. Les résultats montrent que le nombre cumulé d'individus acoustiquement distingués n'atteint pas toujours son maximum dès le premier passage (Figure 9).

Ces résultats indiquent qu'un passage unique aurait permis de détecter l'ensemble des individus distingués sur certains sites, mais aurait conduit à une sous-estimation sur d'autres. Dans le cas de la Chaume de Sérichamps, deux individus sur cinq n'auraient pas été détectés avec un seul passage. À Noir Rupt, un individu sur trois aurait également été manqué. La répétition des passages apparaît donc importante pour limiter le risque de sous-détection, en particulier sur les sites où l'activité des mâles est plus variable ou lorsque certains individus ne sont contactés que ponctuellement.

La courbe d'accumulation tend vers un plateau sur l'ensemble des sites au terme des cinq passages réalisés (Figure 9). L'extrapolation jusqu'à huit passages suggère que des passages supplémentaires auraient probablement apporté peu d'individus supplémentaires sur la majorité des sites. Cette interprétation doit cependant rester prudente, car l'extrapolation repose sur un nombre limité de passages et de sites. Elle ne permet donc pas d'affirmer avec certitude que tous les individus présents auraient été détectés, mais elle suggère que l'effort de cinq passages constitue un compromis pertinent entre robustesse de détection et faisabilité de terrain.

Le choix de réaliser cinq passages présente également l'intérêt de couvrir une partie importante de la période de croule. Cette répétition permet de limiter le risque de ne suivre qu'une fenêtre temporelle trop restreinte, qui pourrait favoriser la détection d'individus actifs en début de période au détriment d'individus plus tardifs, ou inversement. Elle augmente donc les chances de détecter des profils dont l'activité varie au cours de la saison.

Il convient toutefois de rappeler que la Figure 9 représente une courbe d'accumulation. Un individu détecté une première fois sur un site reste enregistré dans le cumul, même s'il n'est pas redétecté lors des passages suivants. Cette représentation permet donc d'évaluer le nombre total d'individus révélés par l'effort de suivi, mais elle ne renseigne pas directement sur leur régularité de présence. Or, cette distinction est importante, car certains individus peuvent être régulièrement associés à un site d'écoute, tandis que d'autres ne peuvent être contactés que ponctuellement. L'augmentation du nombre de passages permet ainsi non seulement d'améliorer la détection des individus, mais aussi de mieux interpréter leur lien au site suivi.

Au-delà de la simple détection des individus, la répétition des passages est également nécessaire pour obtenir plusieurs séquences exploitables d'un même profil acoustique. Dans cette étude, l'individualisation repose principalement sur la répétition de signatures vocales cohérentes entre plusieurs séquences acoustiques. Un nombre trop faible de passages peut donc limiter la détection de certains individus, mais aussi réduire la fiabilité de leur attribution acoustique. Dans ce contexte, cinq passages semblent constituer un effort pertinent, mais les données disponibles ne permettent pas de déterminer avec précision le nombre minimal de passages nécessaire.

4.2.3. Exploitabilité des séquences acoustiques

Les résultats montrent qu'une part importante des contacts recensés peut être utilisée pour l'analyse bioacoustique. Une perte d'information intervient néanmoins entre la détection sur le terrain et le classement des séquences. Tous les contacts ne donnent pas lieu à une séquence acoustique analysable. Certains passages peuvent être trop éloignés ou trop courts, tandis que le vent, les bruits d'origine anthropique, les vocalisations d'autres espèces ou le chevauchement de plusieurs individus peuvent empêcher l'extraction fiable des variables acoustiques.

Le taux élevé de classement parmi les séquences analysables suggère que la principale difficulté se situe en amont, lors de l'acquisition de signaux de qualité suffisante. Lorsque les strophes sont suffisamment nettes

pour permettre la mesure des variables, elles peuvent généralement être intégrées au processus d'individualisation. La qualité des données dépend donc notamment de la distance de passage des oiseaux, de la configuration du site, de l'orientation du microphone et de la réactivité de l'observateur.

Les différences observées entre les sites peuvent également résulter de ces facteurs. La part élevée de séquences analysables à La Pierre le Lièvre ne s'accompagne pas du taux de classement le plus élevé. L'obtention d'une séquence permettant de mesurer les variables ne garantit donc pas systématiquement son rattachement fiable à un profil individuel.

Dans la perspective d'un suivi à plus grande échelle, la qualité de l'acquisition constitue ainsi un point essentiel. Les inventaires doivent être réalisés dans des conditions météorologiques favorables, comme le prévoit déjà le protocole, et les observateurs doivent être formés à l'utilisation du matériel et au suivi des oiseaux en vol. Le temps nécessaire au tri, à la mesure des variables et au classement des séquences doit également être intégré à la planification. La méthode permet de conserver une part importante des contacts recensés, mais la perte d'information entre les contacts détectés et les séquences classables doit être prise en compte dans l'organisation des futurs suivis.

4.2.4. Régularité de détection et contribution des individus à l'activité acoustique

Au-delà du nombre d'individus distingués, l'approche bioacoustique permet d'examiner leur régularité de détection et leur contribution respective à l'activité acoustique enregistrée. Cette fréquence de détection donne une première indication sur la régularité avec laquelle les individus ont été contactés sur les sites suivis. Elle ne permet toutefois pas, à elle seule, de conclure au degré d'attachement des mâles aux secteurs d'écoute. Un individu détecté régulièrement peut être fortement associé au secteur, mais cette hypothèse ne peut pas être confirmée uniquement à partir de cinq passages. À l'inverse, une détection plus ponctuelle peut correspondre à un individu fréquentant irrégulièrement le site, mais aussi à un mâle présent dont l'activité de croule serait plus faible ou plus variable. Les résultats doivent donc être interprétés comme une mesure de fréquence de détection, et non comme une caractérisation complète de l'utilisation du site.

Cette contribution relative ne doit pas être interprétée comme une dominance territoriale au sens strict. Elle traduit surtout la part de chaque individu dans les séquences exploitables obtenues lors du suivi. Un individu très représenté peut correspondre à un mâle réellement plus actif sur le site, mais aussi à un individu passant plus près du point d'écoute, produisant des signaux de meilleure qualité ou étant plus facilement enregistrable. De la même manière, un individu peu représenté peut être moins actif, plus éloigné, plus difficile à enregistrer ou simplement présent de manière plus ponctuelle.

L'approche bioacoustique permet ainsi de dépasser le simple nombre total de contacts en distinguant la contribution de chaque individu à l'activité enregistrée. Elle apporte une information utile sur la structuration de l'activité de croule au sein d'un site, en distinguant des profils régulièrement détectés et fortement représentés de profils plus ponctuels ou faiblement représentés. Cette lecture reste toutefois prudente et nécessiterait un effort de suivi plus important pour déterminer si ces différences se maintiennent au cours du temps.

4.2.5. Apport quantitatif de la bioacoustique pour l'estimation des effectifs

Le principal apport quantitatif de la bioacoustique réside dans le passage d'un indicateur d'activité à une estimation minimale du nombre de mâles détectés. Le protocole national repose sur le nombre de contacts recensés lors de l'activité de croule, sans permettre de déterminer si plusieurs passages proviennent d'un même individu. À l'inverse, l'analyse des signatures acoustiques a permis, dans cette étude, d'attribuer 178 séquences classables à 14 profils individuels. Cette distinction limite le risque de comptages multiples d'un même mâle et fournit une information plus directement liée au nombre d'individus fréquentant les sites suivis.

Cet apport est confirmé par la relation seulement partielle observée entre le nombre de contacts et le nombre d'individus. Bien que les sessions comportant davantage de contacts tendent à concerner davantage de mâles, le nombre de contacts n'explique que 32,5 % de la variation du nombre d'individus distingués. De plus, l'équation utilisée dans le cadre du protocole national produit ici des estimations significativement supérieures à celles obtenues par individualisation acoustique. Le nombre de contacts reste donc utile pour suivre l'activité de croule à grande échelle, mais il ne fournit pas à lui seul une estimation précise des effectifs locaux.

La bioacoustique ne remplace toutefois pas nécessairement le protocole national. Ce dernier est plus simple à déployer sur un grand nombre de points et reste adapté au suivi des tendances à grande échelle. La méthode bioacoustique nécessite davantage de passages, du matériel spécialisé et un temps de traitement important. Elle paraît donc particulièrement pertinente pour des suivis locaux approfondis, pour préciser l'interprétation du nombre de contacts ou pour évaluer ponctuellement les estimations issues du protocole national.

5. Limites et biais de l’étude

Cette étude présente plusieurs limites liées à son étendue spatiale et temporelle, ainsi que des biais pouvant influencer la détection des individus et l’interprétation des résultats.

- **Limites et biais communs aux deux dispositifs**

Le nombre restreint de sites suivis et la réalisation de l’étude sur une seule saison limitent la portée des résultats. Ceux-ci permettent une première évaluation des méthodes, mais ne peuvent pas être généralisés à l’ensemble du Massif vosgien. Les conditions météorologiques de la saison étudiée ont également pu influencer l’activité de croule.

Par ailleurs, une absence de contact ne signifie pas nécessairement qu’aucun individu n’est présent. Un mâle peut ne pas être actif pendant la session, passer hors de portée ou ne pas être détecté en raison du relief, de la végétation ou des bruits environnants. Enfin, les deux dispositifs ciblent les mâles en activité de croule et ne permettent donc pas de suivre les femelles, ni de confirmer la nidification ou le succès reproducteur.

- **Limites et biais du protocole bioacoustique**

Les sites bioacoustiques ont été choisis en raison de la présence connue ou probable de l’espèce et de conditions favorables à l’enregistrement. Ce choix, adapté à l’objectif méthodologique, introduit néanmoins un biais de sélection et empêche d’extrapoler les résultats à l’ensemble du massif.

L’individualisation acoustique n’a pas pu être vérifiée par une méthode indépendante, telle que le marquage ou la télémétrie. Une part d’incertitude subsiste donc dans l’attribution des séquences, notamment en raison de la variabilité potentielle des vocalisations. Le risque existe de regrouper plusieurs individus sous un même profil ou, au contraire, de distinguer plusieurs profils émis par un seul mâle.

Par ailleurs, tous les contacts n’ont pas fourni de séquences exploitables et certains individus ne sont représentés que par un faible nombre d’enregistrements. Des mâles présents sur les sites ont ainsi pu ne pas être distingués acoustiquement, conduisant à une sous-estimation du nombre minimal d’individus détectés.

- **Limites et biais du protocole national adapté**

Le comptage des contacts repose directement sur les capacités de l’observateur. Son expérience, son attention et ses capacités auditives peuvent influencer le nombre de contacts recensés. La distance des oiseaux, la configuration du site et les conditions sonores constituent également des sources de variation de la détectabilité.

La principale limite de ce dispositif réside dans l’impossibilité de convertir directement le nombre de contacts en nombre de mâles présents. Un même individu peut générer plusieurs contacts au cours d’une session, tandis que plusieurs individus peuvent n’être détectés qu’un faible nombre de fois. Le protocole renseigne donc principalement sur l’intensité de l’activité de croule et le taux de détection mais ne permet pas d’établir un nombre minimal fiable d’individus. Enfin, le faible nombre de points suivis limite la généralisation des résultats à l’ensemble du Massif vosgien.

- **Mesures de réduction des limites et biais**

Pour le protocole national adapté, la formation des bénévoles permettrait de réduire les différences de détection entre observateurs et d’améliorer la comparabilité des données. Il serait également préférable, lorsque cela est possible, de maintenir un même observateur sur un point d’écoute au cours des différents passages.

Un effort standardisé est nécessaire pour assurer la comparabilité entre les sites. Les cinq passages réalisés constituent ici un compromis opérationnel pertinent, sans que cette étude permette d’établir qu’ils correspondent au nombre optimal de passages. Afin de conserver un effort d’échantillonnage comparable entre les sites, ce nombre de passages doit rester identique pour l’ensemble du dispositif. L’amélioration du protocole repose donc davantage sur l’augmentation du nombre de sites suivis et sur la répétition de l’étude durant plusieurs années. Ces évolutions permettraient d’améliorer la représentativité des résultats et d’évaluer leur stabilité face aux variations interannuelles.

Enfin, bien que l’individualisation réalisée dans cette étude ne puisse pas être vérifiée directement, les travaux de Jean-Lou Zimmermann, fondés notamment sur le suivi d’individus bagués, ont mis en évidence la fiabilité et la pertinence de la méthode bioacoustique. Une faible marge d’erreur peut subsister, mais elle ne remet pas nécessairement en cause l’utilisation de la méthode pour suivre les effectifs et leurs tendances, à condition qu’elle reste limitée et relativement constante dans le temps.

6. Recommandations

Les résultats obtenus conduisent à proposer plusieurs recommandations pour améliorer le suivi de la Bécasse des bois en période de reproduction dans le Massif des Vosges.

Pour le protocole national adapté, la répétition des inventaires apparaît comme essentielle. La variabilité observée entre les soirées montre qu'un passage unique peut conduire à une appréciation incomplète de l'activité d'un point d'écoute. La réalisation d'au moins trois passages espacés dans le temps permettrait de limiter l'influence des conditions propres à une soirée et de mieux caractériser la dynamique saisonnière de la croule. Ces passages devraient être répartis sur la période principale d'activité, tout en conservant une durée, une plage horaire et des conditions météorologiques standardisées. Cette proposition vise à renforcer l'interprétation locale du nombre de contacts et non à remettre en cause l'intérêt du protocole national pour le suivi des tendances à grande échelle. Le maintien d'un plan d'échantillonnage standardisé et de la réalisation des points prévus reste indispensable à la fiabilité de ces estimations.

La température devrait être systématiquement relevée au début et, si possible, à la fin de chaque session. La relation négative observée avec le nombre de contacts suggère qu'elle peut contribuer à la variabilité des résultats. Dans l'attente d'une validation pluriannuelle, il serait prudent d'éviter de concentrer les inventaires lors de soirées particulièrement chaudes, notamment au-delà de 25 °C. Cette valeur ne doit cependant pas être considérée comme un seuil définitif, mais comme une première estimation à confirmer. Le relevé simultané de la date, de la température, du vent, des précipitations récentes et de la nébulosité permettrait de mieux distinguer l'influence respective des conditions météorologiques et de l'avancement de la saison.

La comparabilité des données dépend également de la standardisation des observations. La formation des participants devrait porter sur la reconnaissance des émissions de croule, la distinction des contacts simultanés, l'utilisation des fiches de terrain et le respect de la plage horaire.

Pour le protocole bioacoustique, cinq passages par site constituent un compromis pertinent au regard des résultats obtenus. La courbe d'accumulation atteint un plateau sur l'ensemble des sites, même si les données ne permettent pas d'affirmer que tous les individus présents ont été détectés. La répétition reste nécessaire pour contacter les mâles les plus ponctuels et obtenir plusieurs séquences de qualité suffisante pour consolider leur individualisation.

L'amélioration de la qualité des enregistrements constitue un autre enjeu prioritaire. Le positionnement du microphone, le suivi de l'oiseau pendant son vol et le choix de sites limitant les bruits parasites doivent faire l'objet d'un protocole précis. Une formation commune des opérateurs faciliterait l'harmonisation des pratiques. Le nombre de contacts non analysables pourrait également être réduit par la réalisation d'essais préalables et par la consignation systématique des perturbations acoustiques, de la direction du passage et de la qualité du signal.

L'individualisation devrait continuer à reposer sur la comparaison conjointe de plusieurs variables plutôt que sur un paramètre isolé. Les profils fondés sur un faible nombre de séquences devront rester considérés avec prudence et être prioritairement recherchés lors des passages suivants. À plus long terme, une validation indépendante reposant sur des oiseaux bagués, photographiés ou suivis par télémétrie permettrait d'évaluer les risques de regroupement de plusieurs mâles sous un même profil ou de séparation erronée d'un individu en plusieurs profils. Cette étape est importante avant d'envisager une généralisation de l'individualisation acoustique, dont les applications restent prometteuses mais méthodologiquement exigeantes.

Enfin, la poursuite du suivi sur plusieurs années et l'augmentation du nombre de sites sont indispensables. Un jeu de données pluriannuel permettrait de vérifier la stabilité des signatures acoustiques, de confirmer la température de rupture estimée, de séparer les effets de la météo et de la saison et d'évaluer la variabilité interannuelle des effectifs. Le protocole national pourrait être conservé comme outil principal de suivi spatial, tandis que la bioacoustique serait mobilisée sur un réseau plus restreint de sites de référence. Cette articulation permettrait de combiner la couverture spatiale du comptage des contacts avec la précision locale apportée par l'individualisation acoustique.

7. Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'évaluer la robustesse des contacts de croule comme indicateurs de l'activité et des effectifs reproducteurs de Bécasse des bois dans le Massif des Vosges, ainsi que d'examiner l'intérêt de l'individualisation bioacoustique. La combinaison d'un protocole national adapté et d'un dispositif bioacoustique répété a permis d'étudier conjointement la variabilité temporelle de l'activité, la relation entre contacts et individus et l'exploitabilité des signatures acoustiques.

Les résultats montrent d'abord que le nombre de contacts varie fortement entre les points d'écoute et entre les soirées. Dans le protocole national adapté, l'espèce n'a été détectée que lors de 12 des 18 sessions, bien qu'elle ait été contactée au moins une fois sur chacun des six points. Le protocole bioacoustique révèle également des fluctuations importantes entre les cinq passages, tant dans le nombre de contacts que dans la fréquence de détection des profils individuels. Une session unique ne permet donc pas toujours de rendre compte de l'activité observée sur l'ensemble de la saison. La répétition des inventaires apparaît nécessaire pour réduire le risque de sous-détection et mieux interpréter les résultats obtenus localement.

Une partie de cette variabilité est associée à la température. Le nombre de contacts diminue significativement lorsque celle-ci augmente, et l'analyse exploratoire met en évidence une modification de la relation autour de 25,13 °C. Cette rupture ne constitue toutefois pas un seuil biologique définitif. Elle repose sur une seule saison de suivi et peut être influencée par le faible nombre de soirées très chaudes ainsi que par l'avancement concomitant de la saison. La température doit ainsi être considérée comme un facteur explicatif potentiel parmi d'autres.

Le protocole bioacoustique a permis d'analyser 185 des 228 contacts enregistrés et de classer 178 séquences en 14 profils distincts. Les différences statistiques observées entre la majorité des profils confortent le pouvoir discriminant des variables étudiées. Cette méthode permet ainsi de dépasser le seul comptage des contacts en proposant un nombre minimal de mâles acoustiquement distingués et en renseignant leur régularité de détection. Elle reste néanmoins dépendante de la qualité des enregistrements, de la répétition des séquences et de la pertinence du classement réalisé.

La relation positive entre le nombre de contacts et le nombre d'individus confirme que les soirées les plus actives tendent à concerner davantage de mâles. Elle demeure cependant insuffisante pour assimiler directement les contacts à un effectif, puisqu'elle n'explique qu'une partie de la variation du nombre d'individus distingués. De plus, l'équation utilisée dans le cadre du protocole national produit, dans cette étude, des estimations supérieures à celles issues de l'individualisation acoustique. Ces résultats confirment que le nombre de contacts constitue avant tout un indicateur de l'intensité de la croule, adapté au suivi des tendances, plutôt qu'une mesure directe des effectifs locaux.

L'approche bioacoustique ne doit donc pas être envisagée comme un remplacement du protocole national. Ce dernier demeure mieux adapté à un déploiement standardisé sur un grand nombre de points et au suivi des populations à large échelle. La bioacoustique constitue plutôt une méthode complémentaire, pertinente pour approfondir l'étude de sites de référence, préciser l'interprétation des contacts et contribuer à une calibration locale des estimations.

En définitive, cette étude fournit une première évaluation locale de l'individualisation acoustique de la Bécasse des bois dans le Massif des Vosges. Elle met en évidence son intérêt pour distinguer l'activité enregistrée du nombre minimal de mâles détectés, tout en soulignant la nécessité de répéter les passages et de tenir compte des conditions environnementales. La poursuite du suivi sur davantage de sites et durant plusieurs années, associée à une validation indépendante des profils acoustiques, permettrait de confirmer ces premiers résultats et de développer un dispositif combinant couverture spatiale, robustesse temporelle et précision dans l'estimation des populations nicheuses.

Bibliographie

Baize, D. & Girard, M.-C. 2008. *Référentiel pédologique 2008.* Quae, Versailles.

BirdLife International. 2021. *European Red List of Birds.* Publications Office of the European Union, Luxembourg.

BirdLife International. 2024. *Scolopax rusticola.* The IUCN Red List of Threatened Species.

Boussac, L. 2018. Abondance, distribution et tendance des effectifs nicheurs entre 1998 et 2018. *Bécasse infos*, Lettre d'information du réseau Bécasse n°27, P. 6-7.

Bristow, O., Hoodless, A. N., Heward, C. J., & Aebischer, N. J. (2023). Vocal individuality measures reveal spatial and temporal variation in roding behaviour in Woodcock (*Scolopax rusticola*). *Ibis*, 165, 916–931.

Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., García, A., Pringle, R. M. & Palmer, T. M. 2015. Accelerated modern human-induced species losses: entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, 1: e1400253.

Cowie, R. H., Bouchet, P. & Fontaine, B. 2022. The sixth mass extinction: fact, fiction or speculation? *Biological Reviews*, 97: 640–663.

Cramp, S. & Simmons, K. E. L. (eds.) 1983. *Scolopax rusticola* Woodcock. In: *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa*, Vol. III. Oxford University Press, Oxford: 444–457.

Dirzo, R. & Raven, P. H. 2003. Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources*, 28: 137–167.

Duchaufour, P. 2001. *Introduction à la science du sol. Dunod, Paris.*

Duriez, O., Ferrand, Y., Binet, F. & Corda, E. 2005. Habitat selection of the Eurasian Woodcock in winter in relation to earthworms availability. *Biological Conservation*, 122: 479–490.

Ferrand, Y. 1989. Contribution à l'étude du comportement du mâle de bécasse des bois (*Scolopax rusticola*) en période de reproduction : méthode de dénombrement. Thèse de doctorat, Université de Montpellier, France.

Ferrand, Y. & Gossmann, F. 1995. *La Bécasse des bois.* Hatier, Paris.

Ferrand, Y. & Gossmann, F. 2009. *La Bécasse des bois : histoire naturelle.* Éditions Effet de lisière, Paris.

Granval, P. 1987. Régime alimentaire diurne de la Bécasse des bois (*Scolopax rusticola*) en hivernage : approche quantitative. *Gibier Faune Sauvage*, 4: 125–147.

Granval, P. 1988a. Variations du régime alimentaire diurne de la Bécasse des bois (*Scolopax rusticola* L.) en hivernage. In: *3ème symposium européen sur la Bécasse et la Bécassine*, Paris, 14–16 octobre 1986: 67–77.

Guzmán, J. L. & Arroyo, B. 2015. Factors affecting reproduction in Eurasian Woodcock. *European Journal of Wildlife Research*, 61: 1–9.

Heward, C. J., Hoodless, A. N., Conway, G. J., Aebischer, N. J. & Baines, D. 2015. The effect of weather on the breeding success of Eurasian Woodcock. *Ibis*, 157: 1–12.

Heward, C. J., Lowe, A., Conway, G. J., & Hoodless, A. N. (2019). Influence of weather on the Eurasian woodcock's breeding display. *Proceedings of the American Woodcock Symposium*, 11, 209–216. (gwct.org.uk)

Hirons, G. J. M. 1980. The significance of roding by Woodcock *Scolopax rusticola*: a reappraisal of its function. *Journal of Animal Ecology*, 49: 711–724.

Hoodless, A. N. & Coulson, J. C. 1994. Survival rates and movements of British and Continental Woodcocks *Scolopax rusticola* in the British Isles. *Bird Study*, 41: 48–60.

Hoodless, A. N. & Hirons, G. J. M. 2007. Habitat selection and foraging behaviour of Eurasian Woodcock. *Ibis.*

Hoodless, A. N., Lang, D., Fuller, R. J., Aebischer, N. J. & Ewald, J. A. 2006. Development and testing of a survey method for breeding Eurasian Woodcock. *Bird Study*, 53: 255–266.

IGN. 2012. SER D11 : *Massif vosgien central.* Inventaire forestier national, Institut national de l'information géographique et forestière, Paris.

Jobard, J. 2025. *Analyse des tendances de la population de la Bécasse des bois nicheuse dans le Morvan.* Rapport de stage, Office français de la biodiversité (OFB).

Météo-France. 2023. *L'évolution de l'enneigement du Massif des Vosges.* Direction de la climatologie et des services climatiques.

Météo-France. s.d. Données climatologiques régionales – Grand Est / Vosges.

MNHN Cesco & SDES. 2025. *État de la population des oiseaux communs en France en 2024.* Service des données et études statistiques, Ministère de la Transition écologique, Paris.

Mulhauser, B. & Zimmermann, J.-L. 2010a. Fidélité des mâles de Bécasse des bois *Scolopax rusticola* à leur site de reproduction. *Alauda*, 78: 27–39.

Mulhauser, B. & Zimmermann, J.-L. 2010b. Individuelle Erkennung und Bestandserfassung bei der Waldschnepfe *Scolopax rusticola* anhand von Gesangsmerkmalen balzender Männchen. *Ornithologische Beobachter*, 107: 39–50.

ODONAT Grand Est. 2024. *Liste rouge des oiseaux nicheurs du Grand Est.*

Office français de la biodiversité (OFB). 2024. *Bécasse Infos n°33 – Bilan du réseau national Bécasse des bois 2023–2024.*

PECBMS. 2021. *European wild bird indicators, 2021 update.* Pan-European Common Bird Monitoring Scheme.

Péron, G., Ferrand, Y., Gossmann, F., Bastat, C., Guénézan, M. & Bretagnolle, V. 2012. Escape migration decisions in Eurasian Woodcock *Scolopax rusticola* wintering in France. *Journal of Avian Biology*, 43: 150–160.

Rameau, J.-C. et al. 2008. *Flore forestière française*, Tome 1. Institut pour le développement forestier.

Réseau Bécasse. 2013. *Suivi des effectifs nicheurs de Bécasse des bois en France : protocole national.*

Schally, G., Tóth, D., Márton, M., Bijl, H., Palatitz, P., Csányi, S., Maimela Modiba, M., Tharwat Mohamed Ibrahim, H. & Simon, B. 2024. The effect of soil parameters and earthworm abundance on the fine-scale nocturnal habitat use of the Eurasian woodcock (*Scolopax rusticola*). *Ecology and Evolution*, 14: e70136.

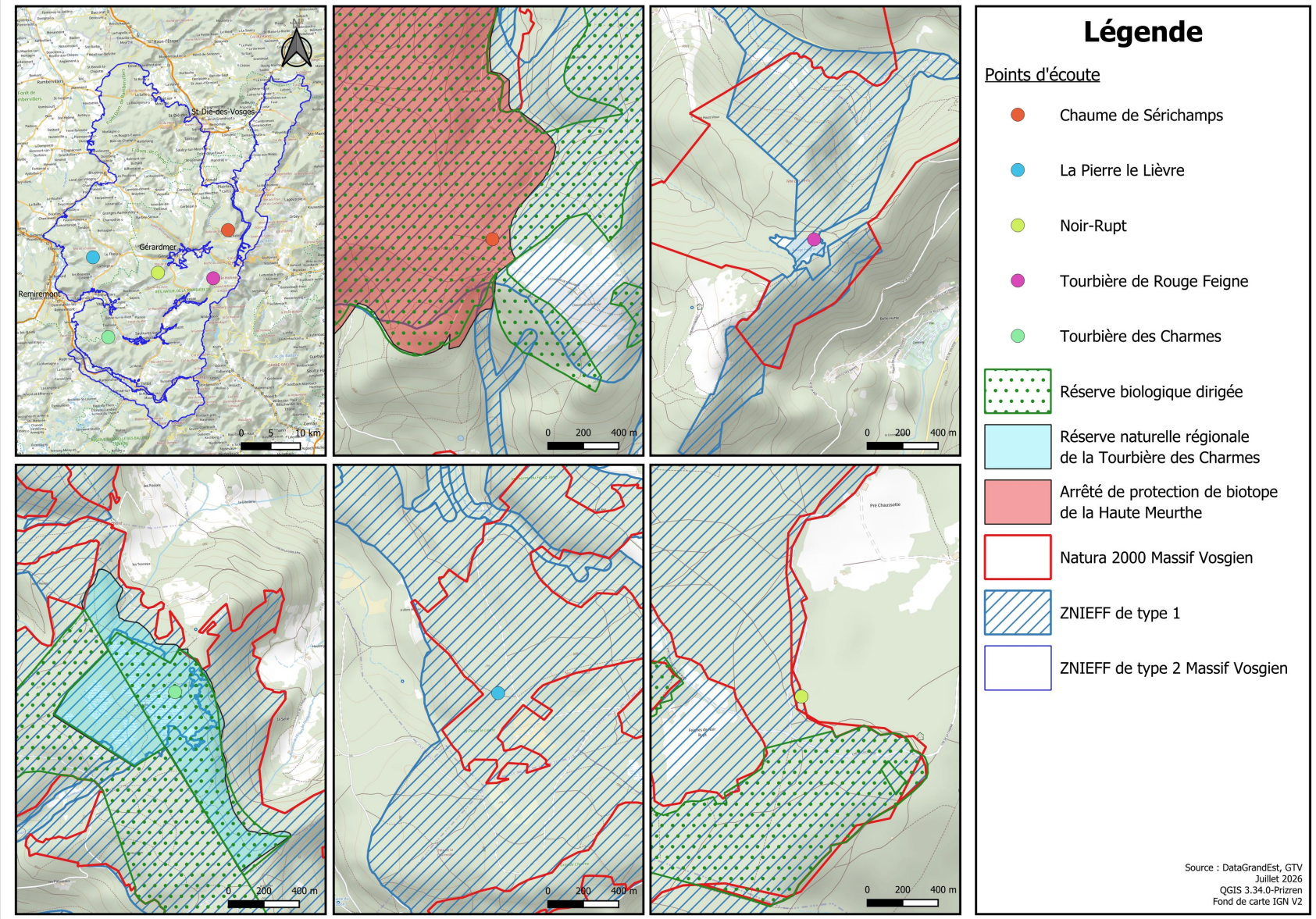
Tavecchia, G., Pradel, R., Gossmann, F., Bastat, C., Ferrand, Y. & Lebreton, J.-D. 2002. Temporal variation in annual survival probability of the Eurasian woodcock *Scolopax rusticola* wintering in France. *Wildlife Biology*, 8: 21–30.

UICN France, MNHN, LPO, SEOF & ONCFS. 2016. *La Liste rouge des espèces menacées en France – Oiseaux nicheurs de France métropolitaine.* Paris.

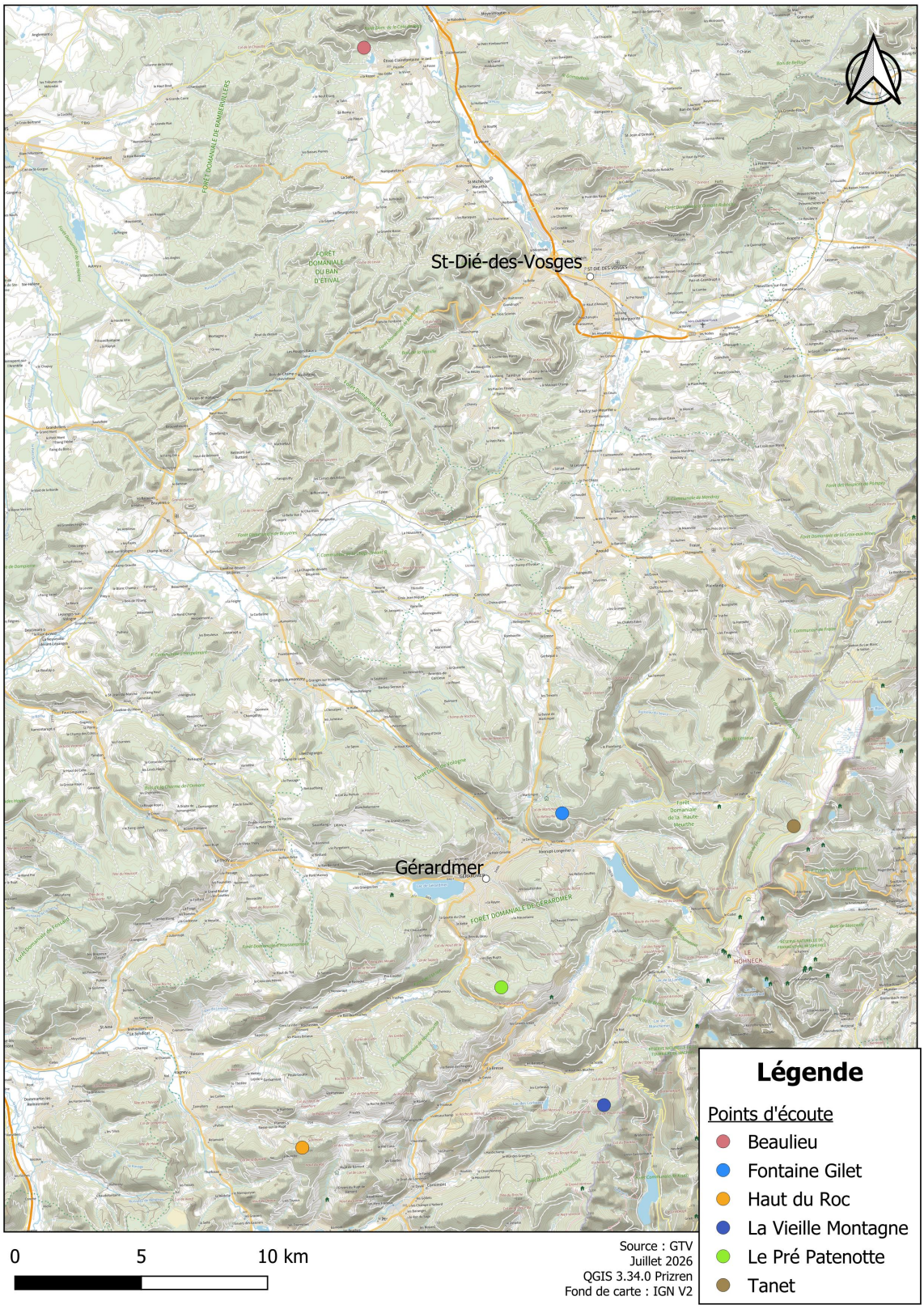
Zimmermann, J.-L. & Santiago, S. 2019. Contribution au suivi démographique de la Bécasse des bois *Scolopax rusticola* dans le canton de Neuchâtel (Suisse). *Aves*, 56: 49–75.

Zimmermann, J.-L., Santiago, S., Dunning, J. & Jenni, L. 2025. Communication of Eurasian Woodcocks in dark environments. *British Birds*, 118: 27–36.

Annexe 1 : Localisation des sites du protocole bioacoustique et statuts de protection ou d'inventaire écologique associés



Annexe 2 : Localisation des sites suivis dans le cadre du protocole national adapté



ID				Localisation				Session 1										Session 2										Session 3									
								Informations préalables			**Bécasse des bois**						**Autres espèces**	Informations préalables			**Bécasse des bois**						**Autres espèces**	Informations préalables			**Bécasse des bois**						**Autres espèces**
ID Points	Structure	Site	Responsable(s) suivi	Lambert 93 X	Lambert 93 Y	WGS 84 N	WGS 84 E	Observateur(s)	Date	Heure début	n° passage	Heure passage	Nombre d'individus	Vu	Entendu	Remarque		Observateur(s)	Date	Heure début	n° passage	Heure passage	Nombre d'individus	Vu	Entendu	Remarque		Observateur(s)	Date	Heure début	n° passage	Heure passage	Nombre d'individus	Vu	Entendu	Remarque	
	GTV										1										1										1						
											2										2										2						
											3										3										3						
											4										4										4						
											5										5										5						
											6										6										6						
											7										7										7						
											8										8										8						
											9										9										9						
											10										10										10						
											11										11										11						
											12										12										12						
											13										13										13						
											14										14										14						
											15										15										15						

Annexe 4 : Codification des séquence (J.-L. Zimmermann, comm. pers.)

Code tsit	Largeur du tsit
TPT	55-65 ms
PT	60-70 ms
PTT	65-75 ms
T	70-80 ms
TLT	75-85 ms
LT	80-90 ms
XLT	85-95 ms
XL	90-100 ms
XXL	95-105 ms

Annexe 5 : Base de données des variables acoustiques et de l'attribution des séquences aux profils individuels

Lieu	Date	Couverture nuageuse (0, 1, 2, 3, 4)	Température	Vent (0, 1, 2, 3)	Heure	Code cros	Profil attribué	E = largeur Tsit (4,5Khz)	Moy E	D = longueur des cros = début Cros à début Tsit (0kHz)	Moy D	B = début Tsit à début Tsit (5kHz) = Chant complet	Moy B	A = Nb de cros	Moy A
Tourbière de Rouge Feigne	16/04/2026		8	0	20:34	35PT	R1	59 70	64,50	1304	1304,00	3843	3843,00	3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	16/04/2026		8	0	20:45	35T	R1	73 73 75	73,67	1375 1286 1400	1353,67		#NUM!	3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	16/04/2026		8	0	20:59	35T	R1	71 70 74 77 78 76 78 78 78	75,56	1142 1124 1142 1176 1160 1179 1270 1246 1173	1179,11	3150 3205 3255 3209 3289 3532 3440	3297,14	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	16/04/2026		8	0	21:00	35TLT	R1	84 84 84 76	82,00	1475 1409 1410 1450	1436,00	3276 3343 3398	3339,00	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	16/04/2026		8	0	21:12	35T	R1	75	75,00	1202	1202,00		#NUM!	3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	16/04/2026		8	0	20:38	3545XL	R2	91 101 94 94	95,00	1438 5861 1692 1674	2666,25	3603 3591 4316	3836,67	3,5 3,5 3,5 4,5	3,8
Tourbière de Rouge Feigne	16/04/2026		8	0	21:16	3545XXL	R2	97 101 104 97 97 99 98	99,00	1946 2120 1500 1554	1780,00	4077 4627 4245 3851 3960	4152,00	4,5 4,5 3,5 3,5	4,0
Tourbière de Rouge Feigne	16/04/2026		8	0	21:16	3545XXL	R2	99 98 99 99 101 102 101	99,86	1584 1593 1699 1815 1639 1705 1745	1682,86		#NUM!	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	16/04/2026		8	0	21:22	35XL	R2	94	94,00	1745	1745,00		#NUM!	4,5	4,5
Tourbière de Rouge Feigne	16/04/2026		8	0	20:44	25LT	R3	90 90 90 87 87 85 83	87,43	989 864 991 947 936 949 1029	957,86	2987 3142 3314 3192 3239 3050	3154,00	2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5	2,5
Tourbière de Rouge Feigne	16/04/2026		8	0	20:54	25TLT	R3	77 77 78 80 78 78 74 77 90 76	78,50	868 819 892 853 952 889 924 940 850 1044	903,10	2857 2907 2924 2999 2974 3205 2890 2953 2983 3314	3000,60	2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5	2,5
Tourbière des Charmes	23/04/2026	0	10	0	20:50	35T	C1	77 78	77,50	1327 1359	1343,00	3793	3793,00	3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	23/04/2026	0	10	0	20:50	35T	C1	78 80 80	79,33	1334 1304 1366 1341	1336,25	3595 3804 3620	3673,00	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	23/04/2026	0	10	0	21:13	35T	C1	79 81	80,00	1359 1164 1366 1187 1554 1388	1336,33	4060 4224	4142,00	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	01/05/2026	0	14	0	21:31	35T	C1	70	70,00	1468	1468,00	4229	4229,00	3,5	3,5
Tourbière des Charmes	01/05/2026	0	14	0	21:34	2535PTT	C1	69 70 66 67 71	68,60	880 840 1368 729	954,25	1808 2651 3704 4509 6401	3814,60	2,5 2,5 3,5 2,5	2,8
Tourbière des Charmes	01/05/2026	0	14	0	21:38	35PTT	C1	68 73 73 73 71 69 71 71	71,13	1350 1297 1278 1260 1471 1511 1480 1517	1395,50		#NUM!	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Chaume de Sérichamps	02/05/2026		12	0	21:07	3542LT	S1	82 89 86	85,67	1690 1542 1858	1696,67	3847 3813	3830,00	4,2 3,5 4,2	4,0
Chaume de Sérichamps	02/05/2026		12	0	21:16	3542XLT	S1	84 84 85 91 91 98 91 90	89,25	1795 1880 1787 1290 1575 1482	1634,83	4106 3700 3889 3817 3800	3862,40	4,2 4,2 4,2 3,5 3,5	3,9
Chaume de Sérichamps	02/05/2026		12	0	21:13	35XLT	S2	88 90 85 92 89	88,80	1271 1282 1250 1362 1298	1292,60	3188 3121 3268 3511 3465	3310,60	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Chaume de Sérichamps	02/05/2026		12	0	21:15	50XLT	S3	88 88 88 88 92 93	89,50	1526 1425 1632 1669 1720 1660 1642 1734	1626,00	3112 3326 3310 3201 3406 3310 3364 3545	3321,75	5 5 5 5 5 5 5 5	5,0
Chaume de Sérichamps	02/05/2026		12	0	21:21	50LT	S3	87 80 90	85,67	1524 1571 1549	1548,00	3159 3448	3303,50	5 5 5	5,0
Chaume de Sérichamps	09/05/2026		11	0	21:20	35TLT	S2	80 80 78 78 83 83 79	80,14	1305 1253 1374 1341 1373	1329,20	3058 3263 3222 3230 3243 3257	3212,17	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5

Chaume de Sérichamps	09/05/2026		11	0	21:25	35TLT	S2	80 81 80 84	81,25	1310 1383 1304 1273	1317,50	3390 3574	3482,00	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Chaume de Sérichamps	09/05/2026		11	0	21:15	50TLT	S3	80 76 81 84	80,25	1467 1635 1656	1586,00	3465	3465,00	5 5 5	5,0
Chaume de Sérichamps	09/05/2026		11	0	21:46	50LT	S3	83 87 91 90 90 86 85	87,43	1622 1853 1914 1801 1615 1711 1643	1737,00	3373 3511 3704 3536 3373 3717 3574 3821	3576,13	5 5 5,5 5 5 5 5	5,1
Chaume de Sérichamps	09/05/2026		11	0	21:06	35PT	S4	65 63	64,00	1163 1458	1310,50	3532	3532,00	3,5 3,5	3,5
Chaume de Sérichamps	09/05/2026		11	0	21:26	35PTT	S4	67 69 71 69 67 72	69,17	1231 1183 1226 1404 1302	1269,20	3611 3524 3943	3692,67	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Chaume de Sérichamps	09/05/2026		11	0	21:38	35PTT	S4	67 67	67,00	1016 1224	1120,00	4228	4228,00	3,5 3,5	3,5
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	20:44	35TLT	N1	76 77 83 76 85	79,40	937 1040 1105 1010 1010	1020,40	3226 3293 3607	3375,33	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	20:51	35TLT	N1	78 77 83 88	81,50	1059 1068 982 998	1026,75	3360 3234 3536 3251	3345,25	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	21:01	35T	N1	73 76 80	76,33	884 1014 1038	978,67	3511 3675	3593,00	3,5 3,5 3,5	3,5
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	21:07	35LT	N1	80 83 88 85 84 88	84,67	1238 1186 1302 1436 1246 1422	1305,00	3251 3083 3473 3536 3507	3370,00	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	21:09	35TLT	N1	78 83	80,50	1444 1194 1257	1298,33	3611	3611,00	3,5 3,5 3,5	3,5
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	21:18	35T	N1	73 74 69 74	72,50	1016 989 941 1026	993,00	3209 3562 3373	3381,33	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	21:32	35LT	N1	85 88 84 85 81 84 89 81	84,63	1259 1107 1263 1183 1191 1264 1227 1256	1218,75	3405 3251 3180 3134 2962 2974 3129 3285	3165,00	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	20:56	4245XL	N2	90 87 91 99 94	92,20	1712 1835 1777 1900 2065	1857,80	4237 4568 4480	4428,33	4,2 4,5 4,5 4,5 4,5	4,4
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	20:59	45XL	N2	91 91 91 97	92,50	1946 1709 2167 2029	1962,75	4749 5114 4883	4915,33	4,5 4,5 4,5 4,5	4,5
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	21:16	42LT	N2	84 78 85	82,33	1485 1731 1688	1634,67	4447 4870	4658,50	4,2 4,2 4,2	4,2
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	21:17	45LT	N2	84	84,00	1942	1942,00		#NUM!	4,5	4,5
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	21:19	4045LT	N2	84 90	87,00	1754 1909	1831,50	3560	3560,00	4 4,5	4,3
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	21:26	52LT	N2	77 83 92 87 78 80	82,83	1663 1601 1769 1710 1657 1714	1685,67	3322 3607 3670 3498 3620	3543,40	5,2 5,2 5,5 5,2 5,2 5,2	5,3
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	21:43	42XLT	N2	87 88 92 88 88	88,60	1605 1685 2013 1839 1668	1762,00	4732 5142 4614 5147	4908,75	4,2 4,2 4,2 4,2 4,2	4,2
Noir Rupt	12/05/2026		6	0	21:45	42LT	N2	83 85 83 90 89	86,00	1854 1556 1684 2181 1731	1801,20	4828 4497 5185 4933	4860,75	4,2 4,2 4,2 4,2 4,2	4,2
Tourbière de Rouge Feigne	14/05/2026	4	1	0	21:05	35PTT	R1	66 67 67 70	67,50	1182 1328 3134	1881,33	2773 3033	2903,00	3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	14/05/2026	4	1	0	21:06	2535PT	R1	63 70 70 63 69 73 66 69 70	68,11	1295 1034 1372 1063 1257 943 980 998	1117,75	1913 2139 3171 2588 2764 2551 2324 2605 2207	2473,56	3,5 2,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3	3,3
Tourbière de Rouge Feigne	14/05/2026	4	1	0	21:16	35T	R1	73 77 70	73,33	1348 1213 1421	1327,33	3322 3499	3410,50	3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	14/05/2026	4	1	0	21:18	35T	R1	76 74 73 77 77 73 76	75,14	1333	1333,00	3066 3071 3029 3457 3532 3364	3253,17	3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	14/05/2026	4	1	0	21:27	35TLT	R1	81 78 83 77 85 78 76 76 77 74	78,50	1317 1285 1425 1619 1265 1376 1382 1323 1313 1359	1366,40	2928 3255 3456 3045 3155 3348 3398 3205 3239 3213	3224,20	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	14/05/2026	4	1	0	21:30	35TLT	R1	78 80 78 83 78 77 85 80 76 85	80,00	1205 1304 1372 1268 1372 1331	1308,67	3121 3104 3163 3213 3104 3104 3020 3138 3155	3124,67	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	14/05/2026	4	1	0	21:31	35TLT	R1	73 76 80 83 74	77,20	1249 1204 1365 1481 1406	1341,00	3524 3171 3301 3318	3328,50	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	14/05/2026	4	1	0	21:34	35T	R1	71 69 77 80 80 81	76,33	1348 1260 1398 1267 1361	1326,80	3113 3180 3155 3314 3222	3196,80	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5

| | | |

Noir Rupt	18/05/2026		8	0	20:47	3545XLT	N2	85 87 97 93	90,50	1366 1917 2019 2020	1830,50	4345 4926 4545	4605,33	3,5 4,5 4,5 4,5	4,3
Noir Rupt	18/05/2026		8	0	20:50	45XLT	N2	85 85 93 85	87,00	1852 1942 1962 2200	1989,00	4768 4738 5396	4967,33	4,5 4,5 4,5 4,5	4,5
Noir Rupt	18/05/2026		8	0	20:56	3545XLT	N2	86 93 93 89 93	90,80	1348 1952 2284 2097 1894	1915,00	5138 5729 5751 4810	5357,00	3,5 4,5 4,5 4,5 4,5	4,3
Noir Rupt	18/05/2026		8	0	20:57	45XLT	N2	82 90 93 96	90,25	1818 1900 1913	1877,00	5024 5024 5109	5052,33	4,5 4,5 4,5	4,5
Noir Rupt	18/05/2026		8	0	21:22	4245XL	N2	87 98 91	92,00	2018 1949 2095	2020,67	4475 4974	4724,50	4,5 4,5 4,2	4,4
Noir Rupt	18/05/2026		8	0	21:31	42XLT	N2	88 94	91,00	1664 1869	1766,50	5040	5040,00	4,2 4,2	4,2
Noir Rupt	18/05/2026		8	0	21:41	XLT		89 89	89,00		#NUM!	6923	6923,00		#NUM!
Noir Rupt	18/05/2026		8	0	21:43	45TLT		78	78,00	1698	1698,00		#NUM!	4,5	4,5
Tourbière des Charmes	19/05/2026	2	6	1	21:03	25T	C1	74 70 78	74,00	1105 1042	1073,50	2760 2886	2823,00	2,5 2,5	2,5
Tourbière des Charmes	19/05/2026	2	6	1	21:06	35TLT	C1	82 80 83	81,67	1222 1279 1372	1291,00	3494 3511	3502,50	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	19/05/2026	2	6	1	21:08	35TLT	C1	77 84 83 84	82,00	1282 1249 1412 1128	1267,75	3545 3696 3889	3710,00	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	19/05/2026	2	6	1	21:09	35TLT	C1	78 78 81 76 73 83	78,17	1450 1259 1313 1264	1321,50	3872 3700 3708 3910 3885 3490	3760,83	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	19/05/2026	2	6	1	21:13	35TLT	C1	80 78 83 85	81,50	1275 1267 1275 1316	1283,25	3650 4010 3813	3824,33	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	19/05/2026	2	6	1	21:30	2540LT	C1	80 84 83 85 81 88 90	84,43	1301 983 1310 1397 1415 1429 1367	1314,57	3926 3511 3905 4094 4119 4031	3931,00	2,5 3,5 3,5 3,5 4 3,5 3,5	3,4
Tourbière des Charmes	19/05/2026	2	6	1	21:39	35TLT	C1	83 78 83 84 84	82,40	1120 1395 1493 1546 1316	1374,00	4300 4480 4161 4812	4438,25	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	19/05/2026	2	6	1	21:51	35T	C1	71 73 73 71 71	71,80	1403 1507 1397 1515	1455,50	3767 3666 3713 4165 3574	3777,00	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	19/05/2026	2	6	1	21:53	35LT	C1	90 85 87 87	87,25	1354 1406 1279 1429	1367,00	3678 4161 4085	3974,67	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:16	35T	R1	74 71 75 77 72	73,80	1140 1267 1353 1280	1260,00	3396 3527 3570 3610	3525,75	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:25	35T	R1	75 34	54,50	1011 1130	1070,50	3510	3510,00	3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:26	35T	R1	78 72	75,00	1067 1245	1156,00	3349	3349,00	3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:27	35T	R1	71 81 75 72 75	74,80	1276 1353 1345 1270	1311,00	3663 2779 3153 3331	3231,50	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:28	35T	R1	72 75 76 80 72 72 72	74,14	1301 1120 1139 1346 1320	1245,20	3146 3353 3345 3289 3520 3103 3192	3278,29	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:31	35T	R1	80 77	78,50	1298	1298,00	3178	3178,00	3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:33	35T	R1	71 76 72 75 75 75	74,00	1264 1330 1300 1360 1318 1293	1310,83	2900 3217 3249 3406 3082	3170,80	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:35	35T	R1	72 77 72 76	74,25	1329 1314 1244 1104	1247,75	3118 3400 3284	3267,33	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:37	35T	R1	71 71 76 75 72 69	72,33	1176 1302 1298 1369	1286,25	2946 3068 3299 3278 6460	3810,20	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:44	35T	R1	77	77,00	1361	1361,00		#NUM!	3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:47	35T	R1	76 77 77 82 76 78 80 76 71 74	76,70	1387 1284 1293 1350 1404 1301 1443 1277 1460 1290	1348,90	3046 2882 3263 3253 3114 3356 3280 3287 3257 3235	3197,30	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5

Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:50	35T	R1	75 78 78 75	76,50	1299 1204 1301	1268,00	2298 2840	2569,00	3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:51	35T	R1	76 75 75 77 80 77 77	76,71	1253 1328 1272 1317 1398 1314	1313,67	3082 3253 3264 2982 3267 3042	3148,33	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:35	25T	R3	78 78 77 76	77,25	826 820 854 852	838,00	2793 2776 2957	2842,00	2,5 2,5 2,5 2,5	2,5
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026		14	1	21:49	25T	R3	72 76 77 74 74 75 75 76	74,88	829 910 968 999 841 998 957	928,86	2722 3043 2768 2929 3018 2968 2957 3045	2931,25	2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5	2,5
Noir Rupt	25/05/2026	0	19	0	21:01	35TLT	N1	81 76	78,50	1008	1008,00	3416	3416,00	3,5	3,5
Noir Rupt	25/05/2026	0	19	0	21:09	35T	N1	74 76 81 74 70 72 76	74,71	939 935 963 916	938,25	3213 3627 3616 3442 3527 3463	3481,33	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Noir Rupt	25/05/2026	0	19	0	21:24	35LT	N1	80 81	80,50	1166 1214	1190,00	3249	3249,00	3,5 3,5	3,5
Noir Rupt	25/05/2026	0	19	0	21:30	4245T	N2	75 71 76 77	74,75	1637 1733 1704	1691,33	4240 4137 4297	4224,67	4,5 4,5 4,2	4,4
Noir Rupt	25/05/2026	0	19	0	21:33	45T	N2	76 74 72 75 88	77,00	1715 1764 1669 1714	1715,50	4094 4200 4611 4346	4312,75	4,5 4,5 4,5 4,5	4,5
Noir Rupt	25/05/2026	0	19	0	21:35	45LT	N2	86 86 78 88 88 89	85,83	1855 1295 1609 1625 1802 1721	1651,17	3346 3492 3535 4026 3795	3638,80	4,5 3,5 4,5 4,5 4,5 4,5	4,3
Noir Rupt	25/05/2026	0	19	0	21:35	4045LT	N2	81 84 84 81	82,50	1104 1645 1576 1765	1522,50	3292 3445 3900	3545,67	4 4,5 4,5 4,5	4,4
Noir Rupt	25/05/2026	0	19	0	21:52	4245LT	N2	80 86 86 89 88	85,80	1559 1808 1734 1804 1897	1760,40	4061 4201 4917 4727	4476,50	4,5 4,2 4,2 4,2 4,2	4,3
Noir Rupt	25/05/2026	0	19	0	21:38	55TLT	N3	77 84 79	80,00	1988 2221 1878	2029,00	4732 5001	4866,50	5,5 5,5 5,5	5,5
Noir Rupt	25/05/2026	0	19	0	21:55	55TLT	N3	78 81 75	78,00	2166 2138 2375	2226,33	4187 4910	4548,50	5,5 5,5 5,5	5,5
Chaume de Sérichamps	26/05/2026	0	19	0	21:44	42LT	S1	85 90 84	86,33	1657 1692 1598	1649,00	3490 3513	3501,50	4,2 4,2 4,2	4,2
Chaume de Sérichamps	26/05/2026	0	19	0	21:52	3542XLT	S1	84 90 92 91 97	90,80	1685 1417 1605 1870 1544	1624,20	3587 3402 3876 3687	3638,00	4,2 3,5 3,5 4,2 4	3,9
Chaume de Sérichamps	26/05/2026	0	19	0	22:06	42XLT	S1	91 90 88	89,67	1636 1661	1648,50	4050 4119	4084,50	4,2 4,2	4,2
Chaume de Sérichamps	26/05/2026	0	19	0	21:50	35PT	S4	70 67 62	66,33	1138 1162 1261	1187,00	3830 3675	3752,50	3,5 3,5 3,5	3,5
Chaume de Sérichamps	26/05/2026	0	19	0	21:55	25LT	S5	81 83 83	82,33	889 944 984	939,00	2383 2549	2466,00	2,5 2,5 2,5	2,5
La Pierre le Lièvre	27/05/2026		22	1	21:44	45LT	P2	81	81,00	1822	1822,00		#NUM!	4,5	4,5
Tourbière des Charmes	28/05/2026	0	16	1	21:32	35TLT	C1	83 78	80,50	1340	1340,00	3559	3559,00	3,5	3,5
Tourbière des Charmes	28/05/2026	0	16	1	21:34	35TLT	C1	77 81 83 84 88	82,60	1330 1245 1314	1296,33	3433 4388 3780 3557	3789,50	3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	28/05/2026	0	16	1	21:41	35TLT	C1	83 85	84,00	1317 1306 1330 1449	1350,50	3671	3671,00	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	28/05/2026	0	16	1	21:45	35LT	C1	84 81	82,50	1405 1351 1335	1363,67	3774	3774,00	3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	28/05/2026	0	16	1	21:49	35LT	C1	83 84 81 84 83	83,00	1317 1356 1403 1491 1236 1293	1349,33	3968 3801 4174 4414	4089,25	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	28/05/2026	0	16	1	21:55	35TLT	C1	77 84 84 76	80,25	1492 1406 1573	1490,33	4036 3847 4073	3985,33	3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière des Charmes	28/05/2026	0	16	1	22:06	35LT	C1	80 85 87 90	85,50	1207 1475	1341,00	4451 4077 4468	4332,00	3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	31/05/2026	2	18	0	21:29	35T	R1	71 71 73 74 76 81 73	74,14	1038 1162 1207 1240 1328 1263	1206,33	3284 3197 3327 3675 3608 3549	3440,00	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5

| | | |

Chaume de Sérichamps	17/06/2026	0	20	0	22:19	42XLT	S1	86 85 85 88 91 95	88,33	1635 1721 1855 2089 1894	1838,80	3616 3679 3802 4579 4320 4422	4069,67	4,2 4,2 4,2 4,2 4,2	4,2
Chaume de Sérichamps	17/06/2026	0	20	0	22:22	42LT	S1	80 81 80 80 82 81 83 80	80,88	1784 1866 1918 1894 1888 1792 1975 1799	1864,50	4044 4179 4016 4276 4162 4425 3766	4124,00	4,2 4,2 4,2 4,2 4,2 4,2 4,2 4,2	4,2
Chaume de Sérichamps	17/06/2026	0	20	0	22:24	3242LT	S1	82 84 88 90 90 90	87,33	2005 1567 1878 2013	1865,75	4464 4361 4076 3695 5013	4321,80	4,2 3,2 4,2 4,2	4,0
Chaume de Sérichamps	17/06/2026	0	20	0	22:04	35LT	S2	83 78 82 87 93 85 85	84,71	1093 1271 1097 1373 1325 1258	1236,17	3001 3018 2825 3061 3175 3249	3054,83	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Chaume de Sérichamps	17/06/2026	0	20	0	22:05	35T	S2	73 79 78 80 83 81 82 82 79	79,67	1129 1163 1242 1217 1256 1280 1139 1005	1178,88	2608 2853 2933 2953 2902 2796 2526 2497	2758,50	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Chaume de Sérichamps	17/06/2026	0	20	0	22:01	35PTT	S4	67 71 70 75 71	70,80	1185 1220 1321 1220	1236,50	4118 3907 4687 4240	4238,00	3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Chaume de Sérichamps	17/06/2026	0	20	0	22:02	35PTT	S4	67 70 73	70,00	1173 1273 1293	1246,33	4052 4617	4334,50	3,5 3,5 3,5	3,5
Chaume de Sérichamps	17/06/2026	0	20	0	22:12	35T	S4	70 72 70 73 70 71	71,00	1144 1236 1299 1230 1345 1167	1236,83	7520 4003 3779 5906 5376	5316,80	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Chaume de Sérichamps	17/06/2026	0	20	0	22:39	35T	S4	74 76 73 72 71	73,20	1193 1356 1272 1159 1198	1235,60	5245 5138 6624 5975	5745,50	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Chaume de Sérichamps	17/06/2026	0	20	0	22:29	25LT	S5	82 81 80 80 81 80 80 83 84 83	81,40	947 941 1012 1018 1002 1067 1029 1044 1072 1032	1016,40	2569 2608 2576 2466 2523 2554 2751 2871 2815 2968	2670,10	2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5	2,5
La Pierre le Lièvre	18/06/2026		25	0	22:15	45XL		92 94 97 97	95,00	1570 1926	1748,00	3553 3240 3667	3486,67	4,5 4,5	4,5
Noir Rupt	23/06/2026		26	0	21:56	42LT	N2	88 88 88	88,00	1991 2057	2024,00	4644 4568	4606,00	4,2 4,2	4,2
Noir Rupt	23/06/2026		26	0	22:05	4245T	N2	74 77	75,50	1741 1926	1833,50	3798	3798,00	4,2 4,5	4,4
Noir Rupt	23/06/2026		26	0	22:16	3542TLT	N2	76 81	78,50	991 1944	1467,50	4265	4265,00	3,5 4,2	3,9
Noir Rupt	23/06/2026		26	0	22:23	42XLT	N2	88 90 94 94 93	91,80	2247 1969 2138 2324 2245	2184,60	5307 5239 5508 5253	5326,75	4,2 4,2 4,2 4,2 4,2	4,2
Tourbière de Rouge Feigne	24/06/2026		24	1	21:51	3540XXL	R1	94 97 100 104	98,75	1398 1333 1259	1330,00	3204 3203 3198	3201,67	4 3,5 3,5	3,7
Tourbière de Rouge Feigne	24/06/2026		24	1	22:00	3235TLT	R1	78 81 78 82	79,75	1275 1166 1299	1246,67	3374 3497 3606	3492,33	3,2 3,2 3,5	3,3
Tourbière de Rouge Feigne	24/06/2026		24	1	22:13	35T	R1	70 72 73 70 71 75	71,83	1156 1401 1327 1474 1452	1362,00	3158 3351 3511 3374 3325	3343,80	3,5 3,5 3,5 3,5 3,5	3,5
Tourbière de Rouge Feigne	24/06/2026		24	1	22:15	35T	R1	73 75 71 73	73,00	1381	1381,00	3158 2947 3303 3183	3147,75	3,5	3,5

Chaque ensemble de lignes de couleur identique correspond aux séquences attribuées à un même mâle de Bécasse des bois individualisé. Les lignes blanches correspondent aux séquences qui n’ont pas pu être attribuées à un individu.

Annexe 6 : Nombre de contacts de Bécasse des bois recensés par point d’écoute et par session dans le cadre du protocole national adapté

Point d'écoute	Date	Nombre de contacts
BC2601	26/05/2026	6
BC2601	09/06/2026	8
BC2601	25/06/2026	0
BC2602	25/05/2026	4
BC2602	11/06/2026	6
BC2602	23/06/2026	0
BC2603	29/05/2026	5
BC2603	20/06/2026	2
BC2603	27/06/2026	1
BC2604	05/06/2026	0
BC2604	20/06/2026	0
BC2604	01/07/2026	3
BC2605	01/06/2026	6
BC2605	17/06/2026	4
BC2605	26/06/2026	6
BC2606	01/06/2026	3
BC2606	15/06/2026	0
BC2606	30/06/2026	0

Annexe 7 : Données détaillées du protocole bioacoustique par site et par sortie

Site	Date	Numéro de sortie	Contacts recensés	Séquences analysées	Séquences classables	Taux de séquences analysées	Taux de classement des séquences analysées	Nombre minimal d'individus acoustiquement distingués	Profils acoustiques supplémentaires non classés
Tourbière de Rouge Feigne	16/04/2026	B2603	13	11	11	84,6%	100,0%	3	0
Tourbière de Rouge Feigne	14/05/2026	B2613	16	13	13	81,3%	100,0%	2	0
Tourbière de Rouge Feigne	21/05/2026	B2618	14	14	14	100,0%	100,0%	2	0
Tourbière de Rouge Feigne	30/05/2026	B2623	14	11	11	78,6%	100,0%	2	0
Tourbière de Rouge Feigne	15/06/2026	B2625	10	4	4	40,0%	100,0%	1	0
TOTAL			**67**	**54**	**54**	**80,6%**	**100,0%**	**3**	**0**
Tourbière des Charmes	23/04/2026	B2606	5	3	3	60,0%	100,0%	1	0
Tourbière des Charmes	01/05/2026	B2609	4	3	3	75,0%	100,0%	1	0
Tourbière des Charmes	19/05/2026	B2617	10	9	9	90,0%	100,0%	1	0
Tourbière des Charmes	28/05/2026	B2622	10	7	7	70,0%	100,0%	1	0
Tourbière des Charmes	25/06/2026	B2630	0	0	0	non calculable	non calculable	0	0
TOTAL			**29**	**22**	**22**	**75,9%**	**100,0%**	**1**	**0**
Chaume de Sérichamps	02/05/2026	B2610	10	5	5	50,0%	100,0%	3	0
Chaume de Sérichamps	09/05/2026	B2611	7	7	7	100,0%	100,0%	3	0
Chaume de Sérichamps	16/05/2026	B2614	11	8	8	72,7%	100,0%	3	0
Chaume de Sérichamps	26/05/2026	B2620	6	5	5	83,3%	100,0%	3	0
Chaume de Sérichamps	17/06/2026	B2626	13	11	11	84,6%	100,0%	3	0
TOTAL			**47**	**36**	**36**	**76,6%**	**100,0%**	**5**	**0**

Noir Rupt	12/05/2026	B2612	21	15	15	71,4%	100,0%	2	0
Noir Rupt	18/05/2026	B2616	14	13	11	92,9%	84,6%	2	1
Noir Rupt	25/05/2026	B2619	11	10	10	90,9%	100,0%	3	0
Noir Rupt	16/06/2026	B2625	11	10	9	90,9%	90,0%	3	1
Noir Rupt	23/06/2026	B2628	6	4	4	66,7%	100,0%	1	0
TOTAL			**63**	**52**	**49**	**82,5%**	**94,2%**	**3**	**1 à 2**
La Pierre le Lièvre	17/05/2026	B2615	11	11	10	100,0%	90,9%	2	1
La Pierre le Lièvre	27/05/2026	B2621	1	1	1	100,0%	100,0%	1	0
La Pierre le Lièvre	09/06/2026	B2624	9	8	6	88,9%	75,0%	2	1
La Pierre le Lièvre	18/06/2026	B2627	1	1	0	100,0%	0,0%	1	0
La Pierre le Lièvre	26/06/2026	B2631	0	0	0	non calculable	non calculable	0	0
TOTAL			**22**	**21**	**17**	**95,5%**	**81,0%**	**2**	**1**
TOTAL			**228**	**185**	**178**	**81,1%**	**96,2%**	**14**	**2 à 3**

Annexe 8 : Résultats des comparaisons des variables acoustiques entre les profils individuels au sein de chaque site

Site	Variable	Test	p
Noir Rupt	A	Kruskal-Wallis	< 0,001
Noir Rupt	B	Kruskal-Wallis	< 0,001
Noir Rupt	D	Kruskal-Wallis	< 0,001
Noir Rupt	E	Kruskal-Wallis	0,003
La Pierre le Lièvre	A	Wilcoxon	0,013
La Pierre le Lièvre	B	Wilcoxon	0,004
La Pierre le Lièvre	D	Wilcoxon	0,002
La Pierre le Lièvre	E	Wilcoxon	0,01
Tourbière de Rouge Feigne	A	Kruskal-Wallis	< 0,001
Tourbière de Rouge Feigne	B	Kruskal-Wallis	< 0,001
Tourbière de Rouge Feigne	D	Kruskal-Wallis	< 0,001
Tourbière de Rouge Feigne	E	Kruskal-Wallis	< 0,001
Chaume de Sérichamps	A	Kruskal-Wallis	< 0,001
Chaume de Sérichamps	B	Kruskal-Wallis	< 0,001
Chaume de Sérichamps	D	Kruskal-Wallis	< 0,001
Chaume de Sérichamps	E	Kruskal-Wallis	< 0,001

Les valeurs de p inférieures à 0,05 indiquent l'existence d'une différence significative entre au moins deux profils du site considéré. Pour le site de La Pierre le Lièvre, comprenant seulement deux profils, les tests de Wilcoxon indiquent directement si ceux-ci diffèrent significativement. Aucun test n'a été réalisé à la Tourbière des Charmes, où un seul profil acoustique a été distingué.

Annexe 9 : Variables acoustiques présentant une différence significative entre les profils comparés au sein de chaque site.

Site	Profils comparés	Variables présentant une différence significative
Tourbière des Charmes	Non applicable	Un seul profil
Noir Rupt	N1–N2	A, B, D, E
Noir Rupt	N1–N3	A, B, D
Noir Rupt	N2–N3	A, D
La Pierre le Lièvre	P1–P2	A, B, D, E
Tourbière de Rouge Feigne	R1–R2	A, B, D, E
Tourbière de Rouge Feigne	R1–R3	A, B, D
Tourbière de Rouge Feigne	R2–R3	A, B, D, E
Chaume de Sérichamps	S1–S2	A, B, D
Chaume de Sérichamps	S1–S3	A
Chaume de Sérichamps	S1–S4	A, D, E
Chaume de Sérichamps	S1–S5	A
Chaume de Sérichamps	S2–S3	A
Chaume de Sérichamps	S2–S4	B, E
Chaume de Sérichamps	S2–S5	A
Chaume de Sérichamps	S3–S4	A
Chaume de Sérichamps	S3–S5	Non significatif
Chaume de Sérichamps	S4–S5	A

Les lettres A, B, D et E indiquent les variables pour lesquelles une différence significative a été détectée entre les profils comparés au moyen de tests de Wilcoxon deux à deux avec correction de Holm ($p < 0,05$). NS indique qu'aucune différence significative n'a été détectée pour les quatre variables considérées séparément. Aucun test n'a été réalisé à la Tourbière des Charmes, où un seul profil acoustique a été distingué.

Annexe 10 : Température relevée et nombre de contacts de Bécasse des bois recensés au cours des sessions d'écoute des deux protocoles

Point d'écoute	Date	Température	Nombre de contacts
B2603	16/04/2026	8	13
B2606	23/04/2026	10	5
B2609	01/05/2026	14	4
B2610	02/05/2026	12	10
B2611	09/05/2026	11	7
B2612	12/05/2026	6	21
B2613	14/05/2026	1	16
B2614	16/05/2026	5	11
B2615	17/05/2026	11	11
B2616	18/05/2026	8	14
B2617	19/05/2026	6	10
B2618	21/05/2026	14	14
BC2602	25/05/2026	20	4
B2619	25/05/2026	19	11
BC2601	26/05/2026	21	6
B2620	26/05/2026	19	6
B2621	27/05/2026	22	1
B2622	28/05/2026	16	10
BC2603	29/05/2026	20	5
B2623	30/05/2026	18	14
BC2605	01/06/2026	15	6
BC2606	01/06/2026	19	3
BC2604	05/06/2026	10	0
BC2601	09/06/2026	10	8
B2624	09/06/2026	15	9
BC2602	11/06/2026	12	6
BC2606	15/06/2026	19	0
B2625	15/06/2026	25	10
B2625	16/06/2026	20	11
BC2605	17/06/2026	20	4
B2626	17/06/2026	25	13
B2627	18/06/2026	26	1
BC2603	20/06/2026	24	2
BC2604	20/06/2026	22	0
BC2602	23/06/2026	27	0
B2628	23/06/2026	24	6
BC2601	25/06/2026	29	0
B2630	25/06/2026	31	0
BC2605	26/06/2026	26	6
B2631	26/06/2026	31	0
BC2603	27/06/2026	28	1
BC2606	30/06/2026	26	0
BC2604	01/07/2026	15	3

Les numéros de sorties précédées de la mention « B » correspondent au protocole bioacoustique, tandis que celles portant la mention « BC » relèvent du protocole national adapté.