

La bioacoustique passive, une approche sous-estimée pour les suivis ornithologiques ?
Cas pratique du suivi de reproduction du Blongios nain *Ixobrychus minutus* (Linnaeus, 1766) en roselière au bord du Rhône

Valentin MONNOY, Cédric SEGUIN,
Mathieu ROCLE, Franck PRESSIAT, Bénédicte FELTER,
Arnaud DA SILVA & Jean-Louis MICHELOT

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION / *PUBLICATION DIRECTOR*: Gilles Bloch,
Président du Muséum national d'Histoire naturelle

RÉDACTEUR EN CHEF / *EDITOR-IN-CHIEF*: Jean-Philippe Siblet

ÉDITRICE TECHNIQUE (SUIVI ÉDITORIAL) / *DESK EDITOR (EDITORIAL PROCESS)*: Sarah Figuet (naturae@mnhn.fr)

ÉDITRICE TECHNIQUE (PRODUCTION) / *DESK EDITOR (PRODUCTION)*: Sarah Figuet; Emmanuelle Kozaczka; Audrina Neveu

COMITÉ SCIENTIFIQUE / *SCIENTIFIC BOARD*:

Luc Barbier (Parc naturel régional des caps et marais d'Opale, Colomber)
Aurélien Besnard (CEFE, Montpellier)
Hervé Brustel (École d'ingénieurs de Purpan, Toulouse)
Damien Combrisson (Parc national des Écrins, Gap)
Thierry Dutoit (UMR CNRS IMBE, Avignon)
Éric Feunteun (MNHN, Dinard)
Romain Garrouste (MNHN, Paris)
Grégoire Gautier (DRAAF Occitanie, Toulouse)
Frédéric Gosselin (Irstea, Nogent-sur-Vernisson)
Patrick Haffner (PatriNat, Paris)
Frédéric Hendoux (MNHN, Paris)
Xavier Houard (MNHN, Paris)
Isabelle Le Viol (MNHN, Concarneau)
Francis Meunier (Conservatoire d'espaces naturels – Hauts-de-France, Amiens)
Serge Muller (MNHN, Paris)
Francis Olivereau (DREAL Centre, Orléans)
Laurent Poncet (PatriNat, Paris)
Nicolas Poulet (OFB, Vincennes)
Jean-Philippe Siblet (PatriNat, Paris)
Julien Touroult (PatriNat, Paris)

COUVERTURE / *COVER*:

Blongios nain *Ixobrychus minutus* (Linnaeus, 1766). Crédit photo: Valentin Monnoy.

Naturae est une revue en flux continu publiée par les Publications scientifiques du Muséum, Paris
Naturae is a fast track journal published by the Museum Science Press, Paris

Les Publications scientifiques du Muséum publient aussi / *The Museum Science Press also publish*:

Adansonia, *Zoosystema*, *Anthropozoologica*, *European Journal of Taxonomy*, *Geodiversitas*, *Cryptogamie* sous-sections *Algologie*, *Bryologie*, *Mycologie*, *Comptes Rendus Palevol*.

Diffusion – Publications scientifiques Muséum national d'Histoire naturelle

CP 41 – 57 rue Cuvier F-75231 Paris cedex 05 (France)

Tél.: 33 (0)1 40 79 48 05 / Fax: 33 (0)1 40 79 38 40

diff.pub@mnhn.fr / <https://sciencepress.mnhn.fr>

Les articles publiés dans *Naturae* sont distribués sous licence CC-BY 4.0 / *Articles published in Naturae are distributed under a CC-BY 4.0 license*.
ISSN (électronique / electronic) : 2553-8756

La bioacoustique passive, une approche sous-estimée pour les suivis ornithologiques? Cas pratique du suivi de reproduction du Blongios nain *Ixobrychus minutus* (Linnaeus, 1766) en roselière au bord du Rhône

Valentin MONNOY

Bureau d'étude Écosphère, antenne Occitanie,
N° 1 GIGAMED Zone d'activité de la capucière, F-34550 Bessan (France)
valentin.monnoy@ecosphere.fr (auteur correspondant)

Cédric SEGUIN

Bureau d'étude Écosphère, antenne alpine,
1 allée de Certèze, F-38610 Gières (France)
cedric.seguin@ecosphere.fr

Mathieu ROCLE

Franck PRESSIAT

Compagnie nationale du Rhône (CNR), Direction de l'Ingénierie Maintenance Projets (DIMP),
2 rue André Bonin, F-69004 Lyon (France)
m.rocle@cnr.tm.fr
f.pressiat@cnr.tm.fr

Bénédicte FELTER

Bureau d'étude Écosphère, agence Est,
9 rue Goethe, F-67000 Strasbourg (France)
benedicte.felter@gmail.com

Arnaud DA SILVA

Bureau d'étude Écosphère, agence Sud-Ouest,
61 rue Jean Briaud, F-33700 Mérignac (France)
arnaud.da-silva@ecosphere.fr

Jean-Louis MICHELOT

Bureau d'étude Écosphère, agence Centre-Est,
17 Chemin de la Gloire de Dieu, F-38200 Vienne (France)
jean-louis.michelot@wanadoo.fr

Soumis le 20 août 2025 | Accepté le 19 janvier 2026 | Publié le 1^{er} juillet 2026

Monnoy V., Seguin C., Rocle M., Pressiat F., Felter B., Da Silva A. & Michelot J.-L. 2026. — La bioacoustique passive, une approche sous-estimée pour les suivis ornithologiques? Cas pratique du suivi de reproduction du Blongios nain *Ixobrychus minutus* (Linnaeus, 1766) en roselière au bord du Rhône. *Naturae* 2026 (7): 129-151. <https://doi.org/10.5852/naturae2026a7>

RÉSUMÉ

L'évaluation des enjeux et du statut de conservation d'une espèce est permise par une connaissance pointue de la répartition, des effectifs, des menaces documentées et des tendances passées des populations. Cependant, l'exhaustivité de ces informations peut être difficile à atteindre lorsque les espèces nichent dans des milieux sensibles ou inaccessibles à la présence humaine, ou lorsque la pression d'échantillonnage est limitée pour des raisons éthiques, ou en raison de la disponibilité d'experts, ou

encore lorsque les milieux ne sont pas sensibles, mais les espèces le sont au dérangement. Chercher à combler les lacunes et les éventuelles limites des protocoles existants, amène à s'interroger sur la complémentarité d'outils technologiques à l'expertise du terrain et des connaissances spécifiques sur l'espèce. Parmi ces outils aujourd'hui disponibles, nous nous intéressons à la bioacoustique. Cette science à l'interface de la biologie et l'ingénierie du son, serait-elle le nouvel auxiliaire des écologues, et notamment des ornithologues ? À travers cet article, nous souhaitons porter un regard critique sur cet outil, de ses avantages et ses limites actuelles à son appropriation et son application sur le terrain par les gestionnaires, ou les naturalistes impliqués dans le suivi et la surveillance de populations. Notre réflexion a été nourrie par une expérience menée sur le Blongios nain (*Ixobrychus minutus* Linnaeus, 1766) dans la roselière de Printegarde (07), en bordure du Rhône, où nous avons cherché à savoir si le suivi acoustique passif, combiné à l'expertise d'un ornithologue, pouvait aider à suivre la reproduction de cette espèce sensible et discrète en minimisant les perturbations sur son domaine vital. Une approche classique d'inventaire nécessite une présence humaine répétée au sein ou à proximité de la roselière dans l'espoir de récolter suffisamment d'indices de reproduction. Cependant dans le cas d'une espèce protégée, rare et sensible au dérangement (En Danger sur la *Liste rouge nationale* Union internationale pour la conservation de la nature [UICN]) dans un milieu qui l'est tout autant, il est important de réduire au maximum le risque de dérangement. L'approche acoustique passive permet d'augmenter l'effort d'échantillonnage tout en minimisant le temps de présence au sein du milieu ; elle permettrait donc de résoudre les limites des approches classiques. Cependant, le traitement des données acoustiques peut se révéler chronophage s'il est réalisé manuellement. Ce temps de traitement peut être réduit s'il est réalisé par les outils de traitement automatisés habituellement utilisés par les bureaux d'études, ou demandant des compétences spécifiques dans l'utilisation du logiciel de biostatistiques R ou du logiciel de programmation Python. Pour la pleine appropriation de cet outil par les gestionnaires, il faudrait une plateforme pédagogique, facile d'accès, et comprenant une banque de sons labélisés très importante, représentative du contexte d'étude et idéalement de la population étudiée. Si la bioacoustique passive n'est pas encore un outil miracle, elle reste une approche prometteuse si elle est combinée à l'expertise d'un ornithologue. Enfin, le suivi acoustique passif offre une perspective intéressante pour le suivi d'une diversité d'espèces (par exemple, deux espèces essentiellement nocturnes, l'Engoulevent d'Europe (*Caprimulgus europaeus* Linnaeus, 1758) ou le Grand-Duc d'Europe (*Bubo bubo* Linnaeus, 1758)), exploitant une variété de contextes (carrière, milieu forestier, etc.).

MOTS CLÉS

Suivi acoustique passif, ornithologie, études environnementales, protocole de suivi acoustique.

ABSTRACT

Passive acoustic monitoring, an underestimated approach for ornithological monitoring? A case study of the breeding monitoring of the Little Bittern Ixobrychus minutus (Linnaeus, 1766) in a reedbed on the banks of the Rhône.

Evaluate conservation status and issues of species require a precise knowledge of the distribution, population size, documented threats, and past population trends. However, the exhaustivity of this information can be difficult to reach when it concerns sensitive and inaccessible area, also when the monitoring effort is limited by ethical rules or experts' availability. Filling the gaps and eventual limits of current protocols is possible by the evaluation of the complementarity of the monitoring tools and specific knowledge of the target species. Among the available monitoring tools, we are interested in bioacoustics. Will the combination of life science (biology) and sound engineering (acoustics) be the new assistant to ecologists, particularly ornithologists? Through this article, we suggest a critical view of the bioacoustics approach summing up the advantages and limits for field surveyors, or naturalists involved in the monitoring of discreet species. Our thought is based on the feedback of the Little Bittern (*Ixobrychus minutus* Linnaeus, 1766) breeding survey, in the reedbed of Printegarde (07); where we investigated if the combination of bioacoustic tools and ornithologist's expertise allow to monitor the breeding of an inconspicuous and sensitive species with few disturbances on its vital area. A classical survey approach requires a repeated human presence within or near the reedbed hoping to collect enough breeding evidence. However, in the case of a protected and endangered species in scarce and sensitive habitat, it is important to reduce as much as possible the disturbance risk. That is why the passive acoustic approach is a solution, because it allows to increase the monitoring effort while minimize the human presence within the area. Nonetheless, the data treatment can be time-consuming if it is done manually, limited if it is carried by automatic process commonly used by engineering firm or requiring specific skills in biostatistics tools such as R and Python. For the full understanding of the bioacoustics tool by field actors, it will be interesting to develop an easy access pedagogic platform including a large labelled species songs catalog to cover a maximum of environmental context and population studied. Even if bioacoustics is not a miracle yet, it is a promising tool when it is combined to the expertise of ornithologist and offer an interesting perspective for the monitoring of discreet species (for example: Nightjars or nocturnal raptors), in various environmental context (quarry cliff, forest...).

KEY WORDS

Passive acoustic monitoring, ornithology, environmental impact assessment, acoustic monitoring protocol.

INTRODUCTION

Les oiseaux émettent des sons prenant la forme de cris ou de chants pour défendre leur territoire, entretenir le lien social ou encore attirer un partenaire. L'étude de ces sons permet d'obtenir différentes informations comportementales et sur la répartition d'une espèce au sein d'un territoire (Kershenbaum *et al.* 2016). Des indices de biodiversité, comme la richesse spécifique et la composition des communautés d'oiseaux, peuvent être mesurés avec une seule unité d'enregistrement (Haselmayer & Quinn 2000). Il est également possible pour certaines espèces de calculer l'abondance en plus des deux précédents paramètres en utilisant plusieurs microphones synchronisés à un algorithme de localisation afin de déterminer la position de l'espèce enregistrée (Celis-Murillo *et al.* 2009).

Les progrès récents du matériel d'enregistrement et des logiciels acoustiques permettent une nouvelle approche pour inventorier le vivant et améliorer la connaissance sur les interactions complexes entre les espèces et l'utilisation de leur habitat.

Les guides pratiques destinés aux acteurs de terrains sont à ce jour encore peu nombreux. Nous pouvons toutefois citer des ouvrages de référence, qui ont accompagné l'engouement pour l'étude des sons d'oiseaux par sonagrammes en Angleterre avec *The Sound Approach to Birding* (Constantine 2006) et en France avec notamment de nombreuses recommandations techniques dans *Les oiseaux par le son* (Wroza 2019) et *La migration nocturne par le son* (Wroza & Rochefort 2021). L'usage s'est particulièrement concentré sur l'étude des cris de migration, et des programmes de sciences participatives ont vu le jour, comme le projet « Vol de nuit » lancé en collaboration avec la Ligue de Protection des oiseaux (LPO), le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), Biophonia et Trektellen, en 2024. Ce programme propose un protocole standardisé alliant un pôle de recherche scientifique et un pôle opérationnel regroupant des ornithologues bénévoles afin de faire progresser les outils de détections automatiques. Cependant, il n'y a pas d'approche acoustique passive standardisée pour le suivi de reproduction des oiseaux en France, selon l'espèce ou le groupe d'espèces; seuls des protocoles spécifiques issus de la recherche fondamentale sont disponibles en littérature anglaise et sont souvent peu abordables pour les opérateurs de terrain.

Encore trop peu de gestionnaires ou de bureaux d'études utilisent cet outil pour étudier l'avifaune alors que la bioacoustique passive est un outil particulièrement intéressant lorsque l'inventaire demande beaucoup de ressources pour recueillir suffisamment de données. Le suivi acoustique standardisé permet d'estimer l'évolution d'une population dans le temps et de mettre en lumière un éventuel déclin, apportant de précieuses informations pour la conservation des espèces rares et menacées (Thorley & Clutton-Brock 2017). Le suivi acoustique est également adapté pour étudier sur le long terme des espèces discrètes (Abrahams 2019) ou vivant dans un habitat difficile d'accès et sensibles aux perturbations anthropiques (Dema *et al.* 2020). Un autre avantage est que le suivi acoustique permet de standardiser l'inventaire pour limiter les biais observateurs (Marin-Cudraz *et al.* 2019).

Ainsi, à travers cet article nous proposons d'apposer un regard critique sur ce nouvel allié des ornithologues et sur les éventuels verrous à son appropriation par le monde professionnel ou par des naturalistes passionnés.

Pour ce faire nous nous appuyons sur un retour d'expérience du suivi de reproduction du Blongios nain (*Ixobrychus minutus* Linnaeus, 1766) dans la roselière de Printegarde en Ardèche (07) réalisé en 2022. Jusqu'ici, les prospections de terrain demandaient un effort d'échantillonnage important, pouvant entraîner un coût humain et temporel non négligeable ainsi qu'un impact négatif lié au dérangement sur le milieu et les espèces qui y vivent. Ce problème a été abordé en adoptant une approche passive d'enregistrements, qui permet de limiter au maximum les interventions humaines *in situ*.

Bien qu'il ne soit pas nécessaire d'avoir un budget conséquent pour enregistrer l'avifaune, le système à moindre coût étant celui « fait maison » avec des composants abordables (Wroza 2019), nous nous sommes dirigés vers un outil déjà fabriqué par souci de temps.

Après avoir exposé le protocole utilisé pour inventorier l'espèce et traiter les données, nous discutons des avantages, des plus-value apportées par cette méthode, mais aussi les limites et verrous à son utilisation par les gestionnaires et les bureaux d'étude.

Nous cherchons à inventorier le Blongios nain, un petit héron aux mœurs discrètes vivant dans les roselières. Sa discrétion et l'habitat sensible au dérangement anthropique dans lequel il vit implique d'être le moins intrusif possible lors de nos études. Pour pallier ces contraintes, nous proposons une méthode d'enregistrements passifs en deux temps, basée sur la construction d'un outil de reconnaissance acoustique permettant de détecter la présence de l'oiseau au sein de son habitat pendant la saison de reproduction, d'abord en inventoriant le chant du mâle pour identifier les cantons au sein de la zone d'étude, puis en triangulant autour de ces cantons pour prouver la reproduction en enregistrant les vocalises des juvéniles.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE

La Grande Roselière de Printegarde se situe sur la commune de Le Pouzin, dans le département de l'Ardèche (07). Elle est gérée par la Compagnie nationale du Rhône (CNR), concessionnaire du Rhône pour la production d'électricité, le transport fluvial et les usages agricoles. Cette roselière est apparue progressivement à partir de 1957, date de la mise en place des aménagements CNR (barrage, canal d'aménée et usine hydroélectrique). Longtemps composé quasi exclusivement d'une unique formation végétale (roselière), le site a vu une végétation ligneuse se développer rapidement à partir des années 2000 en raison du phénomène d'aggradation naturel. À ce jour, les formations ligneuses représentent plus de 2,2 ha, soit presque un tiers de la surface globale. Le site est inclus dans la réserve de chasse et de faune sauvage du même nom.

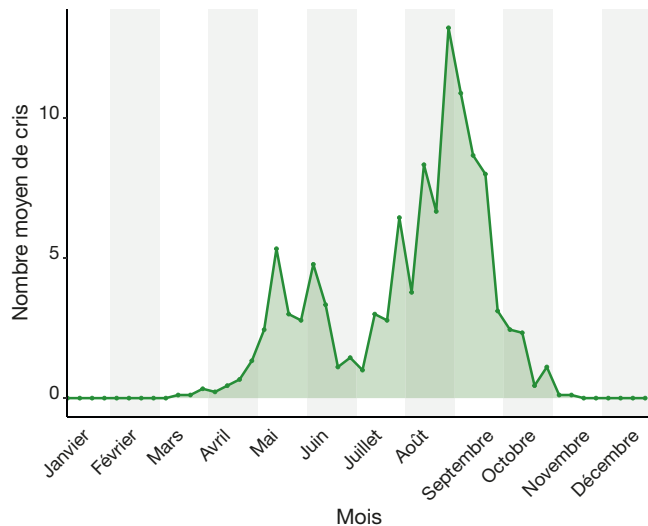


Fig. 1. — Phénologie du Blongios nain *Ixobrychus minutus* (Linnaeus, 1766) en France. Moyenne hebdomadaire des cris enregistrés lors des passages migratoires nocturnes sur la période 2017-2025. Données issues de la plateforme www.trektellen.nl (dernière consultation le 22 décembre 2025), incluant les relevés du programme « Vol de nuit » (LPO, MNHN, OFB, Biophonia, Trektellen). Crédits : Valentin Monnoy (Écosphère).

Les milieux étudiés sont remarquables pour leur biodiversité, notamment leur richesse en oiseaux paludicoles. Certaines espèces sensibles et discrètes nécessitent une attention particulière et une évaluation précise de leur statut de reproduction, c'est notamment le cas du Blongios nain.

L'évolution ligneuse de la végétation n'est pas compatible avec les enjeux de sureté. En effet, le développement d'un boisement alluvial limite les capacités d'écoulement du Rhône (relèvement des niveaux d'eau du Rhône en crue) et peut altérer le bon état de la digue sur laquelle la roselière est appuyée. Consciente des enjeux de biodiversité du site, la CNR souhaite donc réaliser des travaux d'entretien de la végétation de la Grande Roselière de Printegarde.

Le dispositif d'enregistrement acoustique appliqué à ce territoire a été préalablement testé sur les étangs de Chasse-Barbier de la réserve naturelle régionale des Isles du Drac (38) avant d'être utilisé dans la roselière de Printegarde (07), dans le but de recueillir des vocalises de référence afin de construire un « classifieur acoustique » (ce terme sera défini ultérieurement dans la partie analyses des données), de tester l'autonomie des enregistreurs et tenter de recueillir des informations sur la présence/absence du Blongios nain, son arrivée sur site de reproduction, la période et la durée d'activité sonore.

ÉTAT DES POPULATIONS DU BLONGIOS NAIN EN EUROPE, EN FRANCE ET LES PRINCIPALES MENACES QUI PÈSENT SUR L'ESPÈCE Bien que classé en « Préoccupation mineure » (LC) à l'échelle européenne (BirdLife International 2022), le Blongios nain présente une situation géographique très contrastée. La population globale, estimée entre 60 000 et 120 000 couples (BirdLife International 2022), est massivement concentrée en Europe de l'Est (plus de 75 % des effectifs, notamment en Russie,

Ukraine et Roumanie). Cette stabilité globale masque cependant un déclin marqué survenu entre 1970 et 1990 en Europe de l'Ouest et centrale, rendant l'espèce beaucoup plus rare et vulnérable dans ces régions (LPO Alsace 2003).

En France, la situation du Blongios nain est jugée critique, l'espèce étant classée « En danger » (EN) sur la *Liste rouge nationale* (MNHN *et al.* 2020). Les effectifs, estimés à seulement 500-800 couples, ont subi un effondrement de près de 50 % en douze ans (MNHN *et al.* 2020). Cette vulnérabilité s'explique par une forte spécialisation écologique qui expose l'oiseau à quatre menaces anthropiques majeures. Premièrement, la dégradation des zones humides par le drainage ou le curage inadapté des roselières réduit ses sites de nidification (LPO Alsace 2003). Deuxièmement, une gestion hydraulique défaillante (variations de niveaux pour l'irrigation ou la pisciculture) est susceptible de provoquer l'abandon ou la submersion des nids (INPN-MNHN & MEEDAT 2012). Par ailleurs, l'usage de pesticides réduit drastiquement la biomasse d'insectes dont il dépend pour se nourrir (INPN-MNHN & MEEDAT 2012). Enfin, la pression anthropique, notamment le dérangement lié aux activités nautiques estivales, perturbe gravement le succès reproducteur de l'espèce (LPO Alsace 2003).

ÉCOLOGIE ET ACOUSTIQUE DU BLONGIOS NAIN

En France, le Blongios nain est détectable dès la mi-mars en migration nocturne et s'installe sur ses quartiers de reproduction à la fin du mois d'avril.

Sur la Figure 1, représentant l'activité sonore lors de la migration en France du Blongios nain, deux pics sont mis en évidence. Le premier pic dans la première quinzaine de mai correspond au retour des adultes sur leurs sites de nidification (migration pré-nuptiale). L'activité diminue fin juin-début juillet lorsque les adultes reproducteurs sont arrivés dans leurs zones de reproduction. Le second pic a lieu fin août et correspond au départ pour les zones d'hivernage (migration post-nuptiale).

Le chant, discret, retentit surtout en mai et juin. Les mâles chanteurs sont moins actifs à la fin juillet et aucun chant n'est relevé en août, excepté certaines années où des mâles peuvent continuer de chanter jusqu'à début août pour rattraper un échec de reproduction, comme en témoigne une donnée du 2 août 2010 (Flis 2023). Malgré le peu de temps passé sur ses quartiers de reproduction (Voisin *et al.* 1991), le Blongios nain est capable de réaliser deux nichées par an (Gruwier *et al.* 2006; Filipiuk & Kucharczyk 2016). La ponte est généralement observée à partir de la seconde quinzaine de mai et jusqu'à la mi-juillet. La seconde nichée se fait en août (Kushlan *et al.* 2005; Flis 2013).

Les juvéniles, qui quittent le nid deux semaines avant de voler, sont surtout notés en juillet (Crouzier 2003).

Le Blongios nain est une espèce emblématique de la Grande Roselière de Printegarde. Une meilleure compréhension de sa répartition sur le site et du succès de sa reproduction est nécessaire, mais requiert un important effort d'inventaire, peu compatible avec sa sensibilité au dérangement. Les précédents points d'écoute en direct sur le terrain ont dénombré trois couples en 2008, et quatre cantonnements en 2016.

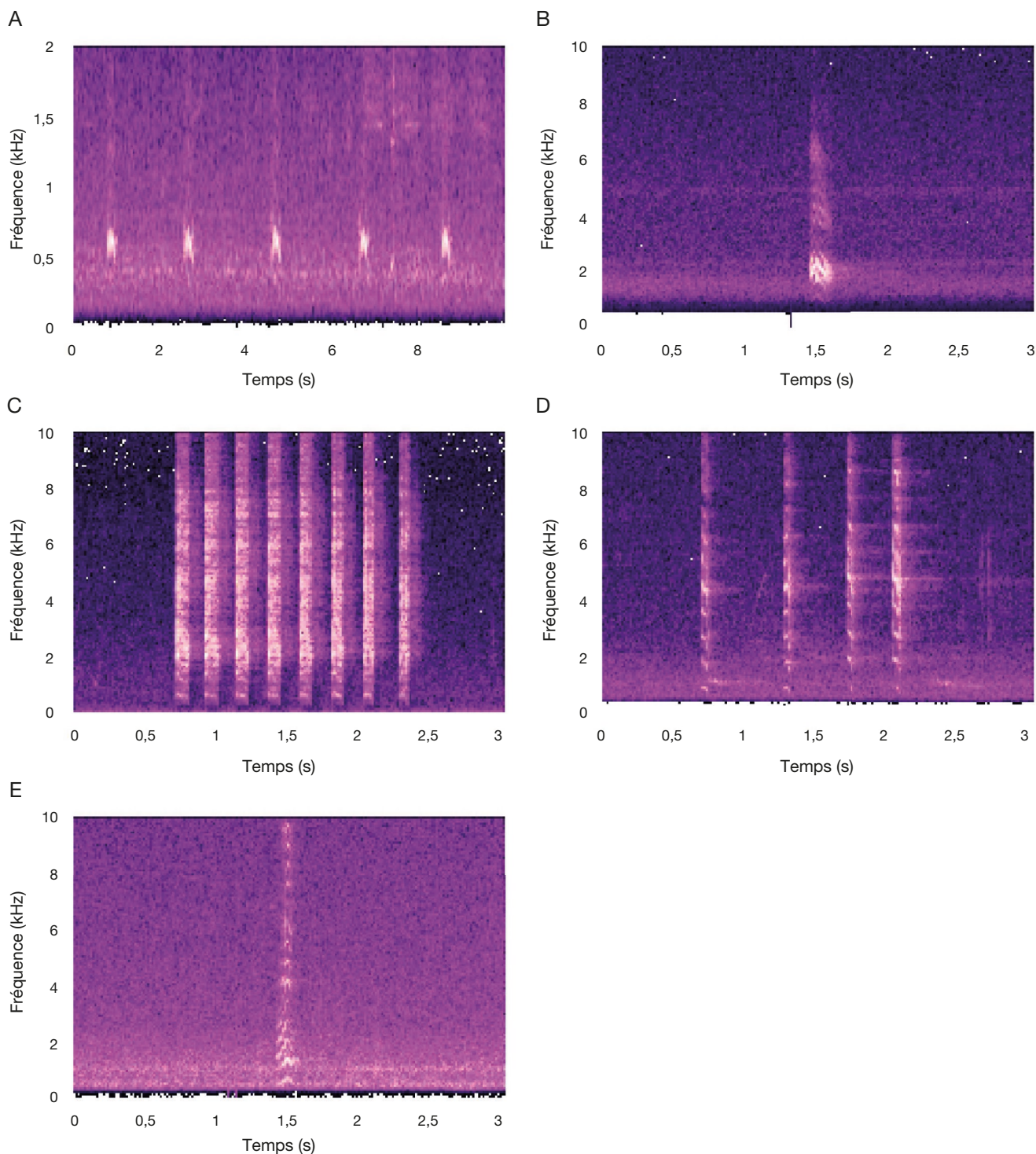


Fig. 2. — Répertoire acoustique du Blongios nain *Ixobrychus minutus* (Linnaeus, 1766) représenté par spectrogrammes (fenêtre de Hann): **A**, chant territorial du mâle (série de «hou»), axe fréquentiel limité à 2 kHz pour illustrer la structure basse fréquence, FFT 2048 pts; **B**, cri de vol nocturne (*quer call*); **C**, cri d'alarme typique; **D**, cri de quémante de juvénile (*begging call*); **E**, variante de cri de juvénile (*begging call*). Pour les panneaux **B** à **E**, l'axe fréquentiel est étendu à 10 kHz (FFT 1024 pts) afin de couvrir la totalité de la bande passante des cris. Crédits: Valentin Monnoy (Écosphère).

La reproduction de l'espèce est fortement supposée en 2019 car plusieurs observations ont été faites lors d'opérations de baguage. Notamment, une femelle et deux jeunes individus ont été capturés et un mâle a été vu en vol au-dessus de la roselière (Carrier L., com.pers. 2019).

L'environnement sonore de la Grande Roselière de Printegarde se caractérise par une dualité entre pressions anthropiques et dynamiques naturelles. Le site est marqué par des nuisances d'origine anthropique issues de la fréquentation de la piste cyclable (voix humaine), de la navigation sur le

Rhône, du trafic automobile environnant. Ce fond sonore se superpose à une ambiance biologique riche, animée par le chant des oiseaux fréquentant les buissons de la digue, le chant des fauvettes paludicoles et les chorus de grenouilles vertes au cœur de la roselière inondée.

La probabilité d'enregistrer le Blongios est donc forte sachant que l'espèce est fidèle à son site de reproduction (Schönbrodt 2005; INPN-MNHN & MEEDAT 2012) et qu'une fois installés, les déplacements des individus sont limités dans l'espace, les nids étant situés à proximité des zones de pêche (Legros & Puissauve 2015). Il est également important de noter que la zone d'étude fait 7 ha, ce qui est légèrement inférieur aux données d'une étude en Picardie où le territoire des couples oscille entre 8,5 et 33 ha (Legris *et al.* 2009). Ainsi, la taille restreinte de l'habitat disponible concentre les individus et augmente nos chances de les détecter.

Les vocalises du Blongios nain sont sourdes, brèves et peu complexes; elles se distinguent aisément de celles des autres espèces locales comme les fauvettes paludicoles. L'émission du chant en basse fréquence permet de le distinguer rapidement du brouhaha des passereaux paludicoles lors de l'analyse visuelle des sons via un sonagramme. Plusieurs sons, traduisant un comportement reproducteur, ont été recueillis depuis la banque de sons xeno-canto (Xeno-canto Foundation 2025).

Le Blongios nain est loquace en période de reproduction, mais moins le reste de l'année. Les vocalises sont souvent rauques ou coassantes, courtes mais souvent répétées, généralement depuis un couvert dense (Cramp *et al.* 1994).

« Chant territorial du mâle (song) »

Le chant territorial est émis exclusivement par le mâle (Martínez-Vilalta *et al.* 2020). Il consiste en une série de notes nuptiales brèves, produites à basse fréquence, dont la portée peut atteindre plusieurs centaines de mètres. Ces émissions sonores évoquent un aboiement étouffé ou le coassement d'un batracien – transcrites par les onomatopées « hoghrru », « woof » ou « rorr » – et sont répétées à intervalles d'environ deux secondes, entrecoupées de brèves pauses (Voigt 1950; Bauer & Glutz 1966; Wroza 2023). On l'entend lorsque l'oiseau est cantonné de fin avril à début juin. Il s'agit de la vocalise ciblée par nos recherches acoustiques (Fig. 2A; Rochefort 2006).

« Cri de vol (nocturnal flight call/flight call) »

Il est émis en basse fréquence, un « quer » profond ou un « ker-ack » gutural (Richardson & Hayman 1953); le « quer » est parfois précédé par un court « quee » émis en haute fréquence (Witherby *et al.* 1939). Ce cri souvent émis en vol est un coassement qui ressemble à celui du Bihoreau gris (*Nycticorax nycticorax* Linnaeus, 1758); mais possède un timbre plus nasal (Wroza 2023) et est généralement capté la nuit en migration (Fig. 2B; Reyez Páez 2023).

« Cri d'alarme (alarm call) »

Ces émissions sonores suivent un gradient de variabilité traduisant le niveau d'excitation de l'individu face à un congénère ou à un élément perturbateur. En l'absence de contact

visuel permettant de caractériser précisément le contexte, ces sons sont souvent regroupés sous le terme générique de « cri d'alarme ». Ces vocalisations, généralement caractérisées par des notes courtes et rauques de type « gat », « gack », « yick » ou parfois « eke eke » (Witherby *et al.* 1939) sont bien illustrées par les enregistrements de référence (Fig. 2C; Poveda 2022). Dans le cadre de cette étude, une observation visuelle sur le site de Printegarde a permis de confirmer que la femelle émet ce type de cris en présence du mâle. Toutefois, l'absence de données documentant des mâles émettant ces mêmes vocalises ne permet pas d'affirmer que ces émissions soient strictement spécifiques aux femelles. La littérature ornithologique complète ce répertoire avec des signaux plus spécifiques, non détectés sur notre site d'étude et non référencés sur la base de données xeno-canto: un cri « Aark », traduisant l'anxiété (Bauer & Glutz 1966), ainsi qu'un cri de détresse ou de dispersion de la nichée émis par la femelle, aux sonorités puissantes évoquant des « googoo », « yiip yiip » ou « yirrp yirrp » (Witherby *et al.* 1939; Bauer & Glutz 1966).

« Cri de quémante (begging call) »

Les vocalises des jeunes sont des gazouillis murmurés lorsqu'ils sollicitent leurs parents: « tu-tu, tu-tu, tu-tu » (Witherby *et al.* 1939), une variante existe avec un miaulement léger « chet-chet-chet » ou « chiätt-chiätt » (Bauer & Glutz 1966). Ces cris plaintifs de juvéniles qui quémantent s'entendent dès le mois de juillet, lors de leur première phase d'émancipation. Ils s'apparentent à des cris de corvidés lorsqu'ils reçoivent de la nourriture (Fig. 2D; Witherby *et al.* 1939; Rochefort 2011a). Une autre variante de juvénile dépendant est parfois audible jusqu'en septembre pour les pontes tardives (Fig. 2E; Rochefort 2011b). Ces vocalises ont été ciblées lors de notre seconde phase de recherche début juillet.

Les enregistrements des vocalises des juvéniles pourront nous informer sur le succès de reproduction de l'espèce tandis que le chant des mâles nous informera seulement sur le cantonnement et sur la possibilité de la reproduction. Les autres vocalises témoignent de la fréquentation du site par l'espèce (Tableau 1).

PROTOCOLES D'INVENTAIRES

La récolte des données acoustique a été pensée de façon à maximiser la probabilité d'enregistrer les vocalises des mâles chanteurs et d'évaluer l'effectivité de la reproduction. En conséquence, les appareils enregistreurs ont été posés sur site durant deux semaines entre la fin du mois de mai et le début du mois de juin, puis lors de l'émancipation des jeunes, soit les deux premières semaines du mois de juillet. Les enregistrements ont été programmés entre trois heures trente avant le coucher du soleil jusqu'à quatre heures après le lever du soleil. La pose et la récupération des enregistreurs ont nécessité une présence humaine dans la roselière. Des travées préexistantes ont permis d'optimiser l'accès à la roselière et de limiter l'impact des déplacements avec les équipements.

En théorie, le chant du Blongios nain est détectable par temps calme jusqu'à une centaine de mètres avec les capacités des enregistreurs de type Song Meter mini (Wildlife

TABLEAU 1. — Matrice de détermination du statut de reproduction du Blongios nain *Ixobrychus minutus* (Linnaeus, 1766). Les types de vocalises (chants et cris) sont traduits en codes atlas et niveaux de probabilité de nidification (possible, probable, certaine) conformément à la méthodologie de l'European Breeding Bird Census Council (EBCC).

Vocalise	Informations	Code atlas	Statut de reproduction selon l'EBCC
Chant nuptial	Cantonement d'un individu	2: Mâle chanteur (ou cris de nidification) en période de reproduction	Possible
Chant nuptial	Canton observé sur deux journées différentes à sept jours ou plus d'intervalle	4: Comportement territorial (chant, querelles avec des voisins, etc.) observé sur un même territoire deux journées différentes à sept jours ou plus d'intervalle.	Probable
Cri de vol	Passage d'un individu	Non applicable	Inconnu
Quémandage de juvéniles	Jeune dépendant	16: Nid avec jeune(s) (vu ou entendu)	Certaine
Autres cris	Présence d'un individu	Non applicable	Inconnu

Acoustics, Inc. 2024). Certaines sources indiquent que le chant est audible jusqu'à 50 mètres, plus rarement 200-300 mètres (Schönbrodt 2005), d'autres ont détecté des vocalises jusqu'à 1 km (Frommolt *et al.* 2008). Les conditions environnementales, en particulier la température et l'humidité, ont un fort impact positif sur la détection, contrairement au vent (Winiarska *et al.* 2024).

En pratique, le chant de certaines espèces sature parfois nos enregistrements, comme celui du complexe de la Grenouille verte (*Pelophylax* sp.), du Rossignol philomèle (*Luscinia megarhynchos* C.L.Brehm, 1831) et du Coucou gris (*Cuculus canorus* Linnaeus, 1758). D'autres bruits viennent parasiter aléatoirement les enregistrements, notamment des voix humaines et les aboiements de chien. Cela a pour conséquence de rendre indétectables les vocalises de Blongios nain.

Quatre enregistreurs (A, B, C et D) ont été déployés de façon à couvrir l'ensemble de la zone d'étude. Un espacement théorique de 150 mètres entre chaque unité a été adopté afin de profiter pleinement du potentiel de détection sans que les enregistreurs n'aient le même rayon d'action. Sur le terrain, les contraintes d'accès pour rejoindre les différents points ont légèrement altéré l'espacement réel des enregistreurs, sans remettre en cause la méthode. Ainsi, l'espacement réel entre les enregistreurs était de 147 m entre C&B et 158 m entre D&C et B&A.

Lors de la phase de recherche des juvéniles, nous avons décidé de cibler les zones d'activité précédemment détectées et de rapprocher les enregistreurs (E, F, G et H) pour trianguler afin de préciser la zone de nidification. Ainsi, l'espacement était de 58 m entre F&E et 75 m entre G&H.

L'enregistrement a débuté trois heures trente avant le coucher du soleil, en continu jusqu'à quatre heures après le lever (Fig. 3). Les horaires ont été calibrés lors du premier test, qui avait révélé que l'autonomie et la capacité de stockage des enregistreurs étaient adaptées. Ces créneaux horaires permettent de cibler les protos favorables à l'activité sonore de l'avifaune et d'enregistrer la nuit pour capter d'autres espèces discrètes en vol local ou en migration.

La qualité des enregistrements obtenus permettra à la fois de nous assurer de la présence de l'espèce sur le territoire et de la proximité du nid par rapport aux enregistreurs en estimant la distance relative des individus selon la puissance du signal reçu.

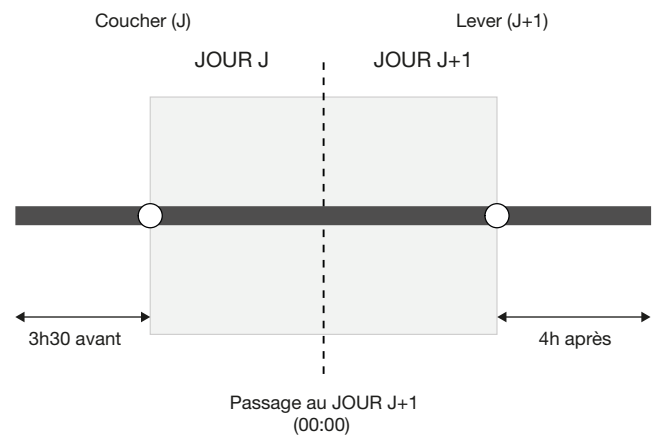


FIG. 3. — Plage horaire d'enregistrements pour le suivi des mâles chanteurs de Blongios nain *Ixobrychus minutus* (Linnaeus, 1766). Crédits: Valentin Monnoy (Écosphère).

De plus, ces enregistrements nous permettent de créer et d'alimenter une banque de sons de référence qui servira à construire un outil de reconnaissance des vocalises d'intérêt.

La durée de chaque fichier d'enregistrement a été définie sur 30 minutes afin de faciliter l'ouverture des fichiers sur l'ordinateur.

CHOIX DU MATÉRIEL D'ENREGISTREMENT

Les inventaires acoustiques ont été réalisés via des enregistreurs Song meter mini bat avec un micro audible (Wildlife Acoustics, Inc. 2024). Ce modèle a l'avantage d'être polyvalent ; par exemple, il peut être paramétré pour enregistrer des espèces dont les vocalises s'expriment dans le spectre audible (étude des oiseaux) ou dans l'in audible (étude des chauves-souris). La taille réduite du modèle permet de le transporter facilement. La période d'enregistrement est programmable avec des plages horaires depuis l'application Song Meter Configurator (Wildlife Acoustics, Inc. 2025) directement depuis son smartphone via Bluetooth (Fig. 4A). La consommation d'énergie est également intéressante, puisqu'il est possible d'atteindre une autonomie de deux semaines pour une plage d'enregistrement nocturne et crépusculaire.



Fig. 4. — Dispositif d'enregistrement automatique Wildlife Acoustics Song Meter Mini Bat équipé d'un micro audible: **A**, paramétrage de l'unité via l'application Song Meter Configurator (liaison Bluetooth); **B**, enregistreur installé sur un support naturel (tronc d'arbre); **C**, enregistreur fixé sur un pieu en bois en milieu ouvert. Crédits: Valentin Monnoy (Écosphère).

Des cartes SD de 512GB et d'une vitesse de 120 MB/s ainsi que des piles AA lithium ont été choisies afin d'assurer une autonomie d'au moins 11 jours avec le programme personnalisé que nous détaillerons par la suite. Le taux d'échantillonnage a été défini par défaut à 32 kHz et le gain à 18 dB.

Les enregistreurs disposent d'un seul microphone audible, bien qu'il soit possible d'en ajouter un second pour enregistrer en « stéréo » et avoir une information spatiale supplémentaire de la diffusion du son. L'enregistrement stéréo est utile pour suivre la migration en étudiant l'origine du son provenant des deux canaux simultanés et en déduire les directions de vol avec l'inconvénient de doubler la taille des fichiers à traiter. Cependant, les enregistrements « mono » répondent suffisamment aux besoins de l'étude puisque nous étudions des individus cantonnés dans une aire définie et que nous souhaitons seulement couvrir les déplacements locaux des oiseaux.

Le placement des enregistreurs a été opéré en priorité sur des supports naturels comme un arbre isolé (Fig. 4C) ou sur un pieu en bois (Fig. 4B) lorsqu'aucun support n'était disponible, c'est notamment le cas dans les grandes roselières où l'atterrissage est faible. L'orientation du micro omnidirectionnel a été optimisée au cas par cas pour limiter autant que possible l'impact des intempéries sur la qualité des enregistrements et sur la durée de vie de l'enregistreur.

ANALYSE DES DONNÉES

L'analyse des données consiste à réaliser un premier traitement brut des données acoustiques puis une interprétation des données pour répondre à des questions écologiques.

Traitement acoustique

Après avoir récupéré les fichiers sons sur le terrain, les enregistrements bruts au format .wav sont traités via des logiciels permettant d'afficher un sonagramme comme par exemple Audacity (Audacity Team 2024), RavenLite (Charif *et al.* 2010) ou encore Sonic visualiser (Cannam *et al.* 2010). Ceci permet de coupler une approche visuelle et auditive pour analyser les sons et d'identifier les espèces avec précision.

Dans cette étude, les enregistrements ont été analysés manuellement à l'aide du logiciel Audacity (Audacity Team 2024), en défilant le sonagramme à la recherche des vocalises d'intérêt par un ornithologue averti. Nous avons considéré qu'un chant était une série continue d'aboiement correspondant au « chant territorial du mâle ».

Par souci d'optimisation et de gain de temps, une approche semi-automatique a pu être testée en parallèle pour la recherche des chants de Blongios nain. Nous avons utilisé le logiciel Kaleidoscope pro (Wildlife Acoustics 2022) pour comparer cette approche avec l'approche manuelle faite sous Audacity. En raison des retours d'expériences peu probants obtenus avec les outils de reconnaissance automatique lors de l'étude, notamment pour l'identification d'espèces rares, nous avons opté pour le développement d'un modèle d'analyse par lots personnalisé via le logiciel Kaleidoscope pro, déjà éprouvé sur d'autres études pour le suivi des chiroptères. Toutefois,

ce constat technique est aujourd'hui nuancé par les progrès rapides de l'intelligence artificielle : l'émergence de modèles performants comme BirdNET (Kahl *et al.* 2021) rendrait désormais pertinente l'utilisation de solutions préexistantes pour de futurs travaux.

Kaléidoscope pro est utilisé et connu par les professionnels, notamment pour l'analyse acoustique des chiroptères. Ce logiciel, avec l'outil « classificateur avancé », permet une analyse par lots (*batch processing*) en créant des classifieurs (*recognizers*) acoustiques. Nous avons utilisé la fonction « classificateur avancé » du logiciel car cette option permet de se focaliser sur une vocalise en particulier contrairement à la fonction « classificateur simple » qui permet de trier tous les événements sonores en paquets de sons similaires.

La méthode se résume en trois phases : détection des vocalises d'intérêts, regroupement des sons de haute similarité entre eux et vérification des vocalises d'intérêt pour éliminer les faux positifs (détections rangées dans le mauvais groupe). La fonction de classificateur avancé traite le signal numérique des vocalises d'intérêt en estimant les coefficients de transformée en cosinus discrète (DCT) puis ajuste un modèle de Hidden-Markov (HMM) basé sur le vecteur des DCT de ces sons. Ces vecteurs sont classés à l'aide du regroupement K-means et enfin, via le sonagramme du logiciel, les sons d'intérêt apparaissent regroupés en paquets de sons similaires appelés « clusters ». Les groupes (clusters) affichés en tête de liste sont ceux les plus similaires sur le plan statistique à notre son recherché.

Les paramètres d'entrée sélectionnés sont les suivants : fréquence minimale et maximale (Hz), la durée de détection (s) et le maximum d'écart entre les syllabes (ms). Ils ont été définis au préalable en mesurant différentes strophes de chants caractéristiques (N = 50) d'individus de Blongios nain, dont 30 mesures sur les chants enregistrés sur le site de Printegarde. Les données saisies dans l'interface de Kaléidoscope pro sont disponibles en Annexes 1 et 2.

Le classifieur a été construit sous Kaleidoscope pro (Annexe 3), à partir d'une banque de sons (N = 498) construite par nos soins, regroupant 197 strophes issues de cinq sons locaux et 301 strophes issues de 20 sons étrangers, sélectionnés pour leur proximité géographique et leur qualité. Cette banque comprend une sélection des chants de l'espèce répertoriés et disponibles depuis le site Xeno canto (Xeno-canto Foundation 2025). Tous les enregistrements utilisés sont sous licence Creative Commons autorisant leur libre téléchargement ainsi que leur utilisation sous différentes conditions, dont l'utilisation à des fins non commerciales. Le format des enregistrements par défaut est le format mp3. Pour les utiliser avec Kaleidoscope pro, il faut les convertir au format wav.

Les performances du classifieur ont été testées sur la journée du 18 mai 2022, où la présence de Blongios chanteur est connue à la demi-heure près grâce à l'analyse manuelle.

Nous avons suivi les recommandations de (Knight *et al.* 2017) pour mesurer la précision, le rappel et le F-score avec $\beta = 1$; $\beta = 0.5$ et $\beta = 1.2$. Les données sont disponibles en Annexe 4.

Le taux de vrais négatifs n'a pas besoin d'être mesuré pour ces métriques.

L'analyse automatique n'a pas été testée dans le cadre de cette étude. Ce type d'analyse consiste à télécharger nos sons bruts dans un logiciel d'analyse qui va classer nos sons et leur attribuer une identification spécifique de manière autonome. Une des limites est qu'il est nécessaire d'avoir une confiance aveugle sur le fonctionnement de ce type d'outil, car seul des seuils de confiance peuvent être définis par l'opérateur et le détail de la construction du classifieur n'est pas accessible. Toutefois, il est possible d'envisager une préanalyse automatique suivie d'une phase de validation manuelle afin de réduire le temps nécessaire à l'analyse. Un des logiciels disponibles actuellement est BirdNet (Kahl *et al.* 2021) ; certains auteurs nous alertent sur le fait que la qualité de classification est hétérogène selon les vocalises des espèces (Pérez-Granados 2023; Funosas *et al.* 2024). Cependant, la performance de ces logiciels est vouée à s'améliorer avec le temps, les progrès de l'intelligence artificielle et l'augmentation des données de référence disponibles pour construire les modèles. Désormais, l'architecture de BirdNet permet l'entraînement de classifieurs personnalisés, optimisés pour la détection spécifique des vocalisations cibles.

Analyse des données éco-acoustiques

La durée d'enregistrements a été définie à 30 minutes ; chaque demi-heure d'enregistrement reçoit un score de 1 si un chanteur est détecté ou 0 en cas d'absence (Annexe 5). À partir des données binaires de l'activité du Blongios, on peut définir deux indicateurs écologiques de l'activité sonore du Blongios :

- la phénologie journalière de l'activité sonore ;
- la phénologie horaire de l'activité sonore.

Ces indicateurs nous renseignent sur les périodes de forte activité, permettant de cibler les créneaux les plus propices à la détection en plus de renseigner sur l'écologie locale de l'espèce. Ces indicateurs sont calculés à partir du ratio du nombre de plages de temps de 30 minutes positives sur le total des plages de temps échantillonnées.

La température a également été mesurée à l'échelle de la demi-heure (Annexe 6). En considérant que la détection des chants est bien représentative de l'activité, nous avons vérifié si la température était corrélée à l'activité des mâles chanteurs avec un test de corrélation de Spearman.

La génération des spectrogrammes ont été réalisées avec le logiciel R version 4.2.3 (R Core Team 2023) en utilisant les packages tuneR (Ligges 2023) et seewave (Sueur *et al.* 2008). Les paramètres de transformation de Fourier rapide (FFT) ont été fixés à 1 024 ou 2 048 points selon le type de signal, avec une fenêtre de Hann et un recouvrement de 80 %. Les graphiques ont été générés à l'aide du package ggplot2 (Wickham 2016).

RÉSULTATS

INVENTAIRES DES MÂLES CHANTEURS

Les quatre appareils fixés pendant deux semaines ont fourni 952 heures d'enregistrements (238 heures par appareil en moyenne).

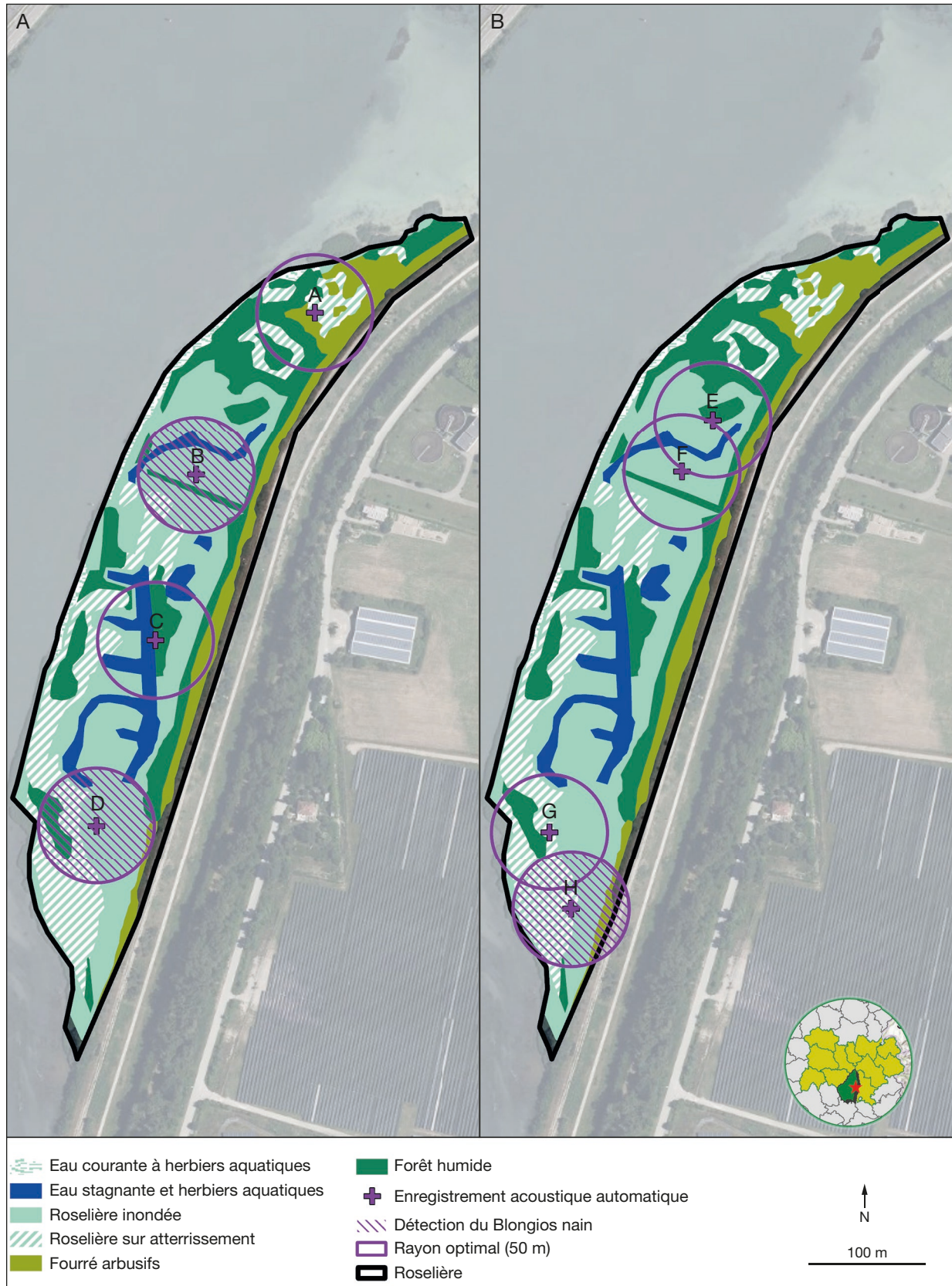


FIG. 5. — Localisation des enregistreurs acoustiques passifs et détections du Blongios nain *Ixobrychus minutus* (Linnaeus, 1766) dans la roselière de Printegarde (Drôme) en mai et juillet 2022 : les **croix violettes (A-H)** indiquent les points d'enregistrement automatique ; les **cercles violets** délimitent le rayon optimal d'écoute (50 m) ; les **zones hachurées** signalent les secteurs où l'espèce a été détectée. Le fond de carte présente la typologie des habitats (roselières, herbiers aquatiques et fourrés). Crédits : Écosphère, CNR, juillet 2024 ; Fond Orthophoto - IGN ©.

TABLEAU 2. — Synthèse comparative des temps de traitement de deux semaines de données acoustiques selon la méthode d'analyse employée (manuelle vs semi-automatique).

Indicateur	Analyse semi-automatique	Analyse manuelle
Temps total (pour deux semaines)	c. 3 h 30	c. 24 h à 32 h
Facteur temps	Référence (1×)	Huit fois plus long
Charge de travail active	Modérée (vérification des sélections)	Très haute (analyse intégrale)

L'enregistreur B, placé au sein de la roselière inondée au nord, a révélé la présence de deux mâles chanteurs et d'un cri d'alarme, probablement émis par la femelle. Le dénombrement des mâles chanteurs a été possible grâce à la détection simultanée d'un chant proche et d'un plus éloigné. Plusieurs cris révélant un état d'excitation ont été associés aux vocalises de la femelle. Deux mâles chanteurs ont également été détectés par l'enregistreur D, situé dans la roselière inondée au sud. Aucun signe distinctif au sein des vocalises n'a permis de différencier les individus. Par précaution, nous retenons seulement les effectifs maximums détectés au sein d'un même enregistrement et nous ne pouvons pas exclure que ce soient les mêmes individus qui se sont déplacés au sein de leur territoire entre les enregistreurs B et D. L'enregistreur A, situé au nord, au sein de la roselière sur atterrissement avec quelques ligneux autour n'a pas révélé de vocalises de Blongios nain. L'enregistreur C, situé à l'interface d'un boisement humide et d'une zone d'eau stagnante à proximité de la roselière inondée, n'a pas détecté non plus de vocalises (Fig. 5).

PHÉNOLOGIE DE L'ACTIVITÉ DE CHANT DU MÂLE CHANTEUR Neuf jours sur les 16 analysés ont été positifs. Le total est de 121 chants répartis en deux phases de cinq et quatre jours respectivement du 16 au 20 mai et du 26 au 29 mai 2022 (Fig. 6).

À l'aide de la compilation des horaires de détection (« Paris » UTC+2), nous pouvons constater que l'activité sonore s'étale en deux phases : de 18 h 00 à 22 h 00 puis de 4 h 00 à 10 h 00 (Fig. 7) avec dans une moindre mesure une activité à 2 h 30 (2.8% des données). Nous constatons également que 50% des détections ont été obtenues à 21 h 00 et que 43% ont été obtenues à 5 h 30, tandis que l'activité du Blongios nain tend à être nulle entre 22 h 30 et 2 h 00. Pour certains créneaux horaires : 3 h 00-3 h 30 et 9 h 00, nous ne pouvons pas déterminer si l'absence de détection acoustique correspond à un silence effectif de l'individu, à un éloignement dépassant la portée de l'enregistreur, ou à un masquage du signal par le bruit de fond environnant.

La température de l'air lors de la période d'enregistrement a varié entre 10,25 °C et 35,5°C (moyenne = 21,587+ ou - 5,423). L'activité sonore des mâles ne semble pas être corrélée avec la température (test de corrélation de Spearman, p-value = 0,38), en accord avec les résultats de Flis 2023.

D'autres variables explicatives sont à considérer pour expliquer l'activité sonore des mâles chanteurs de Blongios nain. Il est possible que la variation hormonale commande l'excitation des individus. Il est également possible que la présence de rivaux sur leur territoire soit susceptible de stimuler leur activité sonore.

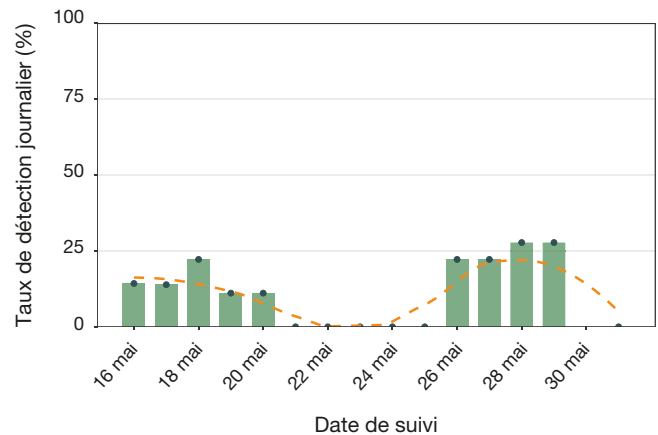


Fig. 6. — Activité journalière des mâles chanteurs de Blongios nain *Ixobrychus minutus* (Linnaeus, 1766). Cycle biologique combiné (17:00 j à 10:30 j+1) sur la période du 16 au 31 mai 2022. Roselière de Printegarde (France). Crédits : Valentin Monnoy (Écosphère).

ÉVALUATION DU SUCCES DE REPRODUCTION

Des vocalises de juvéniles ont été détectées dès le premier jour de la seconde phase de suivi le 5 juillet 2022. Les cris de quémassage simultanés ont permis d'identifier une couvée composée d'au moins trois jeunes de Blongios nain dans la partie sud.

Les cris de quémassage ont été réentendus timidement le 13 juillet 2022, également dans la partie sud du site. Nous n'avons pas pu trianguler comme prévu dans la partie sud car l'enregistreur G a cessé de fonctionner en cours de suivi à cause d'un dysfonctionnement de l'alimentation causé par une chute de tension des piles.

Les deux autres enregistreurs, situés dans la partie nord n'ont pas révélé la présence de jeunes Blongios nain (Fig. 5).

ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ DES DIFFÉRENTS MODES DE TRAITEMENTS (MANUEL VS SEMI-AUTOMATIQUE)

Analyse du temps de traitement et d'analyse des sons

Le jeu de données de deux semaines étant conséquent, nous avons préalablement choisi d'enregistrer les sons en plusieurs fichiers de 30 minutes afin de ne pas surcharger l'ordinateur lors du traitement des sons. Le temps nécessaire à l'importation des données brutes sur l'ordinateur est estimé entre 40 et 50 minutes pour notre jeu de données de deux semaines.

L'analyse semi-automatique, s'appuyant sur le logiciel Kaleidoscope Pro, nécessite un temps de traitement machine compris entre 8 et 11 minutes, complété par une phase de

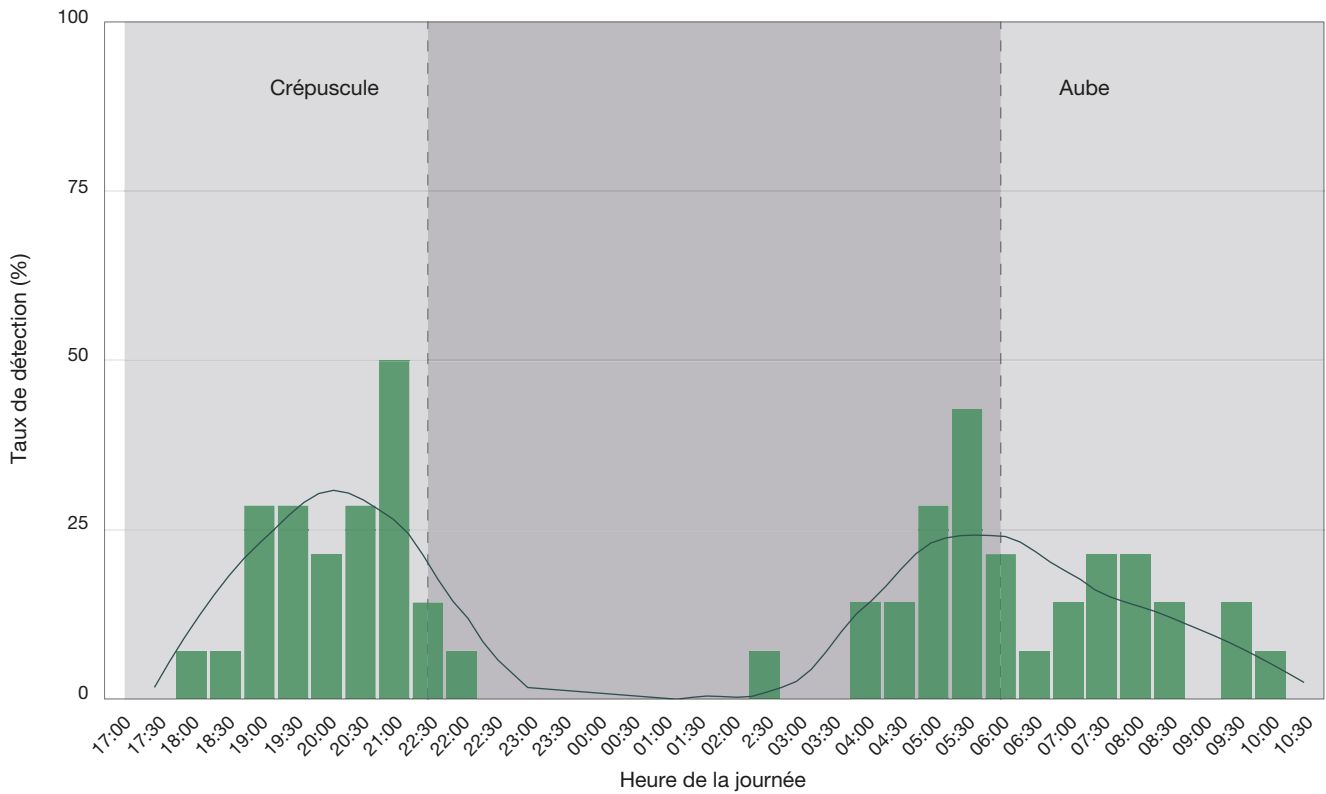


Fig. 7. — Activité horaire des mâles chanteurs de Blongios nain *Ixobrychus minutus* (Linnaeus, 1766). Cycle biologique combiné (17:00 j à 10:30 j+1) sur la période du 16 au 31 mai 2022. Roselière de Printegarde (France). Crédits : Valentin Monnoy (Écosphère).

vérification humaine de 2 h 30 en moyenne, soit un investissement total par enregistreur de 3 h 18 à 3 h 31. À l’opposé, l’analyse manuelle, basée sur une approche auditive et visuelle de sonagrammes (à raison de trois à quatre minutes en moyenne par fichier de 30 minutes), requiert entre 24 h 40 et 32 h 50 pour traiter deux semaines de données. En comparant ces deux méthodes, on constate que l’analyse manuelle s’avère au moins huit fois plus chronophage que la méthode semi-automatique (Tableau 2).

Performance du classificateur avancé de Kaléidoscope pro

La variable Beta permet de favoriser soit la Précision, soit le rappel, ou les deux à l’équilibre.

Ainsi les performances prévisionnelles du classificateur avancé sont représentées graphiquement selon les cas de figures : F-score proche de 1 = équilibre entre les deux métriques.

Dans le cas présent le F-score = 0,828. (Fig. 8).

Bien que le gain de temps soit considérable, il est nécessaire de vérifier les performances du classifieur afin de statuer sur la pertinence de l’analyse produite.

La présence de Blongios chanteur est connue à la demi-heure près grâce à l’analyse manuelle des données de l’enregistreur B sur la journée du 18 mai 2022. Ces résultats obtenus ont servi de base pour tester la performance de notre classifieur.

Parmi les 219 strophes connues au sein des enregistrements proposés au classifieur :

- 209 ont été retrouvées par le classifieur et 10 manquées, soit un taux de rappel de 95,43% ;

- 77 détections automatiques étaient erronées, soit un taux de précision de 73,08%.

Considérant le jeu de données testé comme représentatif de l’ensemble du jeu de données disponible, nous pouvons conclure que le classifieur est capable de détecter 95,43% des vocalises de mâles chanteurs tout en produisant 26,92% de mauvaises détections. Le tri manuel permet d’épurer l’analyse pour ne garder que les vraies détections. Malgré le temps nécessaire pour la vérification, l’analyse semi-automatique reste moins chronophage que l’analyse manuelle avec une précision moins élevée.

DISCUSSION

L’analyse acoustique nous a permis d’apporter des précisions sur l’activité du Blongios nain dans la Grande Roselière de Printegarde. Dans un premier temps, nous pouvons ainsi affirmer que le Blongios nain est présent au moins depuis le 16 mai et qu’un second mâle est présent les 18, 19 et 29 mai 2022. Dans un second temps, la reproduction a été confirmée grâce à la détection d’au moins trois juvéniles dans la partie sud le 05 juillet puis le 13 juillet 2022.

La répartition des espèces et l’évolution de leurs effectifs sont des indicateurs essentiels pour déterminer leur statut de conservation dans les listes rouges (UICN 2012). Les espèces à enjeux de conservation bénéficient d’actions de protection aux échelles locales, régionales, nationales à européennes.

Cependant, la connaissance précise de ces indicateurs demande un investissement et un effort d'échantillonnage coûteux en moyens humains et en temps et peut susciter du dérangement et des perturbations non négligeables sur des espèces ou sur des espaces sensibles.

L'avifaune est aujourd'hui suivie et étudiée à travers des méthodes d'inventaires basées sur l'observation des individus, des nids et de l'écoute de leur chant ou de leur cri. Bien qu'optimale dans la plupart des cas, l'efficacité de ces méthodes dans certains contextes peut être interrogée.

Le suivi acoustique passif (PAM) de l'avifaune permettrait d'offrir la possibilité de pallier les limites de ces protocoles en réduisant le temps de présence humaine, et donc le degré de perturbation, tout en augmentant l'effort d'échantillonnage.

À travers l'exemple d'une étude réalisée sur le Blongios nain nichant dans la Grande Roselière de Printegarde, nous avons cherché à comprendre si cet outil, qui tend à être de plus en plus utilisé par les scientifiques, peut devenir le nouvel allié des ornithologues passionnés et/ou professionnels.

LES AVANTAGES ET LA PLUS-VALUE APPORTÉE PAR LA BIOACOUSTIQUE PASSIVE

Nous avons démontré que l'approche acoustique passive nous a permis de rendre compte de la présence des espèces. En ciblant les vocalises des mâles chanteurs, nous avons d'abord pu estimer la probabilité de reproduction du Blongios nain en révélant une nidification de l'espèce selon les codes atlas (Hagemeijer & Blair 1997) et en estimant l'effectif reproducteur. Ensuite, en ciblant les juvéniles, nous avons pu révéler la reproduction certaine de l'espèce dans la roselière de Printegarde. Le cantonnement de l'espèce aurait pu être prédit à l'aide d'une approche classique par points d'écoute à l'aube ou au crépuscule, répétées dans le temps entre mi-mai et fin-juin. En effet, dans notre cas d'étude, la proximité d'une piste cyclable surplombant la roselière permet de couvrir la zone sans besoin de pénétrer dans le milieu. Cependant, il est impossible de prédire avec certitude le nombre minimal de passages nécessaire pour obtenir des résultats car la détection de cette espèce discrète reste délicate et localement limitée par les conditions environnementales. De plus, la date d'émancipation des jeunes est difficilement prédictible sans étudier la phénologie acoustique de l'espèce en amont pour cibler les zones de fortes activités. Un inventaire continu est donc recommandé pour augmenter la probabilité de détecter l'espèce et permettre de conclure sur son cantonnement. Cela impliquerait de se déplacer souvent sur site pour assurer un effort d'échantillonnage suffisant. L'approche classique de points d'écoute permet donc de statuer sur la présence-absence mais devient très chronophage lorsque qu'il s'agit de suivre l'activité sonore sur une longue période, là où l'approche acoustique passive permet de résoudre ce problème avec un coût humain réduit. Concernant le recueil de preuves certaines de reproduction, la triangulation à l'aide de plusieurs enregistreurs offre l'avantage de préciser la localisation du nid de l'espèce sans l'impacter pendant cette période sensible.

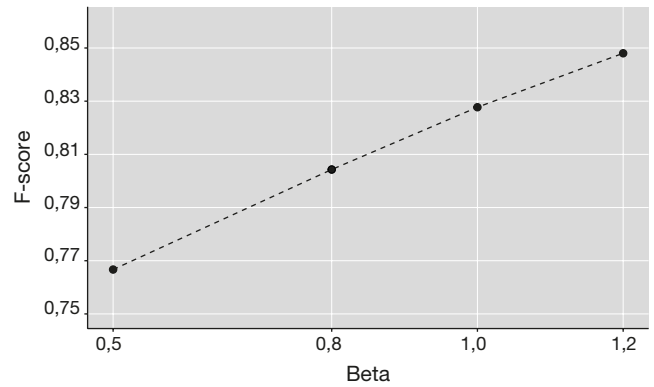


Fig. 8. — Évolution de la performance globale (F-score) du classifieur en fonction du paramètre : arbitrage entre précision et rappel. Beta < 1, accorde plus de poids à la précision (réduction des faux positifs); Beta = 1, équilibre parfait entre précision et rappel (F-score); Beta > 1, accorde plus de poids au rappel (réduction des faux négatifs/oublis). Crédits: Valentin Monnoy (Écosphère).

Connaître l'évolution du succès reproducteur permet de confirmer l'attrait d'un secteur au sein d'une zone afin de mieux cibler les actions de gestion pour le bon déroulement du cycle biologique de l'espèce.

La bioacoustique passive pourrait ainsi révéler de manière plus exhaustive la présence d'individus sur un territoire présentant ces caractéristiques. De la même manière, cette approche tend à être adéquate dans des contextes d'inventaires au sein de milieux très sensibles et à enjeux de conservation comme la roselière de Printegarde. En effet, cette approche nous a permis d'apporter des informations précieuses en augmentant l'effort de prospection tout en minimisant l'impact sur l'environnement de l'espèce cible. Il n'est ainsi pas nécessaire de capturer les individus (Gilbert & McGregor 1994; Hartwig 2005) et les déplacements sur site sont plus faibles qu'un inventaire actif classique (Holmes *et al.* 2014), notamment grâce à la capacité de stockage des données et de la durée de vie des batteries.

À l'issue de ces différents tests, nous pouvons proposer une méthode de suivi bioacoustique passive, adaptée aux espèces discrètes. Elle se résume par l'utilisation d'enregistreurs acoustiques placés de sorte à couvrir le maximum de la surface de la zone d'étude pendant la période de reproduction, en portant une attention particulière sur le créneau d'activité de l'espèce. Dans notre cas d'étude, le créneau propice identifié pour le Blongios nain chanteur peut être également ciblé par une approche active complémentaire au suivi passif puisque la topographie du site permet via la piste cyclable périphérique.

Il est possible de distinguer des singularités au sein des vocalises et les associer à un individu dans le but de suivre leur évolution dans le temps et l'espace, afin d'apporter de précieuses informations pour la conservation de l'espèce; cela a pu être testé avec succès sur le Butor étoilé (*Botaurus stellaris* (Linnaeus, 1758)) par Terry *et al.* (2005) pour dénombrer et suivre l'évolution de la population dans le temps. Nous avons dénombré les individus lorsqu'ils émettaient simultanément des vocalises, mais nous ne nous sommes pas risqués sur la distinction des individus par leur signature acoustique car

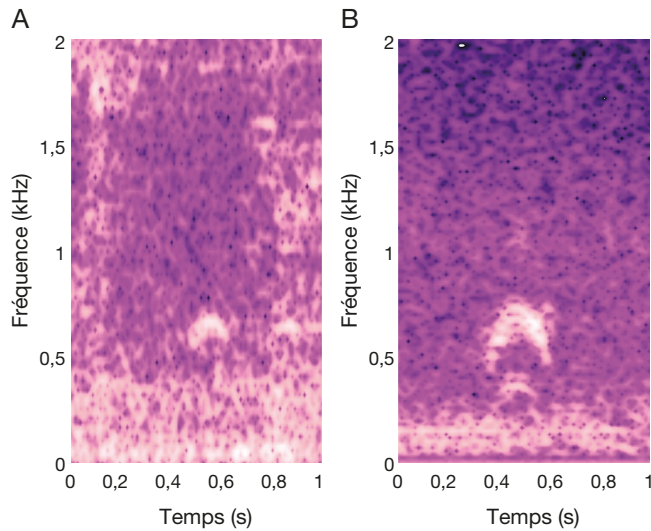


Fig. 9. — Influence du rapport signal/bruit (SNR) sur la définition spectrale des chants de Blongios nain *Ixobrychus minutus*: **A**, signal à faible rapport signal/bruit (Low SNR); **B**, signal à fort rapport signal/bruit (High SNR). Le contraste réduit et le masquage des harmoniques sur le panneau A limitent l'extraction des caractéristiques fréquentielles, augmentant le risque de non-détection (faux négatifs) par le classifieur. Cette dégradation du signal impacte directement le rappel et, par extension, la valeur du F-score du système de reconnaissance automatique. Crédits : Valentin Monnoy (Écosphère).

nous n'avons pas recueilli suffisamment d'enregistrements où le rapport signal-bruit était élevé (high SNR), c'est-à-dire que dans la plupart des enregistrements, le signal n'était pas suffisamment distinguable du bruit de fond pour permettre des mesures précises. En effet, pour étudier les signatures acoustiques individuelles, il est nécessaire d'avoir des enregistrements de qualité et de comparer les chants entre eux sur plusieurs années pour obtenir des informations sur la survie et la fidélité des individus au site. Il pourrait donc être intéressant de réaliser une étude plus poussée dans ce sens.

LES FREINS ACTUELS A L'UTILISATION ET L'APPROPRIATION DE LA BIOACOUSTIQUE PASSIVE PAR LES ORNITHOLOGUES

Bien qu'il existe certains avantages notables à utiliser cette approche, quelques points pouvant entraver l'appropriation et le déploiement de la bioacoustique passive persistent auprès des ornithologues passionnés et/ou professionnels réalisant des suivis.

Le contexte sonore

Le premier frein potentiel est lié aux perturbations sonores sur le site. En effet, l'efficacité de cette approche peut être limitée si le site étudié est un lieu de passage, de loisirs ou si le bruit ambiant est trop important. Dans le cas de notre étude, les concerts du 14 juillet sur la rive opposée et le vent dans la roselière ont parfois saturé les enregistrements, rendant la détection des juvéniles impossibles. Également, le chant de certaines espèces peut dans certains cas saturer nos enregistrements, comme celui du complexe hybride (klepton) des Grenouilles vertes du genre *Pelophylax* Fitzinger, 1843, notamment la Grenouille commune *Pelophylax kl. esculentus* (Linnaeus, 1758), du Rossignol philomèle *Luscinia megarhynchos* et du Coucou gris *Cuculus canorus*. D'autres bruits viennent

parasiter aléatoirement les enregistrements, notamment des voix humaines et les aboiements de chien. Ainsi, la proximité directe avec une mare est à éviter autant que possible pour limiter la saturation des enregistrements. Une attention particulière est à porter sur les roseaux susceptibles de frotter sur le microphone lorsque le vent souffle. Pour éviter ce problème il est judicieux de fixer l'enregistreur sur un support naturel de la roselière, comme un saule, ou sur un support artificiel, comme un pieu en bois. Un support dépassant de la roselière permet d'éviter les frottements de la végétation avec le micro, mais devient directement exposé au vent. Il n'y a pas de consignes universelles pour le déploiement des unités d'enregistrements car la plupart sont inévitables, l'expérience du terrain étudié permet d'optimiser le positionnement pour limiter au maximum les contraintes précédemment citées.

La qualité et la portée du signal

Le second frein potentiel est le manque d'informations concernant la portée du chant de l'espèce ciblée par les inventaires. En effet, lors de la définition du protocole d'échantillonnage, nous avons recueilli peu d'informations concernant le choix d'espacement entre les unités d'enregistrements pour notre inventaire acoustique en roselière; nous avons donc dû tester la disposition de manière arbitraire en prenant en compte la capacité théorique de l'enregistreur SMmini de Wildlife Acoustics et la puissance d'émission de notre espèce cible. Les meilleurs résultats de l'analyse semi-automatique ont été obtenus lorsque le chanteur se situait à une distance inférieure ou égale à 50 mètres. Cette distance théorique a été obtenue en mesurant grâce à un système d'informations géographiques, la distance entre un mâle chanteur observé sur le terrain et l'enregistreur placé à proximité. Au-delà, la qualité du signal n'est pas assez bonne pour profiter des performances du classifieur créé sur Kaléidoscope pro (Fig. 9).

La qualité du signal, quantifiée grâce au ratio signal-bruit (SNR) est un paramètre crucial pour le bon fonctionnement de ce genre d'outil (Darras *et al.* 2020).

Ainsi, selon le type d'analyse prévue (manuelle ou automatique), et la précision souhaitée pour l'inventaire, il est important de connaître la portée du chant dans l'environnement étudié, et de le tester en amont de la campagne d'inventaire.

Le temps de traitement des enregistrements

Le troisième frein potentiel est le traitement des données acoustiques. En effet, dans le cadre de cette étude nous avons mis en évidence que le traitement des sons enregistrés réalisé manuellement à l'aide de logiciels, tels que Audacity, Ravenlite, Sonic Visualizer, peut être chronophage.

Néanmoins, la prise en main de logiciel permettant l'affichage des sonagrammes est la plus appropriée pour distinguer les vocalises lointaines et sa précision dépend de l'expérience de l'opérateur. Cette analyse manuelle réduit notablement la perte de données ou de faux positifs. Elle est donc intéressante pour étudier les subtilités dans le chant des individus et étudier l'activité de l'espèce. Dans le cadre de notre étude, l'analyse manuelle nous a permis par exemple d'étudier la phénologie de l'activité de chant de l'espèce sur le site, de confirmer la

présence de la femelle et d'un second mâle chanteur, là où notre classifieur se limitait à la détection des vocalises des mâles chanteurs sans dénombrer les sources d'émissions.

Dans le cas où l'utilisateur souhaiterait réduire le temps de traitement des données acoustiques, il est possible d'automatiser la reconnaissance à l'aide de logiciel dédié (Swiston & Mennill 2009). Il est à noter que le temps d'analyse (manuelle et semi-automatique) sera d'autant plus grand que l'activité sonore sur le site étudié sera importante. Nous avons démontré qu'en compilant les chants de Blongios nain en notre possession et ceux issus de Xeno-canto, il est possible de créer un classifieur efficace sur les périodes de fortes activités, permettant de déterminer la présence ou l'absence de l'espèce au sein de la roselière de Printegarde. L'utilisation de classifieur requiert une grande précaution dans l'interprétation des résultats, une vérification manuelle est donc recommandée pour produire une étude pertinente de l'activité ou du comportement de chant. Il est important de garder à l'esprit qu'un suivi automatisé peut créer des faux positifs et des faux négatifs (Blumstein *et al.* 2011), ce qui peut biaiser la détection de l'espèce en croyant l'avoir détecté (faux positif) ou en manquant sa détection (faux négatif). Il convient donc de tester le classifieur créé avant de l'utiliser afin de s'assurer de son efficacité pour détecter notre vocalise d'intérêt. Un temps de préparation en amont des inventaires est donc à prévoir, mais cela peut être considéré comme un investissement futur, qui fera gagner du temps à l'ornithologue lors de l'analyse des données.

Les performances du classifieur dépendent essentiellement de la proximité des sons de référence avec les sons recherchés dans les enregistrements (Gillespie *et al.* 2013 ; Russo & Voigt 2016). Ce modèle est voué à être amélioré en augmentant le nombre de vocalises modèles appartenant au même environnement sonore (Knight *et al.* 2017), par exemple, les classificateurs de mammifères marins ont révélé être 14.4% moins précis quand les données d'entraînement étaient issues de différentes régions que les données analysées (Erbs *et al.* 2017).

Dans le cas de notre étude, faute de suffisamment de sons de juvéniles de référence, nous n'avons pas pu construire un classifieur pour les vocalises de jeunes Blongios nain. Il reste cependant probable de les détecter car ces derniers se déplacent aisément dans la roselière avant même de savoir voler (Le Marechal & Lesaffre 2000) et leur cri de quémardage trahit leur présence.

Nous avons fait le choix de travailler avec Kaléidoscope 5 pro même si d'autres logiciels d'analyse existent. Certains logiciels n'ont pas été retenus pour notre étude car ils n'étaient plus disponibles en 2022 : SongScope et Xbat. Le logiciel Raven Pro est payant comme Kaléidoscope pro, mais nous n'avons pas trouvé de guide d'utilisation suffisamment clair pour l'analyse par lots.

Il existe d'autres outils semi-automatiques de traitement acoustique permettant la classification des sons tels que le package warbleR (Araya-Salas & Smith-Vidaurre 2016) et le package monitoR (Katz *et al.* 2016) du logiciel R. Cependant, ces outils demandent une connaissance dans le langage de programmation R et des ordinateurs suffisamment puissants pour calculer dans un temps raisonnable. Notons que la

méthode de corrélation par point binaire du package monitoR révèle de bonnes performances pour la classification d'après Knight *et al.* (2017).

RECOMMANDATIONS

Le nombre d'enregistreurs

Le choix du nombre d'enregistreurs pour couvrir la zone d'étude n'est pas simple à évaluer, car il dépend du contexte paysager, de la surface à couvrir et de la couverture sonore des enregistreurs. Dans le cas du Blongios nain, notre zone d'étude plutôt réduite et la bonne connaissance du site par les gestionnaires nous ont aidé à identifier les zones adéquates, faciles d'accès et où la présence de l'espèce était envisageable. Ainsi, nous recommandons aux futurs utilisateurs d'unités d'enregistrement passif de connaître l'écologie des espèces ciblées, les caractéristiques du site et de travailler en collaboration avec son gestionnaire. Il est également intéressant de pouvoir faire quelques tests en amont des inventaires, afin de déterminer la distance à laquelle l'enregistreur détecte le chant de l'espèce cible. Ces tests permettront notamment d'évaluer si les enregistrements ont une qualité suffisante avec une attention particulière du rapport signal-bruit, si le classifieur cible efficacement les chants entendus sur le site et de décider de réaliser une analyse semi-automatique ou automatique pour étudier la phénologie de l'espèce.

Le traitement des données

Le choix dans le type de traitement des données dépendra de l'objectif visé, de l'exhaustivité souhaité sur l'activité de chant, de la qualité et de la quantité de sons enregistrés, de l'agilité à utiliser les différents logiciels, de la performance de l'ordinateur et du temps disponible pour réaliser cette analyse. Il est à noter que si l'on souhaite quadriller pleinement un territoire, il faudrait multiplier le nombre d'enregistreurs dans le but de quadriller la zone et croiser les détections pour cartographier l'utilisation du site par l'espèce avec d'autant plus de précision (Celis-Murillo *et al.* 2009). Attention toutefois à ne pas pénaliser le milieu étudié en adoptant une approche trop intrusive ; il est plus judicieux d'utiliser par exemple des accès existants (travées de baguage, canaux, roubines, places de pêche...).

CONCLUSION

La bioacoustique passive est une approche intéressante délivrant des informations précises sur les individus d'une population. Cette méthode peut ainsi devenir un outil précieux pour l'ornithologie.

Cette approche permet notamment de recueillir des données inédites sur la présence d'individus, l'activité sonore et la reproduction. Cependant, celle-ci présente certaines limites, tels que le temps de traitement des données, l'achat de matériel et l'influence des perturbations sonores sur la capacité de détection de l'espèce cible, pouvant freiner son utilisation et son appropriation par les gestionnaires, professionnels ou passionnés d'ornithologie. Il convient alors d'adapter la méthode à la zone et à l'espèce étudiée.

Cette approche a l'avantage non négligeable de réduire l'impact sur l'environnement de l'espèce mais reste limitée lors de l'automatisation du traitement des sons. Des améliorations sont requises dans la fabrication des modèles de reconnaissance, notamment sur la disponibilité des sons de référence adaptés à l'environnement sonore de l'étude, et sur l'accessibilité des outils de reconnaissance automatique pour que chacun puisse créer et adapter son modèle. À l'heure actuelle, le gain de temps de l'analyse automatique prévaut sur la qualité. En effet, des limites techniques s'appliquent sur la fiabilité des classificateurs acoustiques, notamment dans des milieux où les vocalises de l'espèce cible n'ont pas un signal suffisamment puissant pour être distinguées du bruit ambiant. Ainsi, l'analyse automatique n'est pas une solution miracle destinée à remplacer l'analyse manuelle.

Il est à noter que la bioacoustique passive n'est pas vouée à remplacer l'ornithologie, en effet cette dernière ne peut être mise en place sans des connaissances précieuses sur l'écologie de l'espèce et le site en lui-même. Également, les résultats ne peuvent être interprétés et vérifiés qu'avec le regard exercé d'un professionnel.

Cette étude démontre que la bioacoustique passive constitue un levier méthodologique majeur dont la généralisation serait bénéfique au suivi des populations de Blongios nain. L'emploi de cette technologie permet de recueillir des données précises sur la phénologie sonore de l'espèce tout en minimisant l'impact par rapport aux méthodes d'inventaire actives. Au-delà d'une approche monospécifique, ce dispositif offre l'opportunité stratégique de coupler les suivis de plusieurs taxons à enjeux, tels que les râles et les marouettes. Le succès de cette méthode sur le Blongios nain, dont les vocalisations graves s'insèrent dans un paysage sonore saturé, souligne le potentiel de l'acoustique passive. Si elle s'avère performante pour une espèce aussi exigeante techniquement, elle est d'autant plus prometteuse pour des oiseaux aux signaux plus contrastés, comme l'Engoulevent d'Europe (*Caprimulgus europaeus* Linnaeus, 1758) ou les chouettes de montagne.

Il est en théorie possible de différencier les individus chanteurs grâce à leur signature vocale et cela serait intéressant de caractériser les différents chants des différentes populations et sous-populations du territoire afin de distinguer les différences individuelles et d'éventuels accents régionaux.

Les progrès concernant la programmation d'algorithmes de reconnaissance automatique pourront prochainement offrir un gain de temps considérable pour les suivis.

Contribution des auteurs

Valentin Monnoy et Cédric Seguin ont conçu le protocole d'étude. Valentin Monnoy a réalisé les inventaires acoustiques de terrain, assuré l'analyse des données et rédigé la version initiale du manuscrit avec l'appui de Cédric Seguin. La supervision scientifique, la vérification méthodologique ainsi que la révision critique du texte ont été assurées par Bénédicte Felter, Jean-Louis Michelot et Arnaud Da Silva. En tant que référents de la compagnie nationale du rhône (CNR) pour le site d'étude, Matthieu Rocle et Franck Pressiat ont vérifié

les développements relatifs au site de Printegarde ainsi que la cohérence globale des propos tenus dans l'article. Tous les auteurs ont relu et validé la version finale du manuscrit.

Remerciements

Nos remerciements s'adressent à Pierre Radeschi (RNR des Isles du Drac & de l'Étang de Haute-Jarrie) pour son accueil sur le site de Chasse-Barbier, ayant permis l'expérimentation du dispositif acoustique. Nous exprimons notre gratitude à Marc Thauront pour avoir rendu possible la valorisation de ces travaux de recherche en bioacoustique. Nous remercions également Thibaut Godot pour la réalisation de la cartographie de synthèse de la roselière de Printegarde. Nos remerciements vont aussi à Sylvain Perry (Compagnie Nationale du Rhône) pour son suivi et la facilitation des inventaires menés en 2022 sur le domaine concédé. Enfin, la qualité de ce manuscrit a bénéficié des relectures attentives et des conseils avisés de Fabrice Olivereau et Stanislas Wroza.

RÉFÉRENCES

- ABRAHAMS C. 2019. — Comparison between lek counts and bioacoustic recording for monitoring Western Capercaillie (*Tetrao urogallus* L.). *Journal of Ornithology* 160 (3): 685-697. <https://doi.org/10.1007/s10336-019-01649-8>
- ARAYA-SALAS M. & SMITH-VIDAURRE G. 2016. — warbleR: an R package to streamline analysis of animal acoustic signals. *Methods in Ecology and Evolution* 8 (2): 184-191. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12624>
- AUDACITY TEAM 2024. — *Audacity: Free Open Source Software for Recording and Editing Sounds*. <https://www.audacityteam.org/> (dernière consultation le 14 juin 2026).
- BAUER K. M. & GLUTZ V. B. 1966. — *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*. Herausgegeben von Günther Niethammer. Frankfurt am Main, Akademische Verlagsgesellschaft. Band 1. Gaviiformes-Phoenicopteriformes, 1966. *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)* 20 (2): 203-204.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL 2022. — *European Red List of Birds 2021*. LU, Publications Office, Luxembourg, 72 p.
- BLUMSTEIN D. T., MENZILL L., TESSIER P., BRUMM H., BUFFRÉNIL V. D., COSTA F., CROOK S., FARINA A., FROMMOLT K.-H., BARDELI R. & CLAUSEN M. 2011. — Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: applications, technological considerations and prospectus. *Journal of Applied Ecology* 48 (3): 758-767. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01993.x>
- CANNAM C., LANDONE A. & SANDLER M. 2023. — *Sonic Visualiser. Proceedings of the 18th ACM international conference on Multimedia*. ACM, New York: 1421-1424. <https://www.sonicvisualiser.org/> (dernière consultation le 14 juin 2026).
- CELIS-MURILLO A., DEPPE J. L. & ALLEN M. F. 2009. — Using soundscape recordings to estimate bird species abundance, richness, and composition. *Journal of Field Ornithology* 80 (1): 64-78. <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2009.00206.x>
- CHARIF R., WAACK A. & STRICKMAN L. 2010. — *Raven Pro 1.4 User's Manual*. The Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York. <https://ravensoundsoftware.com/> (dernière consultation le 14 juin 2026).
- CONSTANTINE M. 2006. — *The Sound Approach to Birding: A Guide to Understanding Bird Sound*. Sound Approach, Poole, Dorset, 192 p.

- CRAMP S., SIMMONS C. & PERRINS C. 1994. — *Handbook of the Birds of Europe the Middle East and North Africa, The Birds of the Western Palearctic*. Vols 1-9. Oxford University Press, Oxford. (Waders to Gull) : 255-260.
- CRUZIER J.-B. 2003. — *Oiseaux nicheurs de Rhône-Alpes. Monographie du Blongios nain*. Centre Ornithologique Rhône-Alpes (CORA), Lyon: 44-45.
- DARRAS K. F. A., DEPPE F., FABIAN Y., KARTONO A. P., ANGULO A., KOLBREK B., MULYANI Y. A. & PRAWIRADILAGA D. M. 2020. — High microphone signal-to-noise ratio enhances acoustic sampling of wildlife. *PeerJ* 8 : e9955. <https://doi.org/10.7717/peerj.9955>
- DEMA T., TOWSEY M., SHERUB S., SONAM J., KINLEY K., TRUSKINGER A., BRERETON M. & ROE P. 2020. — Acoustic detection and acoustic habitat characterisation of the critically endangered white-bellied heron (*Ardea insignis*) in Bhutan. *Freshwater Biology* 65 (1) : 153-164. <https://doi.org/10.1111/fwb.13217>
- ERBS F., ELWEN S. H. & GRIDLEY T. 2017. — Automatic classification of whistles from coastal dolphins of the southern African subregion. *The Journal of the Acoustical Society of America* 141 (4) : 2489-2500. <https://doi.org/10.1121/1.4978000>
- FILIPCIUK M. & KUCHARCZYK M. 2016. — A puzzling case of successful double-brooding in the little bittern *Ixobrychus m. minutus*. *Ardea* 104 (2) : 182-186. <https://doi.org/10.5253/arde.v104i2.a3>
- FLIS A. 2023. — Vocal activity of little bittern (*Ixobrychus m. minutus*) during the Breeding Season. *Waterbirds* 45 (2) : 213-217. <https://doi.org/10.1675/063.045.0212>
- FLIS A. 2013. — Population status and breeding biology of little bittern *Ixobrychus minutus* on the fishponds in Janowskie Forests Landscape Park (SE Poland). *Chrońmy Przyrodę Ojczyzn* 69 (4) : 294-303.
- FROMMOLT K.-H., TAUCHERT K. & KOCH M. 2008. — Advantages and disadvantages of acoustic monitoring of birds – realistic scenarios for automated bioacoustic monitoring in a densely populated region, in FROMMOLT K.-H., BARDELI R. & CLAUSEN M. (eds), *Computational Bioacoustics for Assessing Biodiversity. Proceedings of the International Expert meeting on IT-based detection of bioacoustical patterns*. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn (BfN-Skripten 234) : 83-92.
- FUNOSAS D., BARBARO L., SCHILLÉ L., ELGER A., CASTAGNEYROL B. & CAUCHOIX M. 2024. — Assessing the potential of BirdNET to infer European bird communities from large-scale eocoacoustic data. *Ecological Indicators* 164 : 112146. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112146>
- GILBERT G. & MCGREGOR P. K. 1994. — Vocal individuality as a census tool: practical considerations illustrated by a study of two rare species. *Journal of Field Ornithology* 65 (3) : 335-348. <https://www.jstor.org/stable/4513949>
- GILLESPIE D., CAILLAT M., GORDON J. & WHITE P. 2013. — Automatic detection and classification of odontocete whistles. *The Journal of the Acoustical Society of America* 134 (3) : 2427-2437. <https://doi.org/10.1121/1.4816555>
- GRUIER X., DUFRESNE L. & MORAND A. 2006. — Observation d'une deuxième reproduction chez une femelle baguée de Blongios nain. *Alauda* 1 (74) : 180-182.
- HAGEMEIJER W. J. M. & BLAIR M. J. 1997. — *The EBCC Atlas of European Breeding Birds: Their Distribution and Abundance*. T. & A. D. Poyser, London, 903 p.
- HARTWIG S. 2005. — Individual acoustic identification as a non-invasive conservation tool: an approach to the conservation of the African wild dog (*Lycan pictus*) (Temminck, 1820). *Bioacoustics* 15 (1) : 35-50. <https://doi.org/10.1080/09524622.2005.9753537>
- HASELMAYER J. & QUINN J. S. 2000. — A comparison of point counts and sound recording as bird survey methods in Amazonian Southeast Peru. *The Condor* 102 (4) : 887. [https://doi.org/10.1650/0010-5422\(2000\)102\[0887:ACOPCA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1650/0010-5422(2000)102[0887:ACOPCA]2.0.CO;2)
- HOLMES S. B., MCILWRICK K. A. & VENIER L. A. 2014. — Using automated sound recording and analysis to detect bird species-at-risk in southwestern Ontario woodlands. *Wildlife Society Bulletin* 38 (3) : 591-598. <https://doi.org/10.1002/wsb.421>
- INPN-MNHN & MEEDAT 2012. — *Cahier d'Habitat 'Oiseaux': Blongios nain, Ixobrychus minutus (Linné, 1766)*. Inventaire national du patrimoine naturel, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. <https://inpn.mnhn.fr/docs/cahab/fiches/Blongios-nain.pdf> (dernière consultation le 14 juin 2026).
- KAHL S., WOOD C., EIBL M. & KLINCK H. 2021. — BirdNET: A deep learning solution for avian diversity monitoring. *Ecological Informatics* 61 : 101236. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101236>
- KATZ J., HAFNER S. & DONOVAN T. 2016. — Tools for automated acoustic monitoring within the R package monitoR. *Bioacoustics* 25 (2) : 1-14. <https://doi.org/10.1080/09524622.2016.1138415>
- KERSHENBAUM A., BLUMSTEIN D. T., ROCH M. A., AKÇAY Ç., BACKUS G., BEE M. A., BOHN K., CAO Y., CARTER G., CĂȘAR C., COEN M., DERUITER S.L., DOYLE L., EDELMAN S., FERRER-I-CANCHO R., FREEBERG T. M., GARLAND E. C., GUSTISON M., HARLEY H. E., HUETZ C., HUGHES M., HYLAND BRUNO J., ILANY A., JIN D. Z., JOHNSON M., JU C., KARNOWSKI J., LOHR B., MANSER M. B., MCCOWAN B., MERCADO E., NARINS P. M., PIEL A., RICE M., SALMI R., SASAHARA K., SAYIGH L., SHIU Y., TAYLOR C., VALLEJO E. E., WALLER S. & ZAMORA-GUTIERREZ V. 2016. — Acoustic sequences in non-human animals: a tutorial review and prospectus. *Biological Reviews* 91 (1) : 13-52. <https://doi.org/10.1111/brv.12160>
- KNIGHT E. C., HANNAH K. C., FOLEY G. J., SCOTT C. D., BRIGHAM R. M. & BAYNE E. 2017. — Recommendations for acoustic recognizer performance assessment with application to five common automated signal recognition programs. *Avian Conservation and Ecology* 12 (2) : art14. <https://doi.org/10.5751/ACE-01114-120214>
- KUSHLAN J. A., HANCOCK J. & THELWELL D. 2005. — *Hérons*. Oxford University Press, Oxford, 433 p. (Bird families of the world; 14)
- LE MARÉCHAL P. & LESAFFRE G. 2000. — *Les oiseaux d'Île-de-France. L'avifaune de Paris et de sa région*. Delachaux & Niestlé, Lausanne, 343 p.
- LEGRIS S., GAVORY L. & FOURNIER E. 2009. — Éléments sur l'écologie et la biologie du Blongios nain (*Ixobrychus minutus*). *Revue naturaliste de Picardie Nature* 2 (33).
- LEGROS B. & PUISSAUVE R. 2015. — *Fiches d'information sur les espèces aquatiques protégées: Blongios nain, Ixobrychus minutus (Linnaeus 1766)*. Service du patrimoine naturel du MNHN & Onema, Paris, 4 p. https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf-especes/Blongios_nain-I.minutus_2015.pdf
- LIGGES U. 2023. — tuneR: Analysis of Music and Speech.
- LPO ALSACE 2003. — *Le Blongios nain Ixobrychus minutus: Fiche espèce*. DREAL Grand Est / LPO Alsace, Strasbourg: 19-21.
- MARIN-CUDRAZ T., MUFFAT-JOLY B., NOVOA C., AUBRY P., DESMET J.-F., MAHAMOUD-ISSA M., NICOLÉ F., VAN NIEKERK M. H., MATHEVON N. & SÈBE F. 2019. — Acoustic monitoring of rock ptarmigan: a multi-year comparison with point-count protocol. *Ecological Indicators* 101 : 710-719. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.071>
- MARTÍNEZ-VILALTA A., MOTIS A. & KIRWAN G. M. 2020. — Little Bittern (*Ixobrychus minutus*), in BILLERMAN S. M., KEENEY B. K., RODEWALD P. G. & SCHULENBERG T. S. (eds), *Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology. <https://doi.org/10.2173/bow.litbit1.01>
- MNHN, UICN COMITE FRANÇAIS, LPO, SEOF & OFB 2020. — *La Liste rouge des espèces menacées en France. Chapitre Oiseaux nicheurs de France métropolitaine*. Rapport d'évaluation. MNHN, UICN, LPO, SEOF & OFB, Paris, 24 p.
- PÉREZ-GRANADOS C. 2023. — BirdNET: applications, performance, pitfalls and future opportunities. *Ibis* 165 (3) : 1068-1075. <https://doi.org/10.1111/ibi.13193>

- POVEDA E. 2022. — *Blongios nain* (*Ixobrychus minutus*), recording XC836679, call, Murcia (Spain), 10 October 2022. Xeno-canto. <https://xeno-canto.org/836679> (dernière consultation le 14 juin 2026).
- R CORE TEAM 2023. — *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (dernière consultation le 14 juin 2026).
- REYEZ PÁEZ J. M. 2023. — *Blongios nain* (*Ixobrychus minutus*), recording XC830111, flight call, nocturnal flight call, Sevilla (Spain), 16 September 2023. Xeno-canto. <https://xeno-canto.org/830111> (dernière consultation le 14 juin 2026).
- RICHARDSON R. A. & HAYMAN P. J. 1953. — Little Bittern in Norfolk. *British Birds* 46 (12) : 450-451. <https://archive.org/details/britishbirds9916unse>
- ROCHEFORT J. 2006. — *Blongios nain* (*Ixobrychus minutus*), recording XC146712, male song, Longjumeau (France), 4 July 2006. Xeno-canto. <https://xeno-canto.org/146712> (dernière consultation le 14 juin 2026).
- ROCHEFORT J. 2011a. — *Little Bittern* (*Ixobrychus minutus*), recording XC143956, Fontenay-le-Vicomte (Essonne, France), 26 September 2011. Xeno-canto. <https://xeno-canto.org/143956> (dernière consultation le 14 juin 2026).
- ROCHEFORT J. 2011b. — *Little Bittern* (*Ixobrychus minutus*), recording XC143958, Fontenay-le-Vicomte (Essonne, France), 26 September 2011. Xeno-canto. <https://xeno-canto.org/143958> (dernière consultation le 14 juin 2026).
- RUSSO D. & VOIGT C. C. 2016. — The use of automated identification of bat echolocation calls in acoustic monitoring: A cautionary note for a sound analysis. *Ecological Indicators* 66 : 598-602. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.036>
- SCHÖNBRODT R. 2005. — *Ixobrychus minutus* (Zwergdommel), in SÜDBECK P., ANDRETTZKE H., FISCHER S., GEDEON K., SCHIKORE T., SCHRÖDER K. & SUDFELDT C. (eds), *Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands*. DDA, Radolfzell: 166-167.
- SUEUR J., AUBIN T. & SIMONIS C. 2008. — Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics* 18 (2) : 213-226. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753600>
- SWISTON K. A. & MENNILL D. J. 2009. — Comparison of manual and automated methods for identifying target sounds in audio recordings of Pileated, Pale-billed, and putative Ivory-billed woodpeckers. *Journal of Field Ornithology* 80 (1) : 42-50. <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2009.00204.x>
- TERRY A. M., PEAKE T. M. & MCGREGOR P. K. 2005. — The role of vocal individuality in conservation. *Frontiers in Zoology* 2 (1) : 10. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-2-10>
- THORLEY J. B. & CLUTTON-BROCK T. 2017. — Kalahari vulture declines, through the eyes of meerkats. *Ostrich* 88 (2) : 177-181. <https://doi.org/10.2989/00306525.2016.1257516>
- UICN 2012. — *Catégories et Critères de la Liste rouge de l'UICN : Version 3.1*. Deuxième édition. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni, 32 p. <https://portals.iucn.org/library/node/10317>
- VOIGT A. 1950. — *Excursionsbuch zum Studium der Vogelstimmen*. Quelle & Meyer, Heidelberg, 271 p.
- VOISIN C., BRUSEWITZ G., SUIRO P. & DESBORDES F. 1991. — *The Herons of Europe*. T & AD Poyser, London, 320 p.
- WICKHAM H. 2016. — *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer international publishing, Cham, 260p. (Use R!). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>
- WILDLIFE ACOUSTICS 2021. — *Advanced Classifiers in Kaleidoscope Pro*. Wildlife Acoustics, Inc., Maynard, Massachusetts, 23 p.
- WILDLIFE ACOUSTICS 2022. — *Kaleidoscope Pro Analysis Software*. Logiciel d'analyse bioacoustique.
- WILDLIFE ACOUSTICS 2024. — *Song Meter Mini Bat User Guide*. Wildlife Acoustics, Inc., Maynard, Massachusetts, 74 p.
- WILDLIFE ACOUSTICS 2025. — *Song Meter Configurator (Version 4.1)*. Application mobile de configuration.
- WINIARSKA D., SZYMAŃSKI P. & OSIEJUK T. S. 2024. — Detection ranges of forest bird vocalisations: guidelines for passive acoustic monitoring. *Scientific Reports* 14 (1) : 894. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51297-z>
- WITHERBY H. F., JOURDAIN F. C. R., TICEHURST N. F. & TUCKER B. W. 1939. — *The Handbook of British Birds (Hawks to Ducks)*. Vol. 3. H F & G Witherby Ltd., London, 152-156.
- WROZA S. 2019. — *Les oiseaux par le son: enregistrer, identifier, comprendre*. Delachaux et Niestlé, Paris, 144 p.
- WROZA S. 2023. — *Chants et cris d'oiseaux*. Delachaux et Niestlé, Paris: 58.
- WROZA S. & ROCHEFORT J. 2021. — *La migration nocturne par le son*. Delachaux et Niestlé, Paris, 240 p.
- XENO-CANTO FOUNDATION 2025. — *Xeno-canto: Sharing bird sounds from around the world*. <https://xeno-canto.org> (dernière consultation le 14 juin 2026).

Soumis le 20 août 2025;
 accepté le 19 janvier 2026;
 publié le 1^{er} juillet 2026.

ANNEXES

ANNEXE 1. — Paramètres de détection du signal.

Paramètres du signal	Valeurs	Unités
Fréquence minimale	107	Hz
Fréquence maximale	1589	Hz
Durée de détection minimale	0,07	s
Durée de détection maximale	0,99	s
Intervalle inter-syllabique maximum	3,31	s

ANNEXE 2. — Paramètres de configuration du classificateur (Kaleidoscope Pro).

Paramètres de l'algorithme	Réglages / Valeurs
Mode de création	Scan and cluster recordings
Fenêtre FFT	10,67 ms (512 @0-24kHz)
Nombre maximal d'états (Max states)	10
Distance maximale (construction des groupes)	1
Distance maximale (inclusion dans cluster.csv)	2
Nombre maximum de groupes	2

ANNEXE 3. — Ressources multimédias.

Résumé	Création et utilisation d'un classificateur avancé avec le logiciel Kaleidoscope Pro (Wildlife Acoustics, Inc. 2021). Cette ressource vidéo présente la procédure technique de configuration des classificateurs automatiques. Elle détaille notamment l'ajustement des paramètres statistiques (nombre d'états, distances de regroupement) nécessaires pour isoler les signatures acoustiques du Blongios nain <i>Ixobrychus minutus</i> (Linnaeus, 1766) des bruits de fond biotiques et abiotiques.
Format	Vidéo en ligne
Durée	11 min 42 s.
Accès	https://www.youtube.com/watch?v=jNPdLWslAZ0 (consultée le 19 janvier 2026).

ANNEXE 4. — Test des performances du classifieur élaboré sous Kaleidoscope pro.

Résumé	β	F-score	Enregistrement	Précision	Rappel	Strophes connues	Faux négatif	Vrai positif	Faux positif
<p>La précision P étant la proportion de détections vraies du classifieur, ce critère permet de savoir si le classifieur ne se trompe pas dans sa sélection. Le rappel R étant la proportion des vocalises de l'espèce cible détectées par le classifieur, ce critère permet de vérifier si le classifieur a trouvé toutes les vocalises d'intérêt dans un enregistrement connu. Le F-score combine les deux critères en une seule métrique d'évaluation. Avec P pour la précision, R pour le rappel, F_n le nombre de faux négatifs (vocalises non détectées par le classifieur), V_p le nombre de vrais positifs (détections correctement identifiées par le classifieur), F_p le nombre de faux positifs (détections mal identifiées par le classifieur).</p>	–	–	SMU05642_18052022_053402	0,73076923	0,9543379	219	10	209	77

ANNEXE 5. — Résultats de la détection par demi-heure de l'activité sonore du Blongios nain (*Xobrychus minutus* (Linnaeus, 1766)) du 16 au 31/05/2022 dans la roselière de Pringtegarde.

Date	Heure	Presence	Date	Heure	Presence	Date	Heure	Presence	Date	Heure	Presence	Date	Heure	Presence
2022-05-16	17:00	0	2022-05-19	06:30	0	2022-05-22	02:00	0	2022-05-24	21:30	0	2022-05-27	17:00	0
2022-05-16	17:30	0	2022-05-19	07:00	0	2022-05-22	02:30	0	2022-05-24	22:00	0	2022-05-27	17:30	0
2022-05-16	18:00	0	2022-05-19	07:30	0	2022-05-22	03:00	0	2022-05-24	22:30	0	2022-05-27	18:00	0
2022-05-16	18:30	0	2022-05-19	08:00	0	2022-05-22	03:30	0	2022-05-24	23:00	0	2022-05-27	18:30	1
2022-05-16	19:00	0	2022-05-19	08:30	0	2022-05-22	04:00	0	2022-05-24	23:30	0	2022-05-27	19:00	0
2022-05-16	19:30	0	2022-05-19	09:00	0	2022-05-22	04:30	0	2022-05-25	00:00	0	2022-05-27	19:30	1
2022-05-16	20:00	1	2022-05-19	09:30	0	2022-05-22	05:00	0	2022-05-25	00:30	0	2022-05-27	20:00	0
2022-05-16	20:30	0	2022-05-19	10:00	0	2022-05-22	05:30	0	2022-05-25	01:00	0	2022-05-27	20:30	0
2022-05-16	21:00	1	2022-05-19	10:30	0	2022-05-22	06:00	0	2022-05-25	01:30	0	2022-05-27	21:00	1
2022-05-16	21:30	0	2022-05-19	11:00	0	2022-05-22	06:30	0	2022-05-25	02:00	0	2022-05-27	21:30	0
2022-05-16	22:00	0	2022-05-19	11:30	0	2022-05-22	07:00	0	2022-05-25	02:30	0	2022-05-27	22:00	0
2022-05-16	22:30	0	2022-05-19	18:00	0	2022-05-22	07:30	0	2022-05-25	03:00	0	2022-05-27	22:30	0
2022-05-16	23:00	0	2022-05-19	18:30	0	2022-05-22	08:00	0	2022-05-25	03:30	0	2022-05-27	23:00	0
2022-05-17	00:00	0	2022-05-19	19:00	0	2022-05-22	08:30	0	2022-05-25	04:00	0	2022-05-27	23:30	0
2022-05-17	00:30	0	2022-05-19	19:30	0	2022-05-22	09:00	0	2022-05-25	04:30	0	2022-05-27	00:00	0
2022-05-17	01:00	0	2022-05-19	20:00	0	2022-05-22	09:30	0	2022-05-25	05:00	0	2022-05-27	00:30	0
2022-05-17	01:30	0	2022-05-19	20:30	0	2022-05-22	10:00	0	2022-05-25	05:30	0	2022-05-27	01:00	0
2022-05-17	02:00	0	2022-05-19	21:00	0	2022-05-22	10:30	0	2022-05-25	06:00	0	2022-05-27	01:30	0
2022-05-17	02:30	0	2022-05-19	21:30	0	2022-05-22	11:00	0	2022-05-25	06:30	0	2022-05-27	02:00	0
2022-05-17	03:00	0	2022-05-19	22:00	0	2022-05-22	11:30	0	2022-05-25	07:00	0	2022-05-27	02:30	0
2022-05-17	03:30	0	2022-05-19	22:30	0	2022-05-22	18:00	0	2022-05-25	07:30	0	2022-05-27	03:00	0
2022-05-17	04:00	0	2022-05-19	23:00	0	2022-05-22	18:30	0	2022-05-25	08:00	0	2022-05-27	03:30	0
2022-05-17	04:30	0	2022-05-19	23:30	0	2022-05-22	19:00	0	2022-05-25	08:30	0	2022-05-27	04:00	0
2022-05-17	05:00	0	2022-05-20	00:00	0	2022-05-22	19:30	0	2022-05-25	09:00	0	2022-05-27	04:30	0
2022-05-17	05:30	0	2022-05-20	00:30	0	2022-05-22	20:00	0	2022-05-25	09:30	0	2022-05-27	05:00	0
2022-05-17	06:00	1	2022-05-20	01:00	0	2022-05-22	20:30	0	2022-05-25	10:00	0	2022-05-27	05:30	1
2022-05-17	06:30	0	2022-05-20	01:30	0	2022-05-22	21:00	0	2022-05-25	10:30	0	2022-05-27	06:00	0
2022-05-17	07:00	1	2022-05-20	02:00	0	2022-05-22	21:30	0	2022-05-25	11:00	0	2022-05-27	06:30	0
2022-05-17	07:30	0	2022-05-20	02:30	0	2022-05-22	22:00	0	2022-05-25	11:30	0	2022-05-27	07:00	1
2022-05-17	08:00	0	2022-05-20	03:00	0	2022-05-22	22:30	0	2022-05-25	18:00	0	2022-05-27	07:30	1
2022-05-17	08:30	0	2022-05-20	03:30	0	2022-05-22	23:00	0	2022-05-25	18:30	0	2022-05-27	08:00	1
2022-05-17	09:00	0	2022-05-20	04:00	1	2022-05-22	23:30	0	2022-05-25	19:00	0	2022-05-27	08:30	0
2022-05-17	09:30	0	2022-05-20	05:00	1	2022-05-23	00:00	0	2022-05-25	19:30	0	2022-05-27	09:00	0
2022-05-17	10:00	0	2022-05-20	05:30	1	2022-05-23	00:30	0	2022-05-25	20:00	0	2022-05-27	09:30	0
2022-05-17	10:30	0	2022-05-20	06:00	0	2022-05-23	01:00	0	2022-05-25	20:30	0	2022-05-27	10:00	0
2022-05-17	17:00	0	2022-05-20	06:30	0	2022-05-23	02:00	0	2022-05-25	21:30	0	2022-05-27	10:30	0
2022-05-17	18:00	0	2022-05-20	07:00	0	2022-05-23	02:30	0	2022-05-25	22:00	0	2022-05-27	17:00	0
2022-05-17	18:30	0	2022-05-20	08:00	0	2022-05-23	03:00	0	2022-05-25	22:30	0	2022-05-27	17:30	0
2022-05-17	19:00	0	2022-05-20	08:30	0	2022-05-23	03:30	0	2022-05-25	23:00	0	2022-05-27	18:00	0
2022-05-17	19:30	0	2022-05-20	09:00	0	2022-05-23	04:00	0	2022-05-25	23:30	0	2022-05-27	18:30	1
2022-05-17	20:00	0	2022-05-20	09:30	0	2022-05-23	04:30	0	2022-05-25	00:00	0	2022-05-27	19:00	0
2022-05-17	20:30	1	2022-05-20	10:00	0	2022-05-23	05:00	0	2022-05-25	00:30	0	2022-05-27	19:30	1
2022-05-17	21:00	0	2022-05-20	10:30	0	2022-05-23	05:30	0	2022-05-25	01:00	0	2022-05-27	20:00	0
2022-05-17	21:30	0	2022-05-20	11:00	0	2022-05-23	06:00	0	2022-05-25	01:30	0	2022-05-27	20:30	0
2022-05-17	22:00	1	2022-05-20	11:30	0	2022-05-23	06:30	0	2022-05-25	02:00	0	2022-05-27	21:00	1
2022-05-17	22:30	0	2022-05-20	18:00	0	2022-05-23	07:00	0	2022-05-25	02:30	0	2022-05-27	21:30	0
2022-05-17	23:00	0	2022-05-20	18:30	0	2022-05-23	07:30	0	2022-05-25	03:00	0	2022-05-27	17:30	0
2022-05-18	00:00	0	2022-05-20	19:00	0	2022-05-23	08:00	0	2022-05-25	03:30	0	2022-05-27	18:00	0
2022-05-18	00:30	0	2022-05-20	19:30	0	2022-05-23	08:30	0	2022-05-25	04:00	0	2022-05-27	18:30	0
2022-05-18	01:00	0	2022-05-20	20:00	0	2022-05-23	09:00	0	2022-05-25	04:30	0	2022-05-27	19:00	0
2022-05-18	01:30	0	2022-05-20	20:30	0	2022-05-23	09:30	0	2022-05-25	05:00	0	2022-05-27	19:30	1
2022-05-18	02:00	0	2022-05-20	21:00	0	2022-05-23	10:00	0	2022-05-25	05:30	0	2022-05-27	20:00	0
2022-05-18	02:30	0	2022-05-20	21:30	0	2022-05-23	17:00	0	2022-05-25	06:30	0	2022-05-27	20:30	1
			2022-05-20	22:00	0	2022-05-23	17:30	0	2022-05-25	07:00	0	2022-05-27	21:00	1
									2022-05-26	02:00	0	2022-05-28	21:30	1
									2022-05-26	02:30	0	2022-05-28	22:00	0
									2022-05-26	03:00	0	2022-05-28	22:30	0
									2022-05-26	03:30	0	2022-05-28	23:00	0
									2022-05-26	04:00	0	2022-05-28	23:30	0
									2022-05-26	04:30	0	2022-05-29	00:30	0
									2022-05-26	05:00	0	2022-05-29	01:00	0
									2022-05-26	05:30	1	2022-05-29	01:30	0
									2022-05-26	06:00	0	2022-05-29	02:00	0
									2022-05-26	06:30	0	2022-05-29	02:30	0
									2022-05-26	07:00	0	2022-05-29	02:30	0

ANNEXE 6. — Résultats de la température de l'air par demi-heure du 16 au 31/05/2022 dans la roselière de Printegarde.

Période	31-mai	30-mai	29-mai	28-mai	27-mai	26-mai	25-mai	24-mai	23-mai	22-mai	21-mai	20-mai	19-mai	18-mai	17-mai	16-mai	Température moyenne
17 h 00	28	31,25	31	31,75	33,75	31,75	31	22,25	29	30,5	34,5	29,25	32	34,75	35,5	32	31,140625
17 h 30	27,75	31,25	31	31,75	33,75	31,75	31	22,25	29	30,5	34,5	29,25	32	34,75	35,5	32	31,125
18 h 00	27,75	31,25	31	31,75	33,75	31,75	31	22,25	29	30,5	34,5	29,25	32	34,75	35,5	32	31,125
18 h 30	26,25	29,25	29,5	31,75	34	31,5	32,5	22,25	27,5	31,25	33,75	29,25	29	34	34	31,75	30,46875
19 h 00	24	29,5	27,5	30,25	32,5	29	29,5	21,75	27	29,5	31,75	28	28,5	32,25	31,5	32,25	29,046875
19 h 30	21,25	25,75	24,5	26,25	28,5	26,25	26	21	26,25	27,5	30,5	26,75	27,75	30,75	31	28,75	26,796875
20 h 00	20,75	23	21,25	23,5	26	24,25	24	21	25,75	26	28,75	25,25	27	29,25	28	27,5	25,078125
20 h 30	20,5	19,75	19	22	24	23	23,75	20,25	25	25,25	27,5	24,5	24,75	27,5	25,5	25,75	23,625
21 h 00	19,5	18	18,5	21,5	23,5	22	23,25	19,25	24	24,75	25,75	23,25	23,75	26	23,75	23,5	22,515625
21 h 30	18,25	16,5	18	20,25	23	21,25	22,5	18,75	22,75	24,25	23,75	21,75	22	24,5	22	21,5	21,3125
22 h 00	17,5	15,75	17,75	19	22,75	20,75	21	18,25	23,5	23,5	22,5	21	20,75	22,75	21	20,25	20,5
22 h 30	16,5	15,5	16,75	18,5	22,25	20,5	20,75	19	23,25	23	21,75	20,25	19,75	22,75	20,5	19,25	20,015625
23 h 00	16,25	15,25	17,25	18,75	22	20,25	20,25	19,25	23	22	21,75	20	19,25	22,25	20	18,75	19,765625
23 h 30	16	15,5	16	18,75	21,75	20	19,75	19,5	22,5	21,75	21,25	19,25	19,25	21,5	19,75	18	19,40625
00 h 00	15,5	15	18,75	21,25	20	19,25	19,75	21,75	21,5	20,75	18,75	20,25	20,75	19,75	17,5	0	19,36666667
00 h 30	15,5	15	18,5	20,75	19,75	19,25	19,5	21,5	21	20,5	18	20	20,75	19,5	17,25	0	19,11666667
01 h 00	14,75	14,25	18	20,5	19,5	18,75	19,25	21,5	21,25	20,25	18	19	20,5	19	16,75	0	18,75
01 h 30	14,75	13,75	17,75	20,25	19,25	18,75	19	21	21,25	20	17,75	18,75	19,5	19	16,75	0	18,5
02 h 00	14,75	13,5	17,75	19,5	19	18,5	18,75	20,5	21,25	19,75	17,25	18,25	19,25	18,5	16,25	0	18,18333333
02 h 30	14,75	13	17,25	19,25	18,5	18,5	18,25	20,5	20,75	19,5	16,75	18	19	18,25	16	0	17,88333333
03 h 00	14,75	11,75	17	19	18,5	18,5	18	20,5	20,5	19,25	16,5	17,5	18,75	18	15,75	0	17,61666667
03 h 30	15	11,5	17	18,75	17,25	18	17,75	20,25	20,5	19	16,5	17	18,75	17,75	15,75	0	17,38333333
04 h 00	15,25	11	16,25	18,5	16,25	17,75	17,75	19,25	19,75	19	16,25	16,75	18,25	17,5	15,5	0	17
04 h 30	15	10,25	16,25	18,25	16,25	17,75	17,75	18,5	19	18,5	16,25	16,25	18	17,25	15,5	0	16,71666667
05 h 00	15	10,75	15,75	18	16,25	17	17,75	18	19	18,5	16	16,25	18	16,75	15,25	0	16,55
05 h 30	15,25	10,75	14,25	18	16	16	17	17,75	18,75	18,25	15,75	16,25	17,75	16,5	15,25	0	16,23333333
06 h 00	15,25	10,75	14	18	15,75	17	16	18,25	18,5	18,25	15,5	16,25	18	16,75	14,75	0	16,2
06 h 30	15,25	10,5	14,25	17,75	16,25	15,5	16,25	18,5	18,5	18,5	15,75	16	18	16,5	14,5	0	16,13333333
07 h 00	15,5	10,5	14	18	16,75	15,5	16,5	19	19	19	15,75	16	18	16,5	14,75	0	16,31666667
07 h 30	16,25	11,75	14,5	18,25	18,25	16,5	16,25	19,5	20	20,25	16,5	17	18,5	17,5	15,25	0	17,08333333
08 h 00	17,5	13,5	16,75	19,5	19,5	18,75	18	20,25	20,5	22	18,5	19	19	19,25	17	0	18,6
08 h 30	17,25	19	19,75	21,75	22	22,25	18,75	20,5	21,75	24	20,25	21	20,5	21	18,5	0	20,55
09 h 00	18,25	24,5	23,75	24	24	26,25	20	23,25	24	26	22	23,25	22,75	22,25	19,75	0	22,93333333
09 h 30	21,25	25	26,25	26,75	27	28,5	23,75	25,5	23,25	29,5	25,5	26	25,25	25,25	24	0	25,51666667
10 h 00	23,5	27,25	27	27,5	30	30	25	25,5	24,25	30,5	27,75	30	29,5	29,25	27,5	0	27,63333333
10 h 30	23,5	27,25	27	27,5	30	30	25	25,5	24,25	30,5	27,75	30	29,5	29,25	27,5	0	27,63333333