

Projet du programme de recherche n°36

OPTIMISATION DES PROTOCOLES D'INVENTAIRES ORNITHOLOGIQUES

VOLET A : Etudes Acoustiques Nocturnes des Peuplements Ornithologiques



Rédacteur :

Maxime PIRIO, Master en Ecologie, Responsable d'études et de développement Ornithologue d'ENCIS Environnement

Comité de lecture :

Amandine DESTERNES, Master en Ecologie, Responsable d'études et de développement d'ENCIS Environnement

Pierre PAPON, Docteur en Géographie, Directeur du pôle écologie d'ENCIS Environnement

Sylvain LE ROUX, Docteur en Géographie, Directeur d'ENCIS Environnement

Sommaire

INTRODUCTION	4
1 MÉTHODOLOGIE ET AUTEURS	7
1.1 Auteurs de l'étude et partenariats	8
1.2 Données et outils	8
1.3 Collecte et analyse des sons	10
2 ÉTAT DE L'ART BIBLIOGRAPHIQUE	15
3 RÉSULTATS	21
3.1 Données brutes et comparaison avec les résultats d'études d'impact	22
3.1.1 Diversité spécifique.....	22
3.1.2 Comparaison avec l'étude d'impact.....	29
3.1.3 Base de données acoustique	36
3.2 Analyses phénologiques	39
3.2.1 Phénologie migratoire globale	39
3.2.2 Phénologie migratoire horaire	44
3.3 Estimation de l'inventaire	49
3.3.1 Chiffrage d'un inventaire acoustique	49
4 LIMITES ET PERSPECTIVES	51
4.1 Limites de l'étude	52
4.1.1 Enregistreurs acoustiques	52
4.1.2 Facteurs externes.....	52
4.2 Perspectives	54
TABLE DES ILLUSTRATIONS	57
BIBLIOGRAPHIE	59
ANNEXES	68

RÉSUMÉ

Un suivi acoustique de la migration nocturne a été réalisé à l'automne 2022 dans trois départements du grand Ouest métropolitain (Charente, Creuse et Loire-Atlantique). Près de 1 714 heures d'enregistrement ont été récoltées et analysées. L'étude a permis la détection de plusieurs espèces non inventoriées lors des protocoles classiques de suivi diurne de l'avifaune (migration active et halte migratoire). Des différences de voie migratoire ont été observées entre les trois sites d'étude. On retrouve notamment un gradient d'observation pour les espèces d'affinité littorale voire continentale, dans une moindre mesure. Les pics migratoires recensés par les différents enregistreurs ne semblent pas synchronisés de manière journalière. Cette étude vise également à tester le protocole sur un périmètre plus large et impliquant un nombre de collaborateurs plus important. La méthodologie définie sur le premier protocole semble solide, facilement reproductible et bien proportionnée, malgré quelques ajustements.

MOTS CLÉS : avifaune, migration nocturne, acoustique, phénologie, protocole



INTRODUCTION

L'avifaune représente un groupe d'espèces que l'on retrouve dans une grande diversité de milieux. À l'échelle nationale, cette diversité est relativement importante tout au long de l'année, avec des espèces migratrices ou hivernantes strictes. Toutes ces espèces sont donc plus ou moins discrètes, en fonction de la saison, des habitats et du comportement propre à chaque espèce.

Le cycle annuel de l'avifaune peut être découpé en trois phases distinctes : reproduction, migration et hivernage. La migration consiste au déplacement de populations d'oiseaux en raison des fluctuations saisonnières de ressources alimentaires (Newton, 2010) et de la sévérité des hivers (Somveille *et al.*, 2015). À l'échelle mondiale, plusieurs milliards d'individus migrent entre leurs zones de reproduction et d'hivernage, ce qui représente environ 20 % des espèces d'oiseaux (Somveille *et al.*, 2015). Entre l'Europe et l'Afrique, ce ne sont pas moins de 2,1 milliards d'oiseaux qui migreraient chaque année à l'automne entre ces deux continents (Hahn *et al.*, 2009).

La majorité des oiseaux migrent de nuit (Alerstam, 2009 ; Zucca, 2015 ; Welcker *et al.*, 2016) bien que la plupart puissent également réaliser une partie de leurs déplacements migratoires en journée. Plusieurs explications ont été avancées pour expliquer cette modification comportementale que l'on retrouve chez tant d'espèces, d'ordinaire principalement diurnes (Berthold, 1994). Le premier avantage permettrait aux vols migratoires de ne pas interférer avec les phases d'alimentation, souvent effectuées en journée. Les conditions météorologiques sont généralement plus calmes de nuit (vents et turbulences atmosphériques moins importants) et permettent de réduire les coûts physiologiques associés à ces efforts physiques intenses (air plus froid et humide limitant les pertes d'eau par évapotranspiration et l'hyperthermie). Enfin, la diminution des risques de prédation la nuit et l'utilisation de repères célestes (lumière polarisée au coucher du soleil, compas stellaire) semblent également jouer un rôle dans ce comportement (Alerstam, 2009 ; Berthold, 1994).

La plupart des suivis migratoires se concentrent sur les mouvements diurnes, plus faciles à détecter. Ainsi, il existe peu d'outils permettant d'étudier la migration nocturne. Actuellement, seules quatre méthodes ont été ou sont utilisées pour ce faire : observation des oiseaux migrateurs passant devant la lune ; caméra thermique ; détection radar et écoutes acoustiques (*cf.* Pirio *et al.*, 2022 pour une description plus détaillée de ces méthodes).

En comparaison des trois autres dispositifs susnommés, les avantages des enregistreurs acoustiques pour l'étude de la migration nocturne résident dans leur coût modéré, leur déploiement aisé (taille réduite) et la détermination au niveau spécifique des individus contactés. Ce dernier point est important car, à l'heure actuelle, les trois autres méthodes ne permettent pas de discerner les espèces migrant de nuit (catégorisation des individus par type d'espèce).

Une étude de la migration nocturne grâce aux écoutes acoustiques nocturnes a été réalisée par le bureau d'études ENCIS Environnement à l'automne 2021 par un observateur (Pirio *et al.*, 2022). Cette dernière a permis d'obtenir des résultats pertinents. En premier lieu, l'utilisation de ces écoutes a permis d'obtenir une vision plus fine de la phénologie migratoire des espèces survolant le site d'étude lorsqu'elle

est associée en complément des inventaires classiques diurnes. Ce type de protocole augmente aussi la diversité recensée au-dessus du site d'étude. Ces écoutes permettent donc des gains d'ordre qualitatif et quantitatif sur l'avifaune. Cette première étude visait également à établir une base, tant méthodologique que technique, sur l'utilisation de cette méthode qui reste encore peu utilisée, bien qu'en essor, à l'échelle du continent européen.

Plusieurs perspectives ont été énoncées dans l'étude de 2022 sur la suite à donner à cette première phase d'étude de terrain. L'augmentation du pool d'observateurs et d'analystes capables de réaliser ce type d'étude, grâce à l'expérience engrangée sur une saison de migration, est une condition *sine qua non* à l'utilisation à plus grande échelle de ce type de protocole. En complément de ce gain en nombre de collaborateurs formés, une diversification des milieux inventoriés, et un élargissement de la zone géographique étudiée, sont des facteurs primordiaux pour mieux comprendre l'utilisation de cette méthode et l'approuver sur des situations différentes. Ainsi, en plus d'obtenir une vision plus globale de la phénologie migratoire et d'augmenter la diversité spécifique recensée par l'ensemble de ces études, cet échantillonnage plus important consolidera nos bases de données (acoustique et globale – cf. programme R&D 7 « Mise en œuvre d'une base de données et d'un atlas de la biodiversité sur l'ouest de la France métropolitaine »).

La présente étude répond donc aux mêmes objectifs qu'en 2022, mais à plus grande échelle.

Le premier objectif de ce programme de recherche est la comparaison des résultats obtenus grâce à cette nouvelle technique d'inventaire avec les résultats obtenus de manière systématique dans le cadre des suivis ornithologiques diurnes au cours d'études d'impact et d'en déterminer la potentielle plus-value. Comparativement à l'étude de 2022 qui ne comportait qu'un site, ces analyses seront réalisées sur trois sites d'étude répartis dans le grand ouest métropolitain.

Le deuxième objectif est la constitution d'une base de données interne sur les vocalisations en vol, qui permettra aux collaborateurs de progresser dans l'acoustique ornithologique afin de proposer des études toujours plus fiables et précises. L'élargissement géographique de la présente étude permettra d'augmenter la diversité spécifique enregistrée et d'obtenir un jeu de données (enregistrements audios) plus conséquent.

Par ailleurs, cette étude vise à tester le référentiel méthodologique et technique défini en 2022 afin d'infirmer ou de confirmer les besoins méthodologiques et horaires qui avaient été estimés. Cela permettra de redéfinir, si besoin, le temps nécessaire pour mettre en place ce type d'étude et l'ajouter à nos prestations actuelles.



1 MÉTHODOLOGIE ET AUTEURS

1.1 Auteurs de l'étude et partenariats

L'auteur de l'étude est le suivant :

Auteur	Poste, diplôme et compétence sur le sujet
Maxime PIRIO	Master en Ecologie et Eco-ingénierie des zones humides Responsable d'études et développement - Ornithologue

Tableau 1 : Auteur de l'étude

Deux contributeurs ont aidé à l'analyse des données :

Auteur	Poste, diplôme et compétence sur le sujet
Robin HASBROUCK	Master en Biologie, Ecologie et Evolution Responsable d'études - Ornithologue
Rémi TURBAN	Master en gestion de l'environnement et de la biodiversité Responsable d'études - Ornithologue / Ecologue

Tableau 2 : Contributeurs de l'étude

1.2 Données et outils

Le jeu de données est composé de 1 714,5 heures d'enregistrement, représentant 149 nuits d'écoute. Ces données sont récoltées sur des enregistreurs de type SM4 (Song Meter SM4) de la société *Wildlife Acoustics*® muni de deux micros internes en stéréo et placé dans un arbre au cours de la saison automnale 2022. Les données sont issues de trois sites d'étude, localisés respectivement dans les départements de la Loire-Atlantique (Issé - 44), de la Charente (Villognon - 16) et de la Creuse (Janaillat - 23). La période d'inventaire vise à suivre la migration postnuptiale qui s'étend principalement entre le 15 juillet et le 15 novembre. Afin de limiter le temps d'analyse tout en obtenant la diversité spécifique la plus importante possible, les enregistrements ont eu lieu entre le 23 août et le 22 novembre (dates extrêmes).



Photographie de l'enregistreur acoustique SM4

Site d'étude	Nombre d'heures d'enregistrement	Nombre de nuits analysées	Début des inventaires	Fin des inventaires
Issé (44)	786:56	70	24 août 2022	23 novembre 2022
Villognon (16)	502:37	41	26 août 2022	14 novembre 2022
Janaillat (23)	424:52	38	23 août 2022	6 novembre 2022
TOTAL	1 714:25	149		

Tableau 3 : Récapitulatif des données brutes récoltées en 2022 par site d'étude

La carte suivante permet de localiser les différents sites utilisés pour l'acquisition des données acoustiques.



Figure 1 : Localisation des sites d'étude de la migration acoustique nocturne au cours de l'automne 2022

1.3 Collecte et analyse des sons

Le matériel utilisé est composé d'un enregistreur automatique acoustique de type SM4. Les écoutes débutent 25 minutes après le coucher du soleil et s'arrêtent environ 30 min avant le lever. Les enregistrements sont ainsi automatisés pour débuter et se terminer au crépuscule et à l'aube civils - soit lorsque le soleil passe le seuil de 6° par rapport à l'horizon (Gillings *et al.*, 2018) (voir Annexe 1). Les données sont récupérées sur le site d'étude tous les 15 jours, lors des passages sur site pour l'étude de la migration postnuptiale diurne, dans le cadre des études d'impact. En raison du très grand nombre de données obtenues et de l'absence d'algorithmes ou de programmes d'identification automatique, seule une nuit sur deux a été analysée sur la majorité du suivi. L'analyse des enregistrements est réalisée grâce au logiciel (gratuit) Audacity®, qui permet d'écouter ces derniers et de les visualiser en parallèle (sonagrammes), grâce au défilement du temps (Annexe 2). Pour chaque contact, plusieurs informations sont relevées : la date et l'heure d'enregistrement, l'espèce impliquée (code selon référentiel du Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (CRBPO)), le nombre de cris observés/entendus, le nombre d'individus estimés avec une échelle de précision (minimum ou exact), une remarque si nécessaire et si cet enregistrement précis a été sauvegardé. Le tableau 2 présente un aperçu du tableau ainsi créé.

Date début	Heure d'enr.	Espèce	Nb de cris	Nb d'individus	Précision	Remarques	Enr
26/08/2022	05:40	NUMPHA	14	2	Min		Oui
26/08/2022	05:43	MUSSTR	1	1	Exact		Non
26/08/2022	05:49	ARDCIN	2	1	Exact		Non
26/08/2022	05:51	ANTTRI	1	1	Exact		Non
26/08/2022	06:02	ARDCIN	3	1	Exact		Non
26/08/2022	06:33	COTNIX	4	1	Exact	Halte	Oui
26/08/2022	06:33	TURMER	-	1	Exact	Local	Non
26/08/2022	06:34	ERIRUB	-	1	Exact	Local	Non

Tableau 4 : Aperçu de la base de données brute des inventaires acoustiques nocturnes

La migration active, qu'elle soit diurne ou nocturne, est définie comme le déplacement en temps réel des oiseaux au cours de leur trajet migratoire. Elle s'oppose à la halte migratoire, pendant laquelle les migrants s'alimentent, reconstituent leurs réserves énergétiques, se reposent, muent et survivent (Kayser, 1999).

La distinction entre les espèces sédentaires et celles en halte migratoire reste complexe, la seule information exploitable étant le comportement migratoire des espèces contactées (phénologie, migrateur strict/partiel). La distinction acoustique entre ces deux phases est réalisée grâce à plusieurs paramètres, tels que le nombre de cris émis, la variabilité de leur intensité, leur éloignement progressif (ou son absence) ou encore le type de cris émis (en fonction des espèces).

Le dénombrement des individus contactés reste un calcul fortement subjectif et pour lequel la fiabilité est faible. Il n'existe pas de méthode définie ou de valeurs standards sur lesquelles s'appuyer pour estimer précisément le nombre d'individus impliqués en fonction du nombre de cris émis et/ou captés. Ce dernier peut dépendre des conditions météorologiques (humidité, couverture nuageuse, vent), de la taille du groupe impliqué ou de la présence d'espèces apparentées. Les espèces susceptibles de migrer au sein de grands groupes (*Anseriformes*, *Charadriiformes*) émettent de nombreux cris qui n'offrent qu'un faible indice pour estimer la taille du groupe contacté. Enfin, les espèces de grande taille ont généralement une distance d'émission plus importante due à leurs caractéristiques physiologiques et l'émission de sons plus graves (Wiley, 1991), moins sensibles à l'atténuation sur la distance que les sons à haute fréquence (Padgham, 2004 ; Horton *et al.*, 2015b). Leurs cris peuvent donc être détectés à plus grande distance. Tout ceci concourt à rendre compliquée l'estimation du nombre d'individus réellement impliqués dans les mouvements perçus. Le nombre d'individus présenté dans le tableau 4 (cf. 3.1.1.1) doit donc être pris comme un minimum.

Grâce à ces données, il est possible d'étudier la phénologie migratoire tout au long de la migration postnuptiale (date), mais également de tenter une analyse plus fine, au niveau horaire. Pour ce faire, et mettre en corrélation l'activité des oiseaux migrateurs et le cycle circadien, les données de lever et coucher du soleil sont associées à chaque enregistrement, qui se voit ainsi attribuer une heure astronomique d'évènement (heure UTM – Universal Greenwich Time). Par la suite, les données sont traitées sous le logiciel R® (version 4.3.1), qui permet d'établir le lien entre nombre de contacts de migrateurs, heure astronomique et jour de l'année. Par la méthode du noyau (estimation de l'activité de densité de Kernel), un calcul de la densité de contacts des oiseaux est réalisé. Le rendu est élaboré sous la forme d'une carte de chaleur, présentant la densité et la répartition du nombre d'individus en fonction du temps (jours de l'année) et selon l'heure de la nuit (en ordonnées).

L'un des objectifs de ce programme de recherche est la comparaison des résultats obtenus grâce à cette nouvelle technique d'inventaire avec les résultats obtenus de manière systématique dans le cadre des suivis ornithologiques diurnes au cours des études d'impact. Ainsi, les jeux de données qui servent de comparatif aux données récoltées grâce aux enregistreurs acoustiques sont composés des données ornithologiques obtenues au cours de l'année 2022 (printemps et automne) sur les sites d'Issé (Loire-Atlantique), de Villognon (Charente) et de Janaillat (Creuse) à l'aide de protocoles classiques de suivi de la migration diurne. Ces études de terrain ont été respectivement réalisées par Maxime Pirio, Robin Hasbrouck et Rémi Turban, personnes également en charge des analyses acoustiques, pour ne pas inclure de biais observateur. Le but d'augmenter le nombre de sites et « d'observateurs » sur cette nouvelle année de suivi permet de vérifier que la méthodologie mise en place l'année précédente est facilement reproductible sur d'autres sites. Les données récoltées grâce à cette nouvelle méthode d'inventaire seront intégrées au sein de la base de données créée à l'occasion du programme de recherche n°7 « Mise en œuvre d'une base de données et d'un atlas de la biodiversité sur l'ouest de la France métropolitaine ».

La méthodologie d'acquisition des données de migration diurne lors d'une étude d'impact est la suivante. Les oiseaux considérés comme migrateurs lors de l'étude des migrations sont les individus observés en vol direct, dans les sens des migrations ainsi que les oiseaux observés en halte migratoire. Dans ce dernier cas, il s'agit la plupart du temps d'espèces connues pour migrer de nuit (insectivores, canards, etc.) (Newton, 2010). Lors de l'observation des migrations, une attention particulière est accordée aux oiseaux planeurs tels les rapaces et les grands échassiers (grues, cigognes).

Pour les études réalisées dans le cadre des états initiaux conventionnels des trois sites d'étude, deux ou trois postes d'observation ont été définis pour chacune des deux phases migratoires (automne et printemps). La migration prénuptiale (printemps) se déroule principalement entre la mi-février et la mi-mai (cinq à six journées d'inventaire), quand la migration postnuptiale (autumnale) se déroule entre la mi-juillet et la fin novembre (six à huit journées d'inventaire). Les points d'observation de jour peuvent varier selon la phase afin d'adapter le cône de vision à la direction de migration. Ces points sont placés, autant que possible, sur des zones dominantes de façon à couvrir au mieux l'espace aérien de l'aire d'étude immédiate. La durée d'observation sur chaque point varie en fonction du nombre de points d'observation de manière à totaliser cinq heures de suivi pour chaque journée d'étude. L'ordre de visite des points a été modifié à chaque journée afin d'alterner les heures d'observation, dans le but de considérer au mieux les variations spatiales et temporelles des mouvements des populations avifaunistiques. À l'occasion de chacune des sorties, une heure est dédiée à la recherche des oiseaux en halte migratoire. Pour réaliser les observations, une longue vue Kite KSP-80 HD ainsi que des jumelles Swarovski EL 10x32 ou des Kite Pétrel 10x42 sont utilisées.

Le tableau suivant synthétise les dates des inventaires de terrain axés sur l'étude la migration diurne lors des études d'impact des projets d'Issé (44), de Villognon (16) et de Janaillat (23).

Site d'étude	Inventaires et méthodes employées		Nombre de sorties	Dates des campagnes
Issé	Inventaires de l'avifaune pendant la migration prénuptiale	Observation des flux migratoires (3 points d'observation fixes : 1h40 par point et par passage)	6	22 février 2022
				10 mars 2022
				22 mars 2022
				5 avril 2022
				22 avril 2022
				12 mai 2022
	Inventaires de l'avifaune pendant la migration postnuptiale	Observation des flux migratoires (4 points d'observation fixes : 1h15 par point et par passage)	8	24 août 2022
				13 septembre 2022
				20 septembre 2022
				5 octobre 2022
				12 octobre 2022
				19 octobre 2022
				26 octobre 2022
				10 novembre 2022

Site d'étude	Inventaires et méthodes employées		Nombre de sorties	Dates des campagnes
Janaillat	Inventaires de l'avifaune pendant la migration prénuptiale	Observation des flux migratoires (3 points d'observation fixes : 1h40 par point et par passage)	5	23 février 2022
				10 mars 2022
				21 mars 2022
				5 avril 2022
				20 avril 2022
	Inventaires de l'avifaune pendant la migration postnuptiale	Observation des flux migratoires (2 points d'observation fixes : 2h30 par point et par passage)	6	22 août 2022
				20 septembre 2022
				3 octobre 2022
				20 octobre 2022
				25 octobre 2022
Villognon	Inventaires de l'avifaune pendant la migration prénuptiale	Observation des flux migratoires (4 points d'observation fixes : 1h15 par point et par passage)	6	23 février 2022
				9 mars 2022
				23 mars 2022
				7 avril 2022
				22 avril 2022
	Inventaires de l'avifaune pendant la migration postnuptiale	Observation des flux migratoires (3 points d'observation fixes : 1h40 par point et par passage)	8	2 mai 2022
				18 août 2022
				1 septembre 2022
				7 septembre 2022
				22 septembre 2022
				12 octobre 2022
				20 octobre 2022
				27 octobre 2022
				10 novembre 2022

Tableau 5 : Dates des inventaires de l'avifaune en migration lors des trois études d'impact

Pour mener à bien l'analyse des cris captés par l'enregistreur, de bonnes connaissances de l'identification acoustique de l'avifaune sont nécessaires, de nombreuses espèces ayant les mêmes vocalisations en vol, de jour comme de nuit. Malgré les avancées technologiques en matière d'intelligence artificielle, il n'existe pas, à l'heure actuelle, d'algorithme ni de programme capables de réaliser des analyses automatiques, avec des indices de confiance suffisants, de l'identification des signaux acoustiques courts spécifiques à l'avifaune. Plusieurs programmes sont néanmoins en cours d'élaboration à l'échelle européenne.

Quelques ressources informatiques disponibles sur internet sont accessibles pour aider à l'identification des cris : www.xenocanto.org ; www.nocmig.com ; <https://soundapproach.co.uk/night-flight-calls/>; <https://birds-in-flight.net/>.

Chaque cri possède des caractéristiques qui lui sont propres et qui permettent d'en déduire l'espèce de l'auteur. On peut citer la durée du cri, le nombre de cris / éléments, la plage de fréquence utilisée, la fréquence du pic d'activité, la présence d'harmoniques (si oui, leur espacement), la tonalité (montante, descendante, constante ou les deux), l'intensité du cri (croissante, décroissante, constante) et la présence de modulations du cri (Annexe 2).

Les cris captés dont la détermination spécifique n'a pu être réalisée par les analystes ont été envoyés à Maxime Pirio, dont l'expérience acoustique est plus importante, notamment grâce au suivi réalisé à l'automne 2021. Certains enregistrements (une minorité) sont néanmoins restés indéterminés.

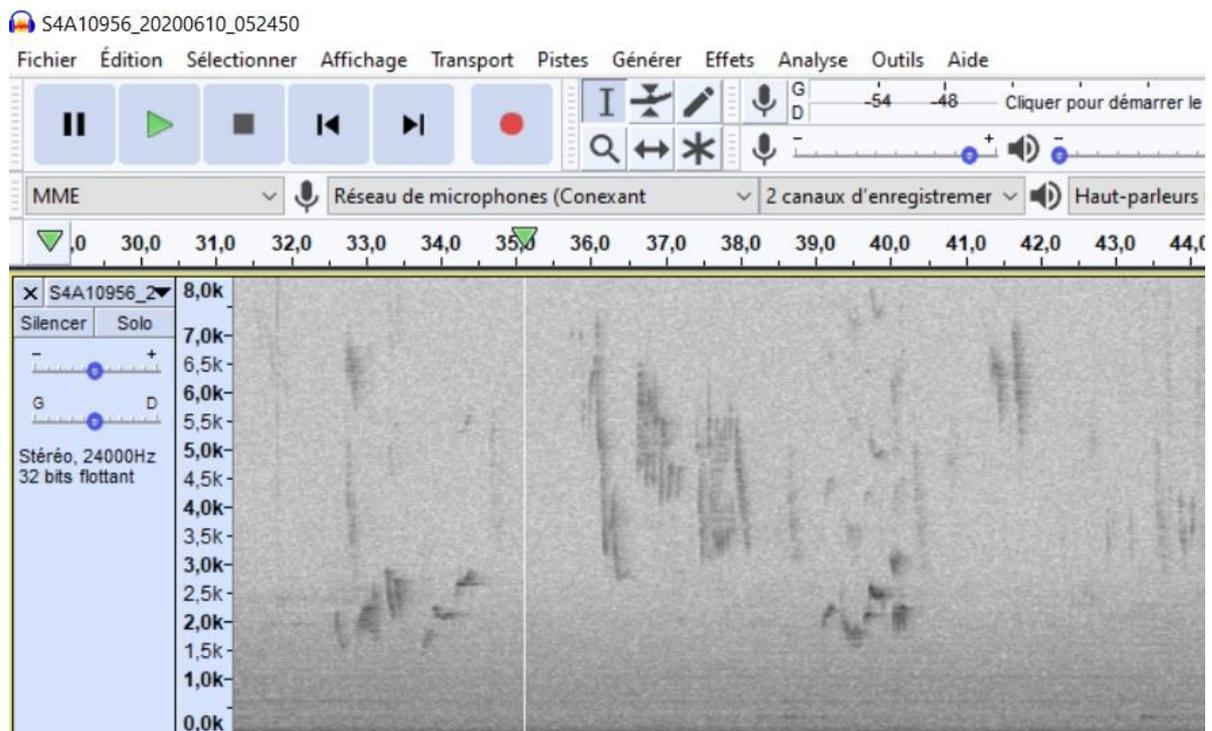


Figure 2 : Exemple de sonagramme sous le logiciel Audacity®

La base de données interne sur les vocalisations en vol créée à l'automne 2021 visant à l'amélioration des connaissances sur l'acoustique ornithologique pour les collaborateurs a été implémentée avec les enregistrements récoltés à l'automne 2022.

Pour ce faire, les vocalisations récoltées pour chaque nouvelle espèce recensée au cours des enregistrements acoustiques nocturnes ont été sauvegardées selon un code précis. Ce dernier se présente sous la forme « 'ESPECE'_'type'_'departement'_'COMMUNE'_'qualite_enregistrement'_'date' » (ex :TURPHI_C_44_ISSE_A_221114), avec plusieurs informations propres à chaque enregistrement : espèce / type d'enregistrement / département et site de prise de son / qualité de l'enregistrement / date (Annexe 2).



2 ÉTAT DE L'ART BIBLIOGRAPHIQUE

Peu de publications ont vu le jour sur le sujet des écoutes acoustiques nocturnes depuis l'analyse bibliographique réalisée lors de la précédente étude de 2022. La méthode semble encore peu usitée à l'échelle européenne et commence tout juste à faire l'objet de publications. On retrouve néanmoins de nouvelles études acoustiques portant sur différents taxons ou des phases biologiques distinctes. Preuve de l'engouement et de la démocratisation des enregistreurs acoustiques passifs, plusieurs groupes de travail et experts ont rédigé des synthèses et guides de recommandation sur l'utilisation de ces suivis acoustiques écologiques (Metcalf *et al.*, 2022) et sur leur intérêt dans le cadre des études d'impact (Bird Survey & Assessment Steering Group, 2023).

De nombreux taxons sont susceptibles d'être étudiés grâce aux enregistreurs acoustiques : amphibiens, insectes, mammifères (ex : Loup gris – Barber-Meyer *et al.*, 2020) et oiseaux. Chez ces derniers, l'utilisation d'enregistreurs acoustiques a été utilisée avec succès par exemple pour le suivi d'une communauté d'espèces aquatiques durant la période de reproduction, dans un secteur difficile d'accès (Frommolt, 2017). Pour les espèces les plus vocales et dont les émissions sonores sont plus importantes, l'activité vocale en période de reproduction a été mesurée et la taille de population (mâles chanteurs) a pu être inférée de cette même étude. La méthode des enregistreurs acoustiques permet de recenser des espèces nocturnes discrètes, dont l'activité vocale est restreinte ou qui profitent d'une portée accrue des émissions sonores de nuit (Perrault *et al.*, 2014 ; Sidie-Slettedahl *et al.*, 2015), et/ou des espèces rares (Knight *et al.*, 2022). Ces études peuvent aussi améliorer les connaissances sur leur détectabilité (phénologie horaire d'activité vocale, cycle lunaire, conditions météorologiques favorables, etc.) en vue de futures études. Les suivis acoustiques de jour peuvent également être mis en place pour des espèces migratrices particulièrement vocales (Bota *et al.*, 2020). Les études acoustiques nocturnes permettent d'obtenir quant à elles de plus amples données sur la phénologie migratoire des espèces, la périodicité horaire des migrants, les lieux de concentration des migrants (Sanders & Mennill, 2014 ; Gesicki *et al.*, 2016 ; Gillings *et al.*, 2018), mais également l'influence des conditions météorologiques (Smith *et al.*, 2014 ; Horton *et al.*, 2015b) ou encore d'évaluer l'effet de la pollution lumineuse sur les migrants (Gillings & Scott, 2021 ; Winger *et al.*, 2019). Le risque de collision des migrants nocturnes, notamment avec les structures verticales, peut alors être étudié par ce biais (Stepanian *et al.*, 2016 ; Lao *et al.*, 2023).

Si l'on s'attache particulièrement aux écoutes nocturnes, la bibliographie identifiée porte autant sur l'analyse des flux de migrants (diversité spécifique, nombre d'individus migrants) grâce à l'analyse auditive réalisée *via* l'étude des sonagrammes des cris captés par des unités d'enregistrement passif, que sur l'utilisation de ces enregistreurs pour la recherche d'espèces discrètes. Plusieurs études sur la migration nocturne ont été recensées dernièrement (Heiss, 2017 ; Lee *et al.*, 2021 ; Sallé *et al.*, 2023). Certaines études, plus poussées, ont combiné l'utilisation d'enregistrements acoustiques, d'observations radar (données de migration de l'avifaune nocturne et conditions météorologiques) et de données extraites des sciences participatives ou du baguage pour vérifier si l'activité captée par les enregistreurs acoustiques constitue un bon proxy de l'activité migratoire réelle (Van Doren *et al.*, 2023a ; Pamula *et al.*, 2019). Il en ressort que cette méthode montre effectivement une relation positive entre les flux de migrants survolant un enregistreur

et le nombre de contacts que ce dernier capte, notamment lorsque le modèle mathématique établi prend en compte également les données météorologiques.

Depuis quelques années, l'accent est maintenant mis sur la recherche et le développement de systèmes de reconnaissance automatique *via* le *machine learning*. On peut citer par exemple *BirdVox (Detect)* (Lostanlen *et al.*, 2018, 2019), *Nighthawk* (Van Doren *et al.*, 2023b) ou encore *NBM - Nocturnal Bird Migration* (<https://gitlab.com/nbm.challenge/nbm-nocturnal-bird-migration>). Ces derniers permettent d'automatiser les analyses et donc de traiter des quantités de données plus importantes en un temps réduit (Priyadarshani *et al.*, 2018 ; Ross *et al.*, 2023).

À l'instar des écoutes acoustiques, l'étude de la migration nocturne par le biais de l'observation de la lune (*moon-watching*) fait également l'objet de recherche sur une utilisation automatisée (Honeycutt & Bridge, 2022). Cette méthode permet, par exemple, d'estimer une densité d'oiseaux migrants par heure et par kilomètre ainsi que leur direction de vol. En revanche, la diversité spécifique ne peut être recensée par cette méthode. On observe donc une recherche d'automatisation des différentes méthodes actuelles de suivi de la migration nocturne, grâce à l'amélioration récente de l'intelligence artificielle.

Le suivi de la biodiversité à l'aide des écoutes passives est un outil qui a fait ses preuves à maintes reprises pour répondre à des questions d'écologie appliquée, mieux comprendre les espèces dans le cadre de la science de la conservation ou pour étudier la biodiversité, soit à l'échelle d'espèces particulières (Barber-Meyer *et al.*, 2020 ; Pérez-Granados & Schuchmann, 2021 ; Alessi *et al.*, 2010) ou de cortèges entiers (Brooker *et al.*, 2020). Ross *et al.*, 2023 synthétisent par exemple les avantages et problématiques liés à ce type d'étude mais également les questions d'écologie fondamentale auxquelles ces suivis acoustiques pourraient répondre. Les écoutes passives peuvent permettre de travailler à différentes échelles, qu'elles soient spatiales ou temporelles et sur des espèces discrètes, peu démonstratives ou rares (Sallé *et al.*, 2023). Un seul équipement peut permettre d'étudier plusieurs groupes taxonomiques en même temps (par exemple : amphibiens et oiseaux avec des enregistrements dans l'audible) ou des facteurs environnementaux et/ou anthropiques influençant ces espèces ou cortèges.

À l'inverse, l'étude acoustique comporte plusieurs défis, complexifiés par l'utilisation de capteurs passifs autonomes, parfois laissés en place pendant une longue durée. Les signaux sonores émis par les espèces animales présentent des variations intra (au niveau individuel, du comportement ou du genre – Griffiths *et al.*, 2016 ; Bulyuk *et al.*, 2017) et interspécifiques, tant en termes de puissance, de fréquence ou de détectabilité. D'autres facteurs externes abiotiques tels que les conditions météorologiques, la structure des habitats en présence (végétation) ou les bruits (Pacifi *et al.*, 2008 ; Salamon *et al.*, 2016 ; Priyadarshani *et al.*, 2018), qu'ils soient naturels (géologiques) ou anthropiques (usines, transport routier, ferroviaire, maritime ou aérien, etc.) peuvent modifier, altérer ou rendre inaudibles les émissions vocales de la biodiversité. L'utilisation de capteurs passifs, souvent sans surveillance ni contrôle sur une longue durée, peut être limitée par les capacités de stockage ou de batterie des enregistreurs, notamment dans les environnements éloignés ou inaccessibles.

Malgré ces différentes contraintes, les résultats obtenus peuvent être utilisés pour la définition d'estimateurs liés à la biodiversité (richesse spécifique, etc.), la réalisation d'analyses de population (tendances, dynamiques), l'étude de l'impact du changement climatique sur la phénologie des espèces (Horton, 2020 ; Van Doren, 2023a), la délimitation de la distribution des espèces considérées ou encore la compréhension des causes de dérangement chez certaines espèces (Bota, 2021).

La démocratisation des écoutes passives dans le domaine de l'écologie a permis d'enregistrer des jeux de données toujours plus conséquents. Cette multiplication des études a permis le partage des données, qui contribue à l'acquisition de résultats à différentes échelles. Néanmoins, l'utilisation de matériel électronique dans les milieux naturels, et donc soumis à des conditions météorologiques parfois difficiles, peut altérer leur capacité de suivi. Il est donc nécessaire, d'autant plus lorsque les travaux de recherche sont réalisés à grande échelle spatiale, de calibrer le matériel usité. Cette calibration pourra, à terme, être mise en œuvre en amont des projets d'étude pour améliorer la prise en compte des facteurs externes locaux propres à chaque étude. L'acquisition grandissante de données acoustiques a permis la création d'outils permettant la classification automatique de plusieurs centaines d'espèces (Kahl *et al.*, 2021). Cette classification peut fonctionner pour des enregistrements comprenant de nombreuses espèces, tel que lors du chorus matinal (Brooker *et al.*, 2020). Ces dernières fonctionnent, à l'heure actuelle, pour des enregistrements de bonne qualité au sein desquels les émissions sonores sont assez longues pour obtenir un nombre suffisant de critères discriminants (chant des oiseaux par exemple). L'utilisation d'un réseau local d'enregistreurs apparaît comme une solution pour améliorer la qualité des données par le prisme d'un travail de réduction des bruits et d'amplification des signaux détectés pour les cas plus complexes. La mise en place de plusieurs capteurs synchronisés permet également la localisation précise des individus étudiés et d'analyser plus finement certaines vocalisations émises. Il est également possible *via* l'utilisation de plusieurs enregistreurs placés en 3 dimensions (triangulation) de définir la hauteur de vol des individus contactés grâce à leurs émissions sonores (Gayk & Mennill, 2019, 2023). Cette méthode reste plus complexe et nécessite un espace plus conséquent pour l'installation du dispositif, qui ne pourra plus être placé discrètement. De plus, les conditions d'enregistrement doivent être optimales pour obtenir la précision la plus fine possible. Cette méthode est un outil intéressant pour étudier le comportement des oiseaux migrateurs ou quantifier les flux contactés.

L'utilisation concomitante et à plus grande échelle de ces deux axes d'amélioration précités (qualité des signaux et localisation des individus contactés) permettra une analyse plus fine des vocalisations des espèces animales étudiées. Cette précision accrue permettra l'amélioration de la reconnaissance chez certaines espèces dont les caractéristiques entravent actuellement l'analyse automatique : cris très courts (Pamula *et al.*, 2021 ; Stowell *et al.*, 2018), intra-variabilité des cris (Bulyuk *et al.*, 2017 ; Griffiths *et al.*, 2016) ou encore similarité des cris d'espèces migratrices proches – convergence acoustique (Gayk *et al.*, 2021).

Bilan : l'ensemble de la bibliographie utilisée a été recherchée sous Google Scholar. Il existe encore peu de références traitant des enregistreurs acoustiques à l'échelle européenne mais l'on observe tout de même une augmentation du nombre d'études et la mise en place de recommandations pour leur utilisation dans le cadre d'études d'impact notamment. Les enregistreurs acoustiques sont utilisés pour de nombreux

taxons et l'avifaune reste probablement l'un des mieux étudiés. Les études portent autant sur la période de reproduction que sur la période de migration (principalement nocturne). Le nombre d'outils informatiques visant à l'automatisation de la détection et des analyses des enregistrements est en augmentation mais ne permet pas encore d'automatiser toute la procédure sur l'ensemble des espèces potentiellement contactées en migration nocturne en France ou en Europe. On notera que ces projets semblent principalement en libre accès.



3 RÉSULTATS



3.1 Données brutes et comparaison avec les résultats d'études d'impact

3.1.1 Diversité spécifique

3.1.1.1 Espèces en migration active

Données brutes

Le suivi acoustique nocturne réalisé entre la fin août et la fin novembre 2023 sur l'ensemble des trois sites d'étude a permis de recenser 58 espèces en migration active (tableau 6). On peut noter la belle diversité d'espèces de limicoles (*Charadriiformes*) avec 17 espèces détectées ainsi que de passereaux (*Passeriformes*) avec 26 espèces. Les grands échassiers (*Pelecaniformes*) sont également très bien représentés avec sept espèces contactées. À l'inverse, seules quatre espèces d'anatidés (*Anseriformes*) ont été recensées tout au long du suivi.

Le tableau suivant présente l'ensemble des espèces contactées en migration active nocturne, avec le nombre de cris détectés et une estimation du nombre d'individus (minimum) impliqués. Les données propres à chaque site étudié sont présentées en annexes 3 à 5.

Ordre	Nom vernaculaire	Nom latin	Nombre de cris	Nombre d'individus
Anseriformes	Bernache cravant	<i>Branta bernicla</i>	1 157	95
	Canard chipeau	<i>Mareca strepera</i>	5	1
	Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>	95	15
	Oie cendrée	<i>Anser anser</i>	290	24
Charadriiformes	Avocette élégante	<i>Recurvirostra avosetta</i>	4	1
	Bécasseau variable	<i>Calidris alpina</i>	1	1
	Bécassine des marais	<i>Gallinago gallinago</i>	20	3
	Chevalier aboyeur	<i>Tringa nebularia</i>	1	1
	Chevalier culblanc	<i>Tringa ochropus</i>	20	5
	Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i>	24	14
	Courlis corlieu	<i>Numenius phaeopus</i>	35	5
	Échasse blanche	<i>Himantopus himantopus</i>	130	2
	Goéland argenté	<i>Larus argentatus</i>	20	9
	Goéland leucopnée	<i>Larus michahellis</i>	2	1
	Grand Gravelot	<i>Charadrius hiaticula</i>	1	1
	Huîtrier pie	<i>Haematopus ostralegus</i>	1	1
	Mouette rieuse	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	138	6
	Œdicnème criard	<i>Burhinus oedicnemus</i>	9	1
	Petit Gravelot	<i>Charadrius dubius</i>	1	1
	Pluvier doré	<i>Pluvialis apricaria</i>	45	9
	Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i>	51	12
Gruiformes	Foulque macroule	<i>Fulica atra</i>	25	4
	Gallinule poule-d'eau	<i>Gallinula chloropus</i>	14	9
	Grue cendrée	<i>Grus grus</i>	3 276	1 871
Passeriformes	Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>	10	5
	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	122	47

Ordre	Nom vernaculaire	Nom latin	Nombre de cris	Nombre d'individus
Passeriformes	Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	15	9
	Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>	27	9
	Bergeronnette printanière	<i>Motacilla flava</i>	1	1
	Bruant des roseaux	<i>Emberiza schoeniclus</i>	10	5
	Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>	24	2
	Bruant ortolan	<i>Emberiza hortulana</i>	48	27
	Bruant zizi	<i>Emberiza circlus</i>	49	4
	Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>	15	3
	Choucas des tours	<i>Coloeus monedula</i>	16	9
	Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>	31	30
	Gobemouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	4	4
	Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>	1	1
	Grive litorne	<i>Turdus pilaris</i>	7	4
	Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>	3 521	2 420
	Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	9 111	5 489
	Linotte mélodieuse	<i>Linaria cannabina</i>	15	3
	Merle noir	<i>Turdus merula</i>	151	64
	Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	309	130
	Pinson du Nord	<i>Fringilla montifringilla</i>	1	1
	Pipit des arbres	<i>Anthus trivialis</i>	63	32
	Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	50	6
	Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	4	3
Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	723	377	
Rougequeue noir	<i>Phoenicurus ochruros</i>	4	1	
Pelecaniformes	Aigrette garzette	<i>Egretta garzetta</i>	2	1
	Bihoreau gris	<i>Nycticorax nycticorax</i>	231	44
	Blongios nain	<i>Ixobrychus minutus</i>	8	3
	Butor étoilé	<i>Botaurus stellaris</i>	15	4
	Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	2 144	395
	Héron garde-bœufs	<i>Bubulcus ibis</i>	13	2
	Héron pourpré	<i>Ardea purpurea</i>	27	3
Podicipediformes	Grèbe castagneux	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	4	3
-	Espèce indéterminée	<i>Aves sp.</i>	36	11
TOTAL			22 177	11 244

Tableau 6 : Espèces contactées en migration active nocturne

Différences géographiques

Les espèces d'oiseaux ne sont pas réparties uniformément à l'échelle nationale et leur présence en période de migration est principalement régie par les habitats (de halte) en présence - localement ou à plus grande distance -, par les couloirs de migration préférentiels empruntés par les individus et par leur origine (Scandinavie, Europe centrale, Royaume-Uni, Islande / Groenland).

Si l'on compare les données obtenues sur les différents lieux d'enregistrement, qui peuvent être représentés selon un gradient ouest/est par rapport au littoral atlantique - à savoir Issé, Villognon puis Janaillat - on observe des variations d'effectifs chez certaines espèces que l'on peut regrouper selon leur affinité géographique (tableau 7). Les espèces sélectionnées sont les plus représentatives de ces affinités et/ou les plus fréquemment recensées au cours de la présente étude.

Ainsi, d'une manière générale, les espèces littorales (Bernache cravant, Courlis corlieu) ont été plus fréquemment contactées sur le site d'Issé qui est le plus proche du littoral atlantique (75 km contre 90 km pour Villognon et 215 km pour Janaillat), mais également le seul localisé sur un axe reliant la Manche à l'Océan Atlantique (cas des migrateurs évitant le détour par la Bretagne en coupant par l'intérieur des terres). À l'inverse, plusieurs espèces migratrices, dont l'axe de migration principal passe par l'intérieur des terres le long d'un axe nord-est / sud-ouest, ont été enregistrées en plus grand nombre sur les deux autres sites (Grue cendrée, Alouette des champs, Bruant ortolan). Ces espèces proviennent respectivement de Fennoscandie et des pays baltes, du Benelux et de Fennoscandie voire d'Allemagne.

On rappellera que l'affinité géographique présentée dans le tableau suivant n'est pas aussi nette puisque dépendante de l'origine des individus contactés. La Mouette rieuse, par exemple, peut survoler l'intérieur des terres et même y hiverner et donc être recensée sur des suivis acoustiques nocturnes mis en place dans le centre de la France. La Grive mauvis possède une aire de répartition vaste (Scandinavie, Islande voire Écosse). Les individus contactés sur le site d'Issé proviennent probablement des différentes populations tandis que les enregistreurs installés à Villognon et Janaillat ne contactent que les individus en provenance de Scandinavie.

On observe également des effectifs plus limités sur le site de Villognon pour des espèces d'affinité plus continentale (Grive musicienne, Merle noir). Il est possible que l'influence du littoral atlantique et notamment la localisation du site d'Issé dans un secteur permettant aux migrateurs de couper la pointe bretonne depuis le nord-est à l'automne joue un rôle de concentration des migrateurs, y compris pour des espèces dont les flux passent majoritairement par l'intérieur des terres. Villognon étant légèrement décentré par rapport à Janaillat vis-à-vis du couloir de migration principal passant par le centre de la France (nord-est/sud-ouest), cela pourrait expliquer les plus faibles effectifs recensés au-dessus de la Charente pour les espèces d'affinité continentale.

Affinité géographique	Ordre	Nom vernaculaire	Nom scientifique	Site d'étude (gradient Ouest - Est)		
				Issé (44)	Villognon (16)	Janaillat (23)
Continentale	Gruiformes	Grue cendrée	<i>Grus grus</i>	0	1 611	260
	Passeriformes	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	7	27	13
		Bruant ortolan	<i>Emberiza hortulana</i>	5	6	16
		Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>	1 866	388	169*
		Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	2 915	800	1 774
		Merle noir	<i>Turdus merula</i>	19	4	43
		Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	124	111	150
Littorale	Anseriformes	Bernache cravant	<i>Branta bernicla</i>	95	0	0
		Oie cendrée	<i>Anser anser</i>	10	14	0
	Charadriiformes	Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i>	9	3	2
		Courlis corlieu	<i>Numenius phaeopus</i>	3	2	0
		Mouette rieuse	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	6	0	0
Neutre	Charadriiformes	Chevalier culblanc	<i>Tringa ochropus</i>	3	2	0
	Passeriformes	Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>	14	1	15
		Pipit des arbres	<i>Anthus trivialis</i>	15	5	12
	Pelecaniformes	Bihoreau gris	<i>Nycticorax nycticorax</i>	13	13	17
		Blongios nain	<i>Ixobrychus minutus</i>	0	0	3
		Butor étoilé	<i>Botaurus stellaris</i>	1	0	3
		Héron pourpré	<i>Ardea purpurea</i>	0	3	0

*: arrêt du suivi en amont du passage migratoire principal de l'espèce

Tableau 7 : Comparatif des effectifs d'espèces recensées par affinité géographique et par site d'étude

La représentativité des espèces les plus fréquemment contactées par les trois enregistreurs diffère grandement selon la localisation, malgré des effectifs parfois plus importants sur certains sites (figure 3).

Par exemple, la Grive musicienne a été contactée en plus grand nombre (contacts et individus) sur le site d'Issé mais ne représente que 52 % des individus contre 70 % sur Janaillat. Chez cette espèce, souvent considérée comme la plus fréquente sur les suivis acoustiques nocturnes, la part qu'elle représente varie entre 25 % et 70 %. La Grive mauvis, quant à elle, représente entre 12 % et 33 % des effectifs recensés. On rappellera que le suivi sur Janaillat a été arrêté en amont du pic migratoire de l'espèce, ce qui explique également la plus forte proportion que représente la Grive musicienne sur ce dernier site en comparaison des deux autres.

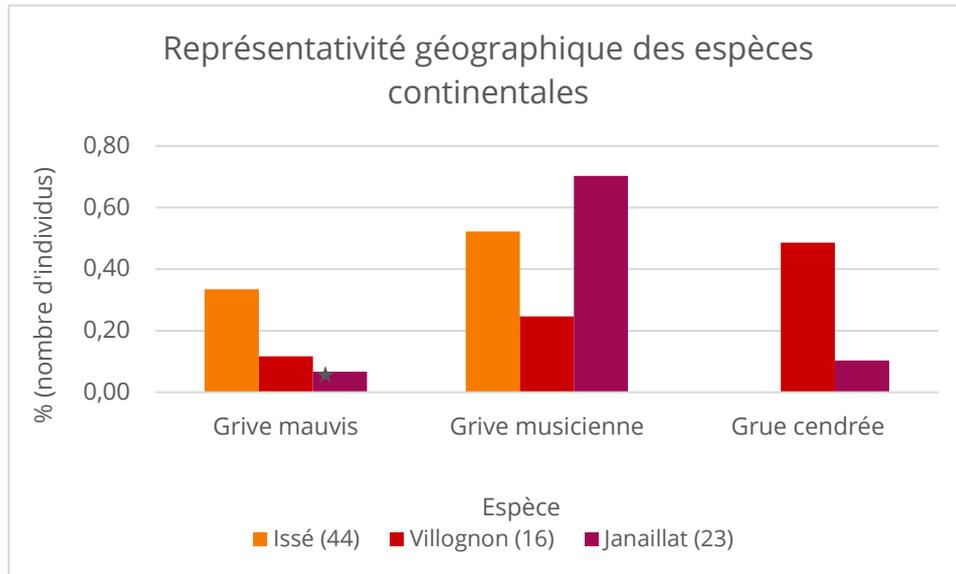


Figure 3 : Représentativité (en %) du nombre d'individus par site d'étude pour les espèces d'affinité continentale les plus contactées

Si l'on considère les espèces contactées régulièrement mais en effectifs plus restreints, on peut noter une certaine similarité dans les effectifs recensés entre chaque site (tableau 7). Le graphe suivant présente l'importance relative de quelques espèces fréquemment contactées durant les inventaires acoustiques nocturnes (figure 4).

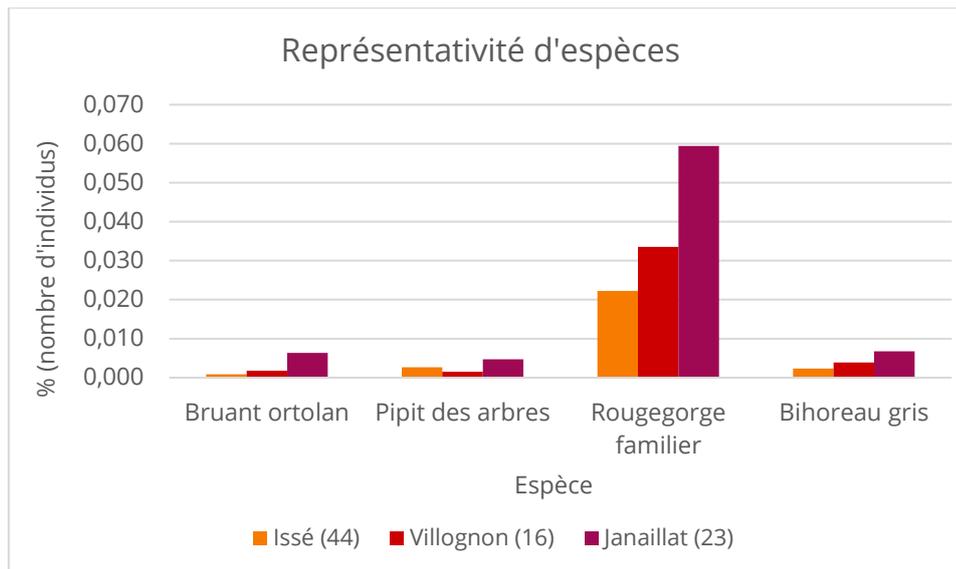


Figure 4 : Représentativité (en %) du nombre d'individus par site d'étude pour les espèces fréquemment contactées

Le gradient longitudinal en espèces observées sur les différents sites d'étude n'est pas uniforme lorsque l'on s'intéresse au type d'espèces et à l'ordre auquel elles appartiennent. Le tableau suivant présente la diversité spécifique recensée par groupe d'espèces pour les trois sites étudiés au sein des ordres d'espèces majoritairement contactés. On observe que la principale différence de diversité se trouve au sein de l'ordre des *Charadriiformes* (laro-limicoles), c'est-à-dire des espèces principalement liées aux zones humides et aquatiques ou au littoral pour une partie d'entre elles.

Le plus faible nombre de passereaux (*Passeriformes*) contactés à Janaillat est probablement dû à un inventaire moins conséquent (durée et période d'enregistrement).

Ordre	Site d'étude (gradient Ouest - Est)		
	Issé (44)	Villognon (16)	Janaillat (23)
Charadriiformes	16	7	2
Gruiformes	2	3	1
Passeriformes	20	20	15
Pelecaniformes	4	4	4
TOTAL	46	39	22

Tableau 8 : Diversité spécifique recensée par ordre et par site d'étude

3.1.1.2 Espèces « locales »

Les enregistrements nocturnes ont également permis de recenser des espèces posées dans les milieux environnants (tableau 9). Alors que certaines de ces espèces sont probablement sédentaires ou reproductrices et migratrices partielles sur les zones étudiées (Buse variable, Œdicnème criard, Perdrix grise, Chevêche d'Athéna, Chouette hulotte, etc.), d'autres peuvent être définies comme en halte migratoire, en raison de leur présence dans l'ouest de la France uniquement en période internuptiale (Pluvier doré, Bruant ortolan, grives litorne et mauvis, Pinson du Nord, Pouillot fitis) (Dupuy & Sallé, 2022).

Les espèces nocturnes telles que les rapaces nocturnes (*Strigiformes*) ont été sans surprise régulièrement contactées durant ces inventaires, à l'instar de l'Œdicnème criard sur les sites où il se reproduit (Issé, Villognon).

On rappellera qu'il est difficile de déterminer si une espèce est présente en halte migratoire ou seulement sédentaire en dehors des espèces migratrices strictes (Pinson du Nord, Grive mauvis, etc.) et des espèces sédentaires. En effet, de très nombreuses espèces présentent un comportement migratoire partiel (Dupuy & Sallé, 2022). Dans ce cas, seule une partie de la population est migratrice ou seules les populations les plus nordiques et/ou orientales sont migratrices totales, souvent selon un gradient géographique (Newton, 2017).

Le tableau suivant recense les espèces définies comme locales, c'est-à-dire celles qui ont été considérées comme posées dans les milieux environnants des enregistreurs posés.

Le site de Janaillat ayant été suivi moins longtemps (cf. 1.2), il est normal d'y retrouver une diversité spécifique « locale » plus restreinte.

Ordre	Nom vernaculaire	Nom latin	Issé (44)	Janaillat (23)	Villognon (16)
Accipitriformes	Buse variable	<i>Buteo buteo</i>	X	X	X
Anseriformes	Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>	X		X
Caprimulgiformes	Engoulevent d'Europe	<i>Caprimulgus europaeus</i>			X
Charadriiformes	Œdicnème criard	<i>Burhinus oedicanus</i>	X		X
	Pluvier doré	<i>Pluvialis apricaria</i>	X		
	Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i>	X		
Columbiformes	Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>			X
Galliformes	Caille des blés	<i>Coturnix coturnix</i>	X		
	Faisan de Colchide	<i>Phasianus colchicus</i>	X		
	Perdrix grise	<i>Perdix perdix</i>	X		X
	Perdrix rouge	<i>Alectoris rufa</i>	X		X
Gruiformes	Foulque macroule	<i>Fulica atra</i>			X
	Gallinule poule-d'eau	<i>Gallinula chloropus</i>	X		X
Passeriformes	Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>	X	X	X
	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	X		X
	Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	X	X	X
	Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>			X
	Bouscarle de cetti	<i>Cettia cetti</i>	X		X
	Bouvreuil pivoine	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>		X	
	Bruant ortolan	<i>Emberiza hortulana</i>			X
	Bruant zizi	<i>Emberiza cirlus</i>	X		X
	Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>			X
	Corneille noire	<i>Corvus corone</i>	X	X	X
	Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>		X	X
	Geai des chênes	<i>Garrulus glandarius</i>			X
	Gobemouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	X		
	Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>			X
	Grive litorne	<i>Turdus pilaris</i>	X		
	Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>		X	
	Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	X	X	X
	Merle noir	<i>Turdus merula</i>	X	X	X
	Mésange bleue	<i>Cyanistes caeruleus</i>	X		X
	Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>			X
	Pie bavarde	<i>Pica pica</i>	X		
	Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	X	X	X
	Pinson du Nord	<i>Fringilla montifringilla</i>			X
Pouillot fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>		X		
Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	X			
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>			x	

Ordre	Nom vernaculaire	Nom latin	Issé (44)	Janailat (23)	Villognon (16)
Passeriformes	Rossignol philomèle	<i>Luscinia megarhynchos</i>	X		
	Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	X	X	X
	Tarier pâtre	<i>Saxicola rubicola</i>	X		
	Troglodyte mignon	<i>Troglodytes troglodytes</i>	X		
	Verdier d'Europe	<i>Chloris chloris</i>		X	
Pelecaniformes	Bihoreau gris	<i>Nycticorax nycticorax</i>			X
	Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>			X
Piciformes	Pic vert	<i>Picus viridis</i>		X	
Strigiformes	Chevêche d'Athéna	<i>Athene noctua</i>		X	X
	Chouette hulotte	<i>Strix aluco</i>	X	X	X
	Effraie des clochers	<i>Tyto alba</i>	X	X	X
	Hibou moyen-duc	<i>Asio otus</i>			X
TOTAL			30	17	35

Tableau 9 : Espèces « locales » contactées sur chaque site d'étude

3.1.2 Comparaison avec l'étude d'impact

L'un des objectifs de ce programme est d'évaluer la plus-value que peut apporter un tel suivi par rapport à un inventaire plus classique sur la migration de l'avifaune, tel que réalisé dans le cadre d'une étude d'impact (migration active diurne et halte migratoire).

3.1.2.1 Espèces en migration active

Les enregistrements acoustiques ne permettent pas de cerner la migration de l'ensemble des espèces sur un site d'étude (Dupuy & Sallé, 2023). Les espèces recensées uniquement au cours de l'état initial sont des espèces migrant généralement en journée et/ou silencieuses en migration active (rapaces diurnes, pigeons, hirondelles, bergeronnettes et pipits). Certaines d'entre elles sont néanmoins susceptibles d'être contactées au cours des inventaires nocturnes mais de façon ponctuelle (hirondelles, bergeronnettes et pipits).

Les tableaux suivants listent l'ensemble des espèces contactées en migration active au cours des suivis diurnes (printemps et automne) et nocturnes (automne), respectivement sur les sites d'Issé, de Villognon et de Janailat. Le gain en espèces contactées grâce aux suivis acoustiques nocturnes par rapport aux suivis diurnes reste relativement constant entre les sites et varie entre **10 et 15 espèces**.

Issé

Ordre	Nom vernaculaire	Nom scientifique	État initial	Écoutes nocturnes
Anseriformes	Bernache cravant	<i>Branta bernicla</i>		X
	Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>	X	X
	Oie cendrée	<i>Anser anser</i>		X
Charadriiformes	Bécasseau variable	<i>Calidris alpina</i>		X
	Bécassine des marais	<i>Gallinago gallinago</i>	X	X
	Chevalier aboyeur	<i>Tringa nebularia</i>		X
	Chevalier culblanc	<i>Tringa ochropus</i>	X	X
	Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i>	X	X
	Courlis corlieu	<i>Numenius phaeopus</i>		X
	Échasse blanche	<i>Himantopus himantopus</i>		X
	Goéland argenté	<i>Larus argentatus</i>	X	X
	Goéland brun	<i>Larus fuscus</i>	X	
	Goéland leucophée	<i>Larus michahellis</i>	X	X
	Grand Gravelot	<i>Charadrius hiaticula</i>		X
	Huîtrier pie	<i>Haematopus ostralegus</i>		X
	Mouette rieuse	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	X	X
	Œdicnème criard	<i>Burhinus oedicephalus</i>		X
	Petit Gravelot	<i>Charadrius dubius</i>		X
Pluvier doré	<i>Pluvialis apricaria</i>	X	X	
Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i>	X	X	
Ciconiiformes	Cigogne noire	<i>Ciconia nigra</i>	X	
Columbiformes	Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	X	
	Tourterelle des bois	<i>Streptopelia turtur</i>	X	
Falconiformes	Faucon émerillon	<i>Falco columbarius</i>	X	
Gruiformes	Foulque macroule	<i>Fulica atra</i>	X	X
	Gallinule poule-d'eau	<i>Gallinula chloropus</i>	X	X
Passeriformes	Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>	X	X
	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	X	X
	Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	X	X
	Bergeronnette des ruisseaux	<i>Motacilla cinerea</i>	X	
	Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>	X	
	Bergeronnette printanière	<i>Motacilla flava</i>	X	X
	Bouvreuil pivoine	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	X	
	Bruant des roseaux	<i>Emberiza schoeniclus</i>	X	X
Passeriformes	Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>	X	X
	Bruant ortolan	<i>Emberiza hortulana</i>		X
	Bruant zizi	<i>Emberiza cirlus</i>	X	X
	Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>	X	X
	Choucas des tours	<i>Coloeus monedula</i>		X
	Etourneau sansonnet	<i>Sturnus vulgaris</i>	X	
	Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>	X	X
	Grive litorne	<i>Turdus pilaris</i>	X	X
	Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>	X	X
	Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	X	X
	Grosbec casse-noyaux	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	X	
	Hirondelle de fenêtre	<i>Delichon urbicum</i>	X	
Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	X		

Ordre	Nom vernaculaire	Nom scientifique	État initial	Écoutes nocturnes
Passeriformes	Linotte mélodieuse	<i>Linaria cannabina</i>	X	X
	Merle noir	<i>Turdus merula</i>	X	X
	Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	X	X
	Pinson du Nord	<i>Fringilla montifringilla</i>	X	
	Pipit des arbres	<i>Anthus trivialis</i>	X	X
	Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	X	X
	Pipit spioncelle	<i>Anthus spinoletta</i>	X	
	Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	X	
	Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	X	X
Tarin des aulnes	<i>Spinus spinus</i>	X		
Pelecaniformes	Bihoreau gris	<i>Nycticorax nycticorax</i>		X
	Butor étoilé	<i>Botaurus stellaris</i>		X
	Grande Aigrette	<i>Ardea alba</i>	X	
	Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	X	X
	Héron garde-bœufs	<i>Bubulcus ibis</i>	X	X
Suliformes	Grand cormoran	<i>Phalacrocorax carbo</i>	X	
Podicipediformes	Grèbe castagneux	<i>Tachybaptus ruficollis</i>		X
Total			49	46
Gain en espèces				15
: Espèces uniquement contactées en migration nocturne				

Tableau 10 : Espèces contactées lors des deux saisons de migration (état initial) et à l'automne (écoutes nocturnes) sur Issé

Villognon

Ordre	Nom vernaculaire	Nom scientifique	État initial	Écoutes nocturnes
Accipitriformes	Busard des roseaux	<i>Circus aeruginosus</i>	X	
Anseriformes	Canard chipeau	<i>Mareca strepera</i>		X
	Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>		X
	Oie cendrée	<i>Anser anser</i>		X
Charadriiformes	Avocette élégante	<i>Recurvirostra avosetta</i>		X
	Chevalier culblanc	<i>Tringa ochropus</i>		X
	Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i>	X	X
	Courlis corlieu	<i>Numenius phaeopus</i>		X
Charadriiformes	Pluvier doré	<i>Pluvialis apricaria</i>	X	X
	Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i>	X	X
Columbiformes	Pigeon colombin	<i>Columba oenas</i>	X	
	Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	X	X
	Tourterelle des bois	<i>Streptopelia turtur</i>	X	
Falconiformes	Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	X	
Gruiformes	Foulque macroule	<i>Fulica atra</i>		X
	Gallinule poule-d'eau	<i>Gallinula chloropus</i>	X	X
	Grue cendrée	<i>Grus grus</i>	X	X
Passeriformes	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	X	X
	Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	X	X
	Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>	X	X
	Bergeronnette printanière	<i>Motacilla flava</i>	X	
Passeriformes	Bruant des roseaux	<i>Emberiza schoeniclus</i>	X	
	Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>	X	

Ordre	Nom vernaculaire	Nom scientifique	État initial	Écoutes nocturnes
Passeriformes	Bruant ortolan	<i>Emberiza hortulana</i>		X
	Bruant proyer	<i>Emberiza calandra</i>	X	X
	Bruant zizi	<i>Emberiza cirius</i>	X	X
	Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>	X	
	Cochevis huppé	<i>Galerida cristata</i>	X	
	Étourneau sansonnet	<i>Sturnus vulgaris</i>	X	
	Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>	X	X
	Gobemouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	X	X
	Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>	X	X
	Grive litorne	<i>Turdus pilaris</i>	X	
	Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>	X	X
	Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	X	X
	Grosbec casse-noyaux	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	X	
	Hirondelle de fenêtre	<i>Delichon urbicum</i>	X	
	Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	X	
	Linotte mélodieuse	<i>Linaria cannabina</i>	X	
Passeriformes	Merle noir	<i>Turdus merula</i>	X	X
	Mésange bleue	<i>Cyanistes caeruleus</i>	X	
	Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>	X	
	Moineau soulcie	<i>Petronia petronia</i>	X	
	Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	X	X
	Pinson du nord	<i>Fringilla montifringilla</i>	X	X
	Pipit des arbres	<i>Anthus trivialis</i>	X	X
	Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	X	X
	Pipit spioncelle	<i>Anthus spinoletta</i>	X	
	Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	X	X
	Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	X	X
	Serin cini	<i>Serinus serinus</i>	X	
	Tarin des aulnes	<i>Spinus spinus</i>	X	
	Verdier d'Europe	<i>Chloris chloris</i>	X	
Pelecaniformes	Aigrette garzette	<i>Egretta garzetta</i>		X
	Bihoreau gris	<i>Nycticorax nycticorax</i>		X
	Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	X	X
	Héron pourpré	<i>Ardea purpurea</i>		X
Piciformes	Pic épeiche	<i>Dendrocopos major</i>	X	
Suliformes	Grand Cormoran	<i>Phalacrocorax carbo</i>	X	
Total			48	35
Gain en espèces				11
: Espèces uniquement contactées en migration nocturne				

Tableau 11 : Espèces contactées lors des deux saisons de migration (état initial) et à l'automne (écoutes nocturnes) sur Villognon

Janailat

Ordre	Nom vernaculaire	Nom scientifique	État initial	Écoutes nocturnes
Accipitriformes	Bondrée apivore	<i>Pernis apivorus</i>	X	
	Busard Saint-Martin	<i>Circus cyaneus</i>	X	
	Milan royal	<i>Milvus milvus</i>	X	
Charadriiformes	Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i>		X
	Œdicnème criard	<i>Burhinus oedicnemus</i>		X
Columbiformes	Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	X	
Gruiformes	Grue cendrée	<i>Grus grus</i>	X	X
Passeriformes	Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>		X
	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	X	X
	Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	X	
	Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>	X	
	Bergeronnette printanière	<i>Motacilla flava</i>	X	
	Bouvreuil pivoine	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	X	
	Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>	X	X
	Bruant ortolan	<i>Emberiza hortulana</i>		X
	Bruant proyer	<i>Emberiza calandra</i>	X	
	Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>	X	
	Choucas des tours	<i>Coloeus monedula</i>	X	
	Corneille noire	<i>Corvus corone</i>	X	
	Etourneau sansonnet	<i>Sturnus vulgaris</i>	X	
	Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>		X
	Gobemouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	X	X
	Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>	X	
	Grive litorne	<i>Turdus pilaris</i>		X
	Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>		X
	Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	X	X
	Grosbec casse-noyaux	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	X	
	Hirondelle de fenêtre	<i>Delichon urbicum</i>	X	
	Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	X	
	Linotte mélodieuse	<i>Linaria cannabina</i>	X	
	Merle noir	<i>Turdus merula</i>	X	X
	Mésange à longue queue	<i>Aegithalos caudatus</i>	X	
	Mésange bleue	<i>Cyanistes caeruleus</i>	X	
	Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>	X	
	Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	X	X
	Pinson du nord	<i>Fringilla montifringilla</i>	X	
	Pipit des arbres	<i>Anthus trivialis</i>	X	X
	Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	X	X
	Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	X	X
	Passeriformes	Rougequeue noir	<i>Phoenicurus ochruros</i>	X
Tarier des prés		<i>Saxicola rubetra</i>	X	
Tarin des aulnes		<i>Spinus spinus</i>	X	
Pelecaniformes	Bihoreau gris	<i>Nycticorax nycticorax</i>		X
	Blongios nain	<i>Ixobrychus minutus</i>		X
	Butor étoilé	<i>Botaurus stellaris</i>		X
	Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	X	X
Total			36	22
Gain en espèces				10
: Espèces uniquement contactées en migration nocturne				

Tableau 12 : Espèces contactées lors des deux saisons de migration (état initial) et à l'automne (écoutes nocturnes) sur Janailat

Le tableau 13 résume les espèces qui n'ont été contactées qu'en migration nocturne sur au moins l'un des sites étudiés. Il permet d'obtenir un aperçu global des espèces et groupes d'espèces pour lesquels les suivis acoustiques nocturnes fournissent un complément intéressant aux inventaires diurnes, notamment dans le cadre des études d'impact.

Les laro-limicoles (*Charadriiformes*) forment le groupe ayant fourni le maximum de nouvelles espèces, avec 11 espèces. On retrouve ensuite les passereaux (*Passeriformes*) avec six espèces, les grands échassiers (*Pelecaniformes*) avec cinq espèces et enfin les canards et oies (*Anseriformes*) avec quatre espèces.

Ordre	Nom vernaculaire	Nom scientifique
Anseriformes	Bernache cravant	<i>Branta bernicla</i>
	Canard chipeau	<i>Mareca strepera</i>
	Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>
	Oie cendrée	<i>Anser anser</i>
Charadriiformes	Avocette élégante	<i>Recurvirostra avosetta</i>
	Bécasseau variable	<i>Calidris alpina</i>
	Chevalier aboyeur	<i>Tringa nebularia</i>
	Chevalier culblanc	<i>Tringa ochropus</i>
	Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i>
	Courlis corlieu	<i>Numenius phaeopus</i>
Charadriiformes	Échasse blanche	<i>Himantopus himantopus</i>
	Grand Gravelot	<i>Charadrius hiaticula</i>
	Huîtrier pie	<i>Haematopus ostralegus</i>
	Œdicnème criard	<i>Burhinus oedicnemus</i>
	Petit Gravelot	<i>Charadrius dubius</i>
Gruiformes	Foulque macroule	<i>Fulica atra</i>
Passeriformes	Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>
	Bruant ortolan	<i>Emberiza hortulana</i>
	Choucas des tours	<i>Coloeus monedula</i>
	Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>
	Grive litorne	<i>Turdus pilaris</i>
	Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>
Pelecaniformes	Aigrette garzette	<i>Egretta garzetta</i>
	Bihoreau gris	<i>Nycticorax nycticorax</i>
	Blongios nain	<i>Ixobrychus minutus</i>
	Butor étoilé	<i>Botaurus stellaris</i>
	Héron pourpré	<i>Ardea purpurea</i>
Podicipediformes	Grèbe castagneux	<i>Tachybaptus ruficollis</i>
TOTAL		28

Tableau 13 : Espèces contactées lors de la migration active postnuptiale

Si l'on s'intéresse plus spécifiquement aux espèces détectées par ce seul type de protocole, on note la présence d'espèces pour lesquelles les milieux autour des sites d'étude ne sont pas ceux régulièrement utilisés par ces dernières. La Bernache cravant, espèce liée au littoral, effectue des vols de plusieurs centaines de kilomètres d'une seule traite et n'est observée à l'intérieur des terres que de façon sporadique, lorsque les conditions atmosphériques sont très défavorables ou dans le cas d'un individu égaré. Comme énoncé plus haut, cette espèce peut couper au-dessus de la Bretagne pour rejoindre plus rapidement les zones de halte migratoire ou d'hivernage situées sur le littoral atlantique à l'automne. Cela explique notamment les contacts obtenus sur Issé. D'autres espèces à l'image de l'Avocette élégante, du Bécasseau variable, du Chevalier aboyeur, de l'Échasse blanche ou du Grand Gravelot sont plus fréquemment rencontrées à l'intérieur des terres en migration, mais la vaste majorité de la population migratrice se concentre sur le littoral pour migrer.

Ajoutons également que les suivis réalisés pour les études d'impact ne sont que parcellaires, avec six à huit sorties à l'automne et cinq ou six au printemps. Ces seules sorties ne permettent donc pas de recenser avec exhaustivité l'intégralité des espèces migrant au sein de la zone d'étude. À l'inverse, l'acquisition des données acoustiques nocturnes étant échelonnée sur une durée d'inventaire importante (1 714,5 heures en cumulé sur les trois sites), la probabilité de détection de ces espèces est, de ce fait, largement améliorée. Cela peut permettre d'expliquer la détection du Bihoreau gris, du Blongios nain, du Butor étoilé ou encore du Bruant ortolan, espèces peu fréquentes voire rares dans certaines régions ou discrètes en période de migration, uniquement grâce aux enregistrements acoustiques nocturnes (Dupuy & Sallé, 2022). Ce protocole peut aussi améliorer la détection des espèces qui présentent une forte variabilité interannuelle en effectifs (Grive litorne).

3.1.3 Base de données acoustique

L'un des objectifs de ce programme est la constitution d'une base de données interne sur les vocalisations en vol, qui permettra aux collaborateurs de progresser dans l'acoustique ornithologique.

Sur l'ensemble des inventaires acoustiques, ce sont 566 enregistrements appartenant à 81 espèces en migration active et/ou en halte migratoire voire locale, d'une durée allant de quelques secondes à plus de cinq minutes (pour les espèces les plus vocales au sein de grands groupes), qui ont été sauvegardés et intégrés à la base de données. Sur ce total, 384 enregistrements représentant 55 espèces concernent des espèces en migration active.

La qualité des enregistrements varie entre les notations A « Fort et clair » et E « À peine audible » (voir Annexe 2). Le choix a été fait de conserver ces enregistrements de faible qualité pour plusieurs raisons. Tout d'abord, ces enregistrements restent audibles et la forme des cris sur les sonagrammes permet de reconnaître les espèces, servant donc de référence. De plus, les enregistrements acoustiques sont généralement de faible qualité, malgré l'utilisation de matériel fiable, en raison de la distance de l'émetteur (individu) aux micros, des bruits parasites de l'environnement ou des conditions météorologiques. Ces enregistrements peuvent donc servir de test pour les observateurs ou de référentiel pour les cas les plus délicats.

Afin de donner un aperçu des conditions d'analyse des écoutes acoustiques, les sonagrammes (de bonne qualité) de plusieurs espèces recensées sur le site d'Issé à l'occasion de ce programme d'étude sont présentés à la suite (figures 5 à 11).

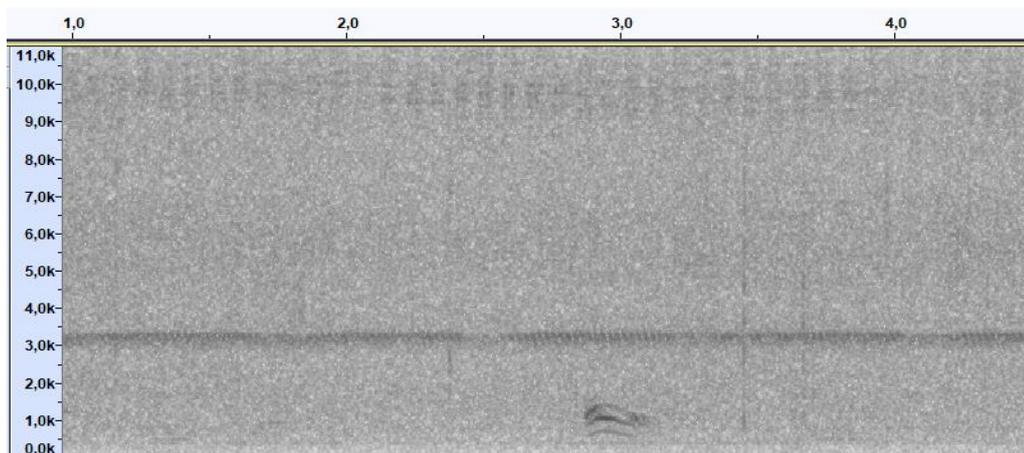


Figure 5 : Sonagramme de Butor étoilé

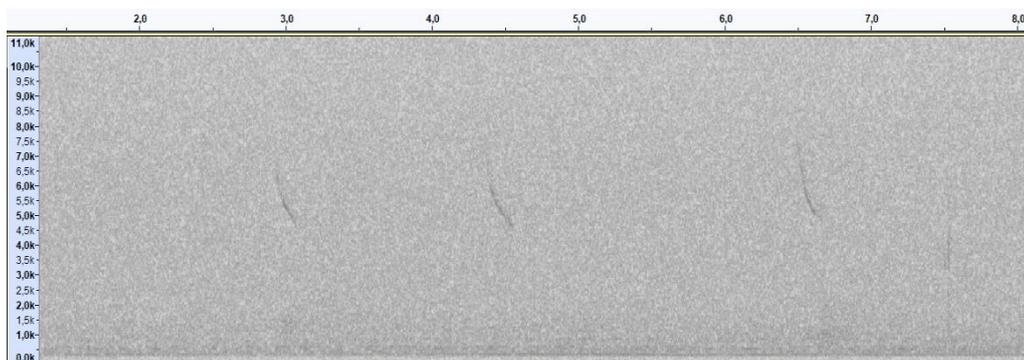


Figure 6 : Sonogramme de Bruant des roseaux

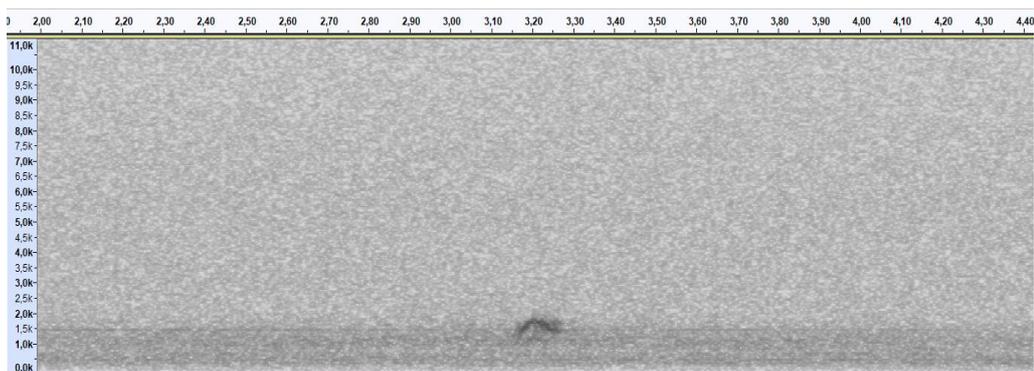


Figure 7 : Sonogramme de Bihoreau gris

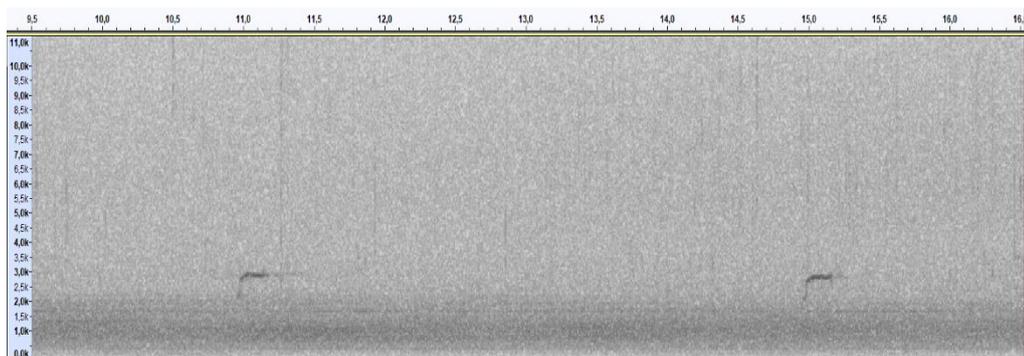


Figure 8 : Sonogramme de Pluvier doré

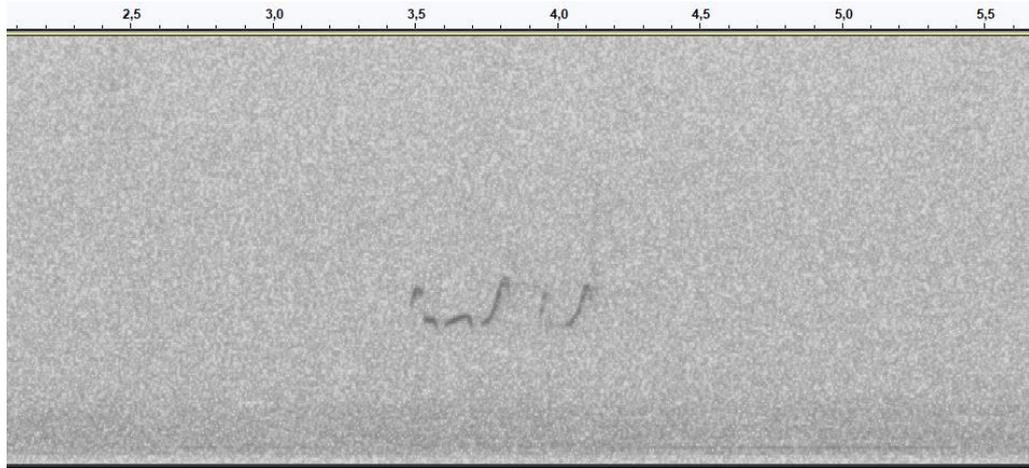


Figure 9 : Sonogramme de Chevalier culblanc



Figure 10 : Sonogramme de Merle noir

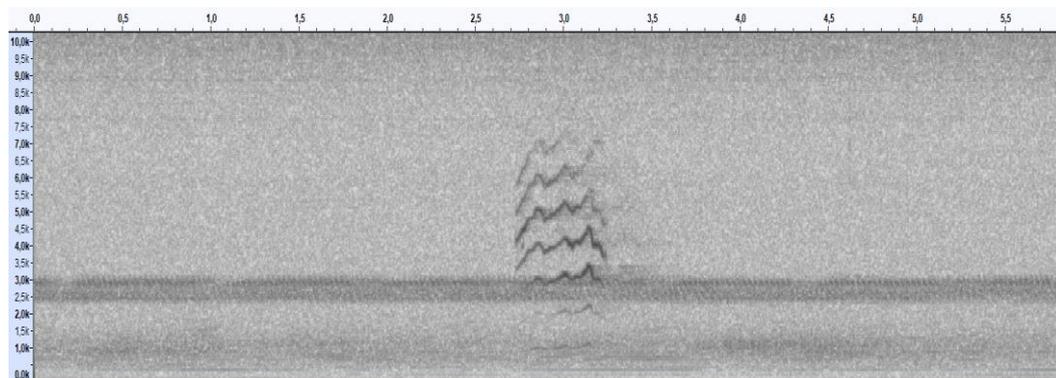


Figure 11 : Sonogramme de Vanneau huppé

3.2 Analyses phénologiques

3.2.1 Phénologie migratoire globale

3.2.1.1 Résultats généraux

L'inventaire continu de la migration nocturne sur un pas de temps relativement long (trois mois dans la présente étude) permet de cerner avec précision la phénologie migratoire de nombreuses espèces transitant au-dessus du site d'étude. La phénologie peut être décrite comme « l'ensemble des observations qui se rapportent à l'action des conditions de l'environnement (température, autres conditions météorologiques) sur la date des phénomènes biologiques périodiques » (Triplet, 2022).

Les suivis acoustiques nous permettent ainsi de définir les périodes d'activité migratoire maximale sur la zone d'étude (grand ouest métropolitain) pour plusieurs espèces mais également de manière globale en termes d'effectifs et de diversité spécifique. L'utilisation en simultané des enregistreurs sur une zone géographique relativement étendue permet également d'étudier le phénomène migratoire sur un plus large front que ne le permettrait un seul enregistreur. Cela ouvre des perspectives sur l'analyse et la définition de la phénologie migratoire sur l'ensemble des espèces comme sur des espèces spécifiques (pic migratoire concentré, passage étalé dans le temps, etc.).

Les figures 12 à 14 (page suivante) présentent les fluctuations d'effectifs (toutes espèces confondues) (surface orange) et de diversité spécifique (trait rouge) recensées au cours de la migration postnuptiale 2022, uniquement pour les espèces détectées en migration active sur chacun des sites étudiés. Les lignes en pointillé représentant la diversité spécifique concernent les données pour lesquelles il existe un écart supérieur à un jour. Ce type de données concerne principalement les suivis de Villognon et Janailat.

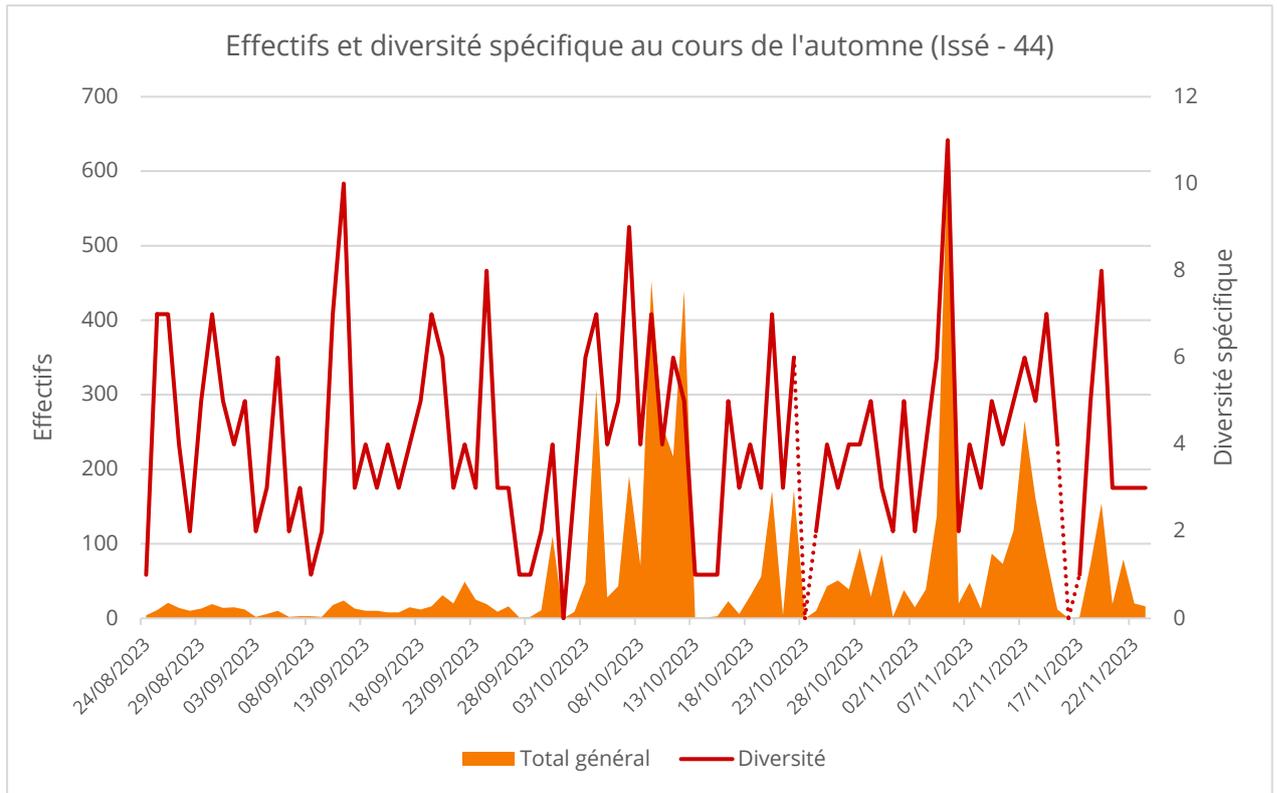


Figure 12 : Evolution des effectifs et de la diversité spécifique recensés au cours de la saison postnuptiale 2022 – Issé (44)

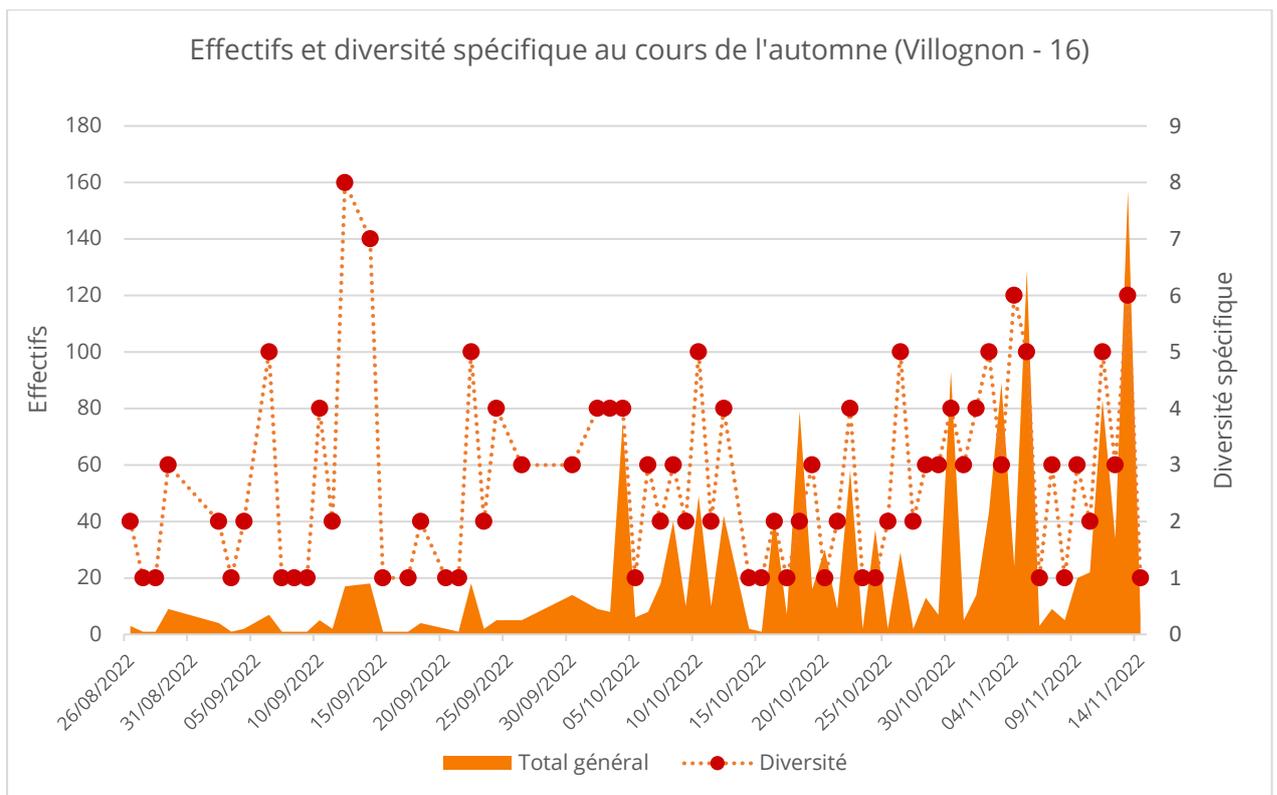


Figure 13 : Evolution des effectifs et de la diversité spécifique recensés au cours de la saison postnuptiale 2022 – Villognon (16) (suivi réalisé avec une fréquence d'une nuit sur deux)

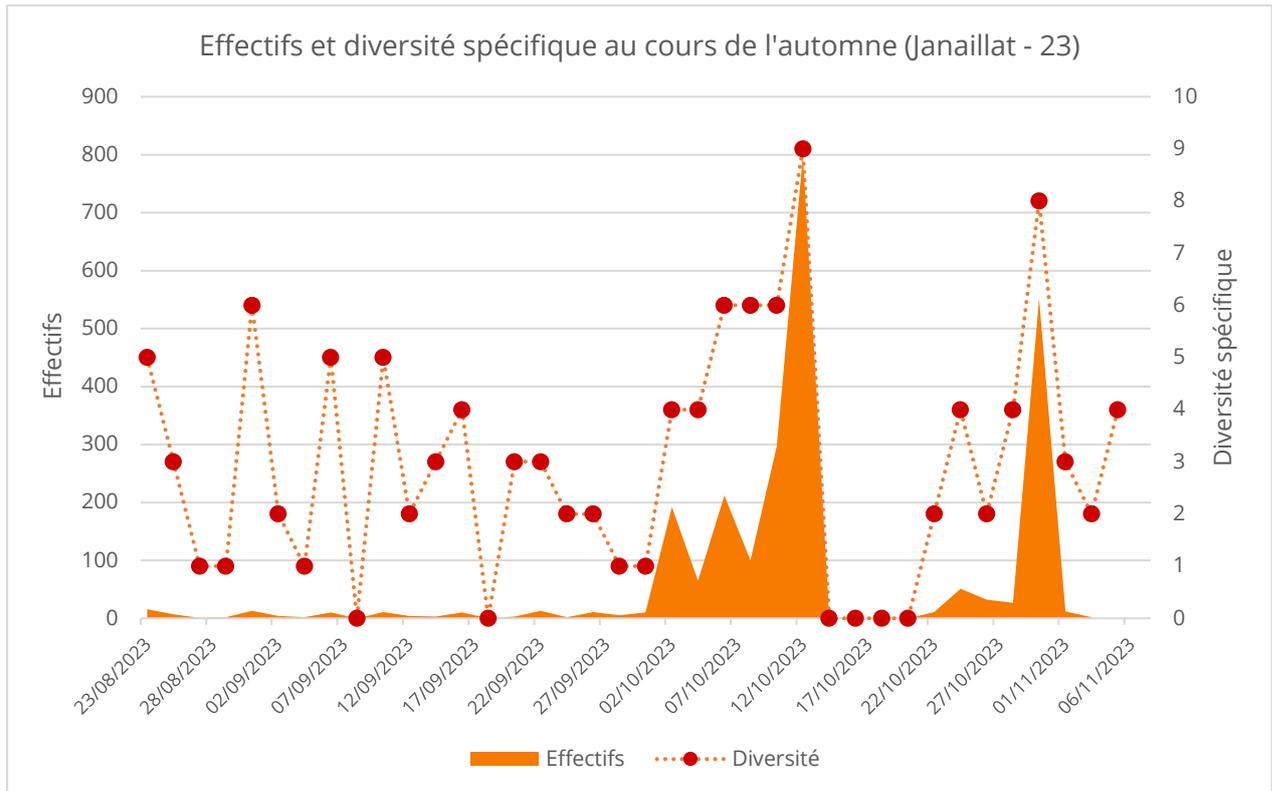


Figure 14 : Evolution des effectifs et de la diversité spécifique recensés au cours de la saison postnuptiale 2022 – Janaillat (23) (suivi réalisé avec une fréquence d'une nuit sur deux)

De manière générale, on observe une très forte variabilité journalière tant en termes d'effectifs que de diversité spécifique, qui peut être due aux conditions météorologiques défavorables pour la migration (autour des sites d'écoute ou à plus grande échelle), à la prise de sons (pluie, vent) mais aussi à la phénologie migratoire, quel que soit le site d'enregistrement.

La diversité spécifique observée tout au long de la migration postnuptiale présente des variations importantes. Les maximas enregistrés sur chaque site varient entre huit et 11 espèces. Bien que l'on ne puisse définir aucune période particulièrement propice à la détection de fortes diversités spécifiques, on observe toutefois que la période entre le 10 et le 12 septembre a été marquée par une diversité remarquable sur Issé (n=10) et Villognon (n=8). La première moitié du mois d'octobre est souvent marquée par une diversité spécifique maximale lors des suivis de migration diurnes en France métropolitaine, où les premiers migrants « tardifs » rencontrent les derniers migrants migrant plus précocement. Ce phénomène semble assez cohérent avec les résultats obtenus de nuit, bien que cette période ne soit pas celle présentant la diversité maximale sur les différents sites, à l'exception de Janaillat.

À l'instar de la diversité, les effectifs recensés montrent de très fortes variations sur l'intégralité du suivi, quel que soit le site étudié. En comparant les trois sites d'étude, on peut définir cinq pics d'activité à l'automne, qui restent plus ou moins marqués selon les localités.

Le premier tiers du suivi, soit jusqu'à la fin septembre, n'a fait l'objet d'aucun passage marqué de migrateurs sur l'ensemble des sites. Les nuits les plus actives recensent environ 20 individus avec une exception à 49 individus à la fin septembre sur Issé (23 septembre). Sur le mois d'octobre, on peut noter trois pics migratoires. Il faut néanmoins garder à l'esprit qu'une partie de ces suivis ont été réalisés de manière discontinue, avec une nuit sur deux analysée. Le premier pic est atteint début octobre (aux alentours des nuits du 3 et 4), un deuxième, plus conséquent suit peu de temps après, vers le 10-13 octobre. On notera toutefois que ce rush ne semble pas avoir été détecté à Villognon (Charente), pourtant localisé entre les deux autres sites. Enfin, un troisième passage, toutefois moins franc, peut être défini entre le 20 et le 25 octobre. Le mois de novembre a quant à lui été marqué par deux pics migratoires distincts. Le premier, assez étalé sur le grand ouest métropolitain, a pris place en tout début de mois - voire fin octobre - (nuits du 30/10 au 6/11) et le second entre le 10 et 14 novembre.

Il est intéressant de noter que les maxima n'ont jamais été notés aux mêmes dates sur les trois sites étudiés, malgré la distinction assez nette et aisée des différents pics migratoires dans l'ouest de la France. Ainsi, alors qu'à Issé, les effectifs maximaux ont été recensés au 5 novembre, ils l'ont été au 12 novembre sur Villognon et le 12 octobre sur Janaillat (bien que le suivi se soit arrêté au 5 novembre sur ce dernier site).

Il ne semble donc pas y avoir de relation bien définie entre les sites étudiés quant aux pics de passage et à la diversité spécifique recensée. Ainsi, le pic migratoire vers le 10-13 octobre a surtout été noté au-dessus d'Issé (44) et de Janaillat (23), pourtant distants de 300 km (sites les plus éloignés). À l'inverse, aucun passage marqué n'a été observé sur Issé fin octobre quand les effectifs (et la diversité) recensés sur Villognon et Janaillat étaient importants (distance de 130 km). Enfin, le pic migratoire du 5 novembre n'a pas été ressenti sur Janaillat alors qu'il représente le record journalier sur Issé et une des meilleures nuits inventoriées (effectifs) sur Villognon (distance de 230 km entre les deux sites).

En conclusion, il n'existe pas de corrélation entre les effectifs et la diversité spécifique recensés au cours des nuits d'inventaire. Tout du moins, les nuits qui présentent le plus grand nombre d'espèces en migration active ne sont pas nécessairement celles ayant permis de dénombrer les effectifs les plus importants. Les nuits présentant les maxima d'effectifs et/ou de diversité spécifique recensés sont probablement dus à une concomitance de facteurs biologiques (horloge interne des migrants) et de facteurs externes (conditions météorologiques) agissant sur la détectabilité des espèces (densité de l'air, couche nuageuse, température) et leur propension à migrer (vents favorables, couverture nuageuse, front froid, etc.). Elles peuvent faire suite à des nuits où les conditions météorologiques ont été défavorables pour la migration ou ont décalé les flux de migrants (pluie, brouillard, etc.).

Les facteurs susceptibles d'expliquer les écarts importants enregistrés en termes d'effectifs entre la première période (fin août à début octobre) et la seconde (début octobre à fin novembre), en dehors des conditions météorologiques, sont les caractéristiques physiologiques des espèces migratrices et leur comportement migratoire. D'une manière générale, les espèces de plus grande taille émettent des sons (cris) plus puissants qui portent davantage. De plus, leur fréquence d'émission est plus faible que pour les espèces plus petites, ce qui leur confère également une portée plus importante, les basses fréquences étant moins sensibles à la perte d'émission vis-à-vis de la distance (cf. 1.3). Au cours de la première période de migration (jusqu'à début octobre), de nombreux passereaux transsahariens migrent au-dessus de la France. Certaines de ces espèces de petite taille, qui migrent pourtant essentiellement de nuit, sont silencieuses en migration et ne seront donc pas captées par les enregistreurs acoustiques (*Acrocephalidae*, *Sylviidae*. etc.). D'autres émettent des cris mais leur portée est limitée ce qui complique leur détection. À l'inverse, les mois d'octobre et novembre voient arriver des effectifs très importants de grives (mauvis et musicienne) dont la plus grande taille leur confère probablement une distance d'émission plus importante. Le deuxième facteur susceptible d'expliquer cette grande variabilité d'effectifs recensés est le comportement migratoire des espèces impliquées dans ces mouvements. Les espèces recensées au début de la migration postnuptiale sont majoritairement des espèces qui migrent de manière isolée, bien qu'elles puissent communiquer en vol avec les individus rencontrés au cours des migrations pour partager diverses informations (Winger *et al.*, 2019 ; Gayk *et al.*, 2021). À l'inverse, à partir du mois d'octobre, des espèces plus grégaires migrent au-dessus de l'Europe occidentale (anatidés, grives), ce qui impacte le nombre de cris enregistrés et les effectifs estimés (bien que la corrélation entre les deux ne soit pas linéaire ni même établie de manière précise, d'autres facteurs externes influençant ce lien).

3.2.1.1 Zoom sur la Grive musicienne et la Grive mauvis

Le tableau suivant synthétise les effectifs maximaux journaliers recensés sur les trois sites d'étude pour la Grive musicienne et la Grive mauvis. Seules les nuits d'écoute ayant permis de recenser plus de 10 % des effectifs de ces deux espèces, à l'échelle de chaque site, ont été prises en compte.

On observe que les pics de migration observés chez ces deux espèces, qui totalisent respectivement 21 et 49 % des effectifs totaux contactés en migration nocturne, n'ont pas été détectés au cours des mêmes nuits d'écoute. En revanche, la variabilité journalière inter-sites reste faible. Autrement dit, on observe un passage marqué pour les deux espèces de grives sur des périodes contractées (3-4/10 et 9-13/10 pour la Grive musicienne ; 4-5/11 et 10-12/11 pour la Grive mauvis). Ces dates de pic migratoire correspondent sans surprise aux journées ayant recensé les effectifs records sur la saison de migration postnuptiale 2022 (cf. figures 12 à 14).

Espèce	Site d'étude	Effectif journalier (> 10% effectifs)	Date
Grive musicienne	Janaillat (23)	570	13/10
	Issé (44)	423	09/10
	Issé (44)	385	12/10
	Issé (44)	279	04/10
	Janaillat (23)	238	11/10
	Villognon (16)	217	03/10
	Villognon (16)	211	17/10
	Villognon (16)	207	02/11
	Villognon (16)	195	29/10
	Janaillat (23)	187	03/10
Grive mauvis	Issé (44)	483	05/11
	Villognon (16)	271	04/11
	Issé (44)	225	12/11
	Villognon (16)	160	10/11
	Villognon (16)	160	12/11

Tableau 14 : Comparatif de phénologie migratoire entre la Grive musicienne et la Grive mauvis sur les trois sites d'étude

3.2.2 Phénologie migratoire horaire

La répartition du nombre de contacts en fonction des heures de la nuit et de la période de l'année est représentée dans les graphiques suivants. Ces graphiques sont présentés sous la forme de carte de chaleur affichant la densité de contacts d'oiseaux migrateurs. Pour rappel, les aplats de couleurs représentent l'intensité de l'activité, répartie entre les heures de la nuit (heure astronomique et non civile) en ordonnées, et les jours de l'année en abscisses. La couleur blanche correspond à l'absence de contacts (ou points isolés).

3.2.2.1 Toutes espèces confondues

Les trois graphes suivants (figures 15 à 17) représentent l'activité horaire de l'ensemble des espèces migratrices (actives) contactées au cours de cette étude sur les trois sites (migration postnuptiale). En cohérence avec les figures 12 à 14, on note une réelle augmentation du nombre d'oiseaux dénombrés à partir de début octobre jusqu'à la fin du suivi, fin novembre (à l'exception du site de Janaillat terminé plus tôt).

Si l'on s'intéresse aux horaires d'activité maximale recensée, on observe deux pics bien définis, dont la définition reste plus ou moins nette selon les sites d'étude. Le premier est localisé vers le milieu de la nuit, tandis que le second correspond à la fin de nuit et à l'aube. Ce deuxième pic peut être expliqué par la redescente des migrants à des hauteurs de vol plus basses pour rechercher une zone de halte migratoire (Hüppop & Hingerloh, 2012 ; Van Doren *et al.*, 2015). Il est intéressant de noter que ces pics n'interviennent pas toujours aux mêmes dates mais montrent tout de même une synchronisation inter-sites, par exemple entre Issé et Villognon (voir figures 15 et 16). Quelques espèces et/ou individus sont captés dès le crépuscule et le début de la nuit, dans une proportion moindre que les deux pics identifiés précédemment. Ces observations sont similaires aux résultats généraux de la migration nocturne et des suivis acoustiques. Le pic de migration nocturne serait compris entre 2 et 3 heures après le coucher du soleil et jusqu'au milieu de la nuit –lié au départ massif des migrants une heure après le coucher du soleil d'une manière générale

(Weisshaupt *et al.*, 2016 ; Zucca, 2015), tandis que les suivis acoustiques détectent un passage migratoire maximal juste avant l'aube (Farnsworth *et al.*, 2004 ; Horton *et al.*, 2015a ; Piro *et al.*, 2022).

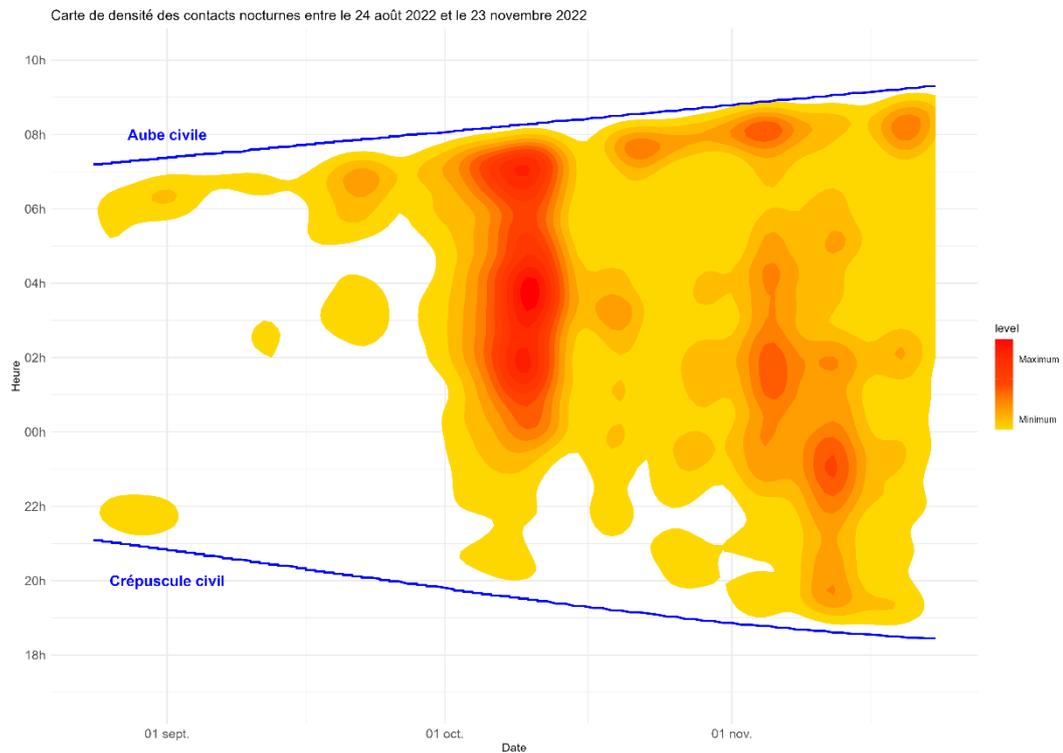


Figure 15 : Répartition horaire de l'activité de l'avifaune migratrice (toutes espèces confondues) en migration postnuptiale – Issé

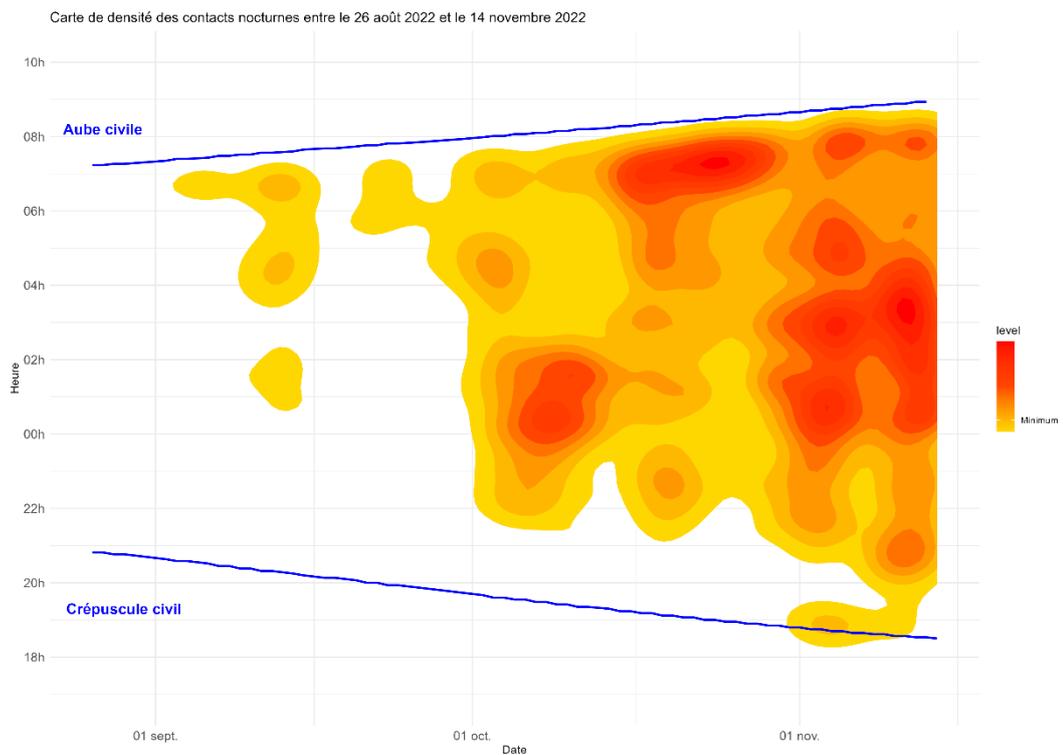
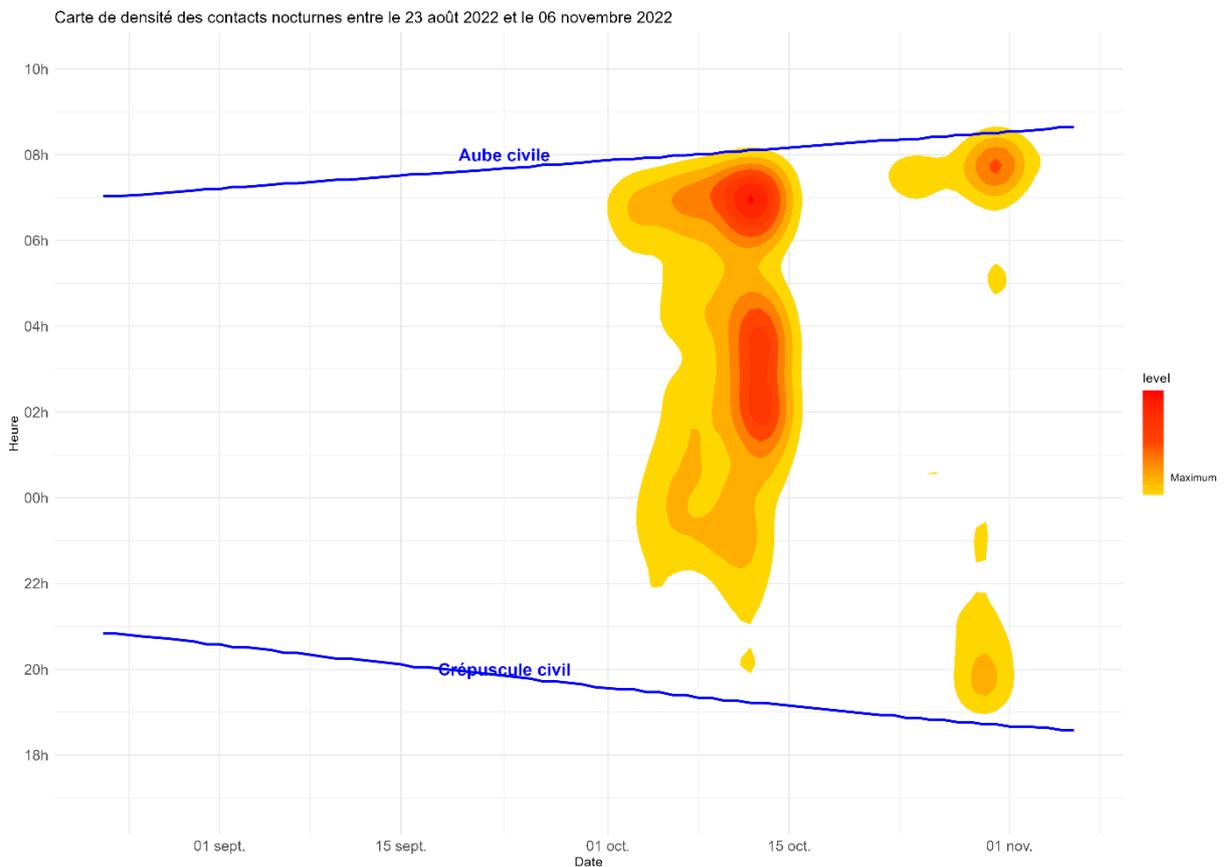


Figure 16 : Répartition horaire de l'activité de l'avifaune migratrice (toutes espèces confondues) en migration postnuptiale – Villognon



3.2.2.2 Cas des grives mauvis et musicienne

Les Grives mauvis et musicienne représentent à elles seules les trois quarts des individus recensés au cours du suivi acoustique nocturne. Ces données influencent donc nettement les résultats sur les graphes précédents et tendent à « écraser » les autres espèces. Les graphes suivants (figures 18 et 19) se focalisent donc sur ces deux espèces (sites d'Issé et de Villognon). On y observe un pattern d'activité quasi-identique à l'activité recensée pour l'ensemble des espèces inventoriées en migration active.

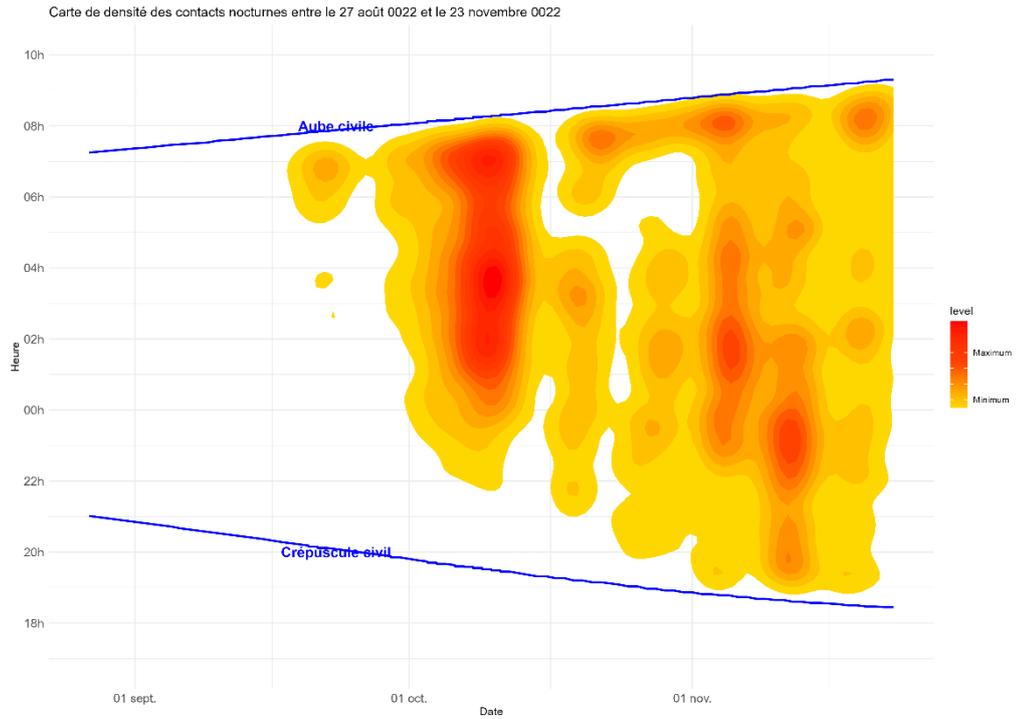


Figure 18 : Répartition horaire de l'activité de l'avifaune migratrice (Grives mauvis et musicienne) en migration postnuptiale – Issé

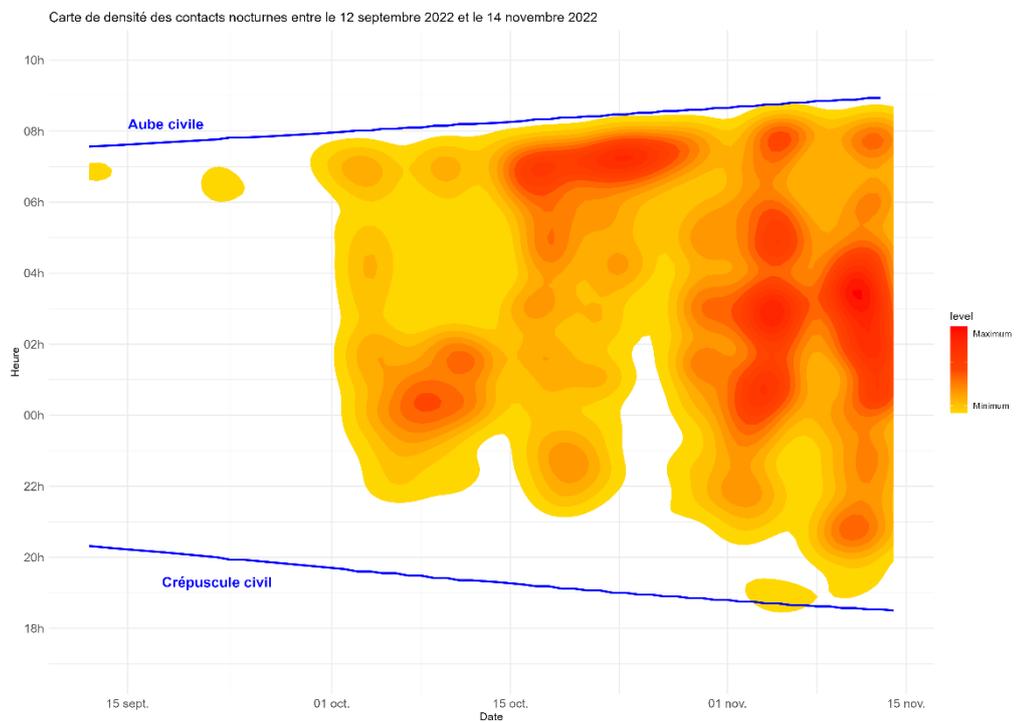


Figure 19 : Répartition horaire de l'activité de l'avifaune migratrice (Grives mauvis et musicienne) en migration postnuptiale – Villognon

3.2.2.3 Toutes espèces confondues hors Grives mauvis et musicienne

Si l'on veut obtenir une vision plus claire de la phénologie horaire de la majorité des espèces contactées en migration active, il est nécessaire de les étudier sans prendre en compte les données relatives aux grives mauvis et musicienne, en raison de leur prépondérance dans les contacts obtenus. La figure 20 intègre donc l'ensemble des espèces contactées, à l'exception des deux espèces de grives précitées (Issé). Contrairement à ce qui peut être observé avec les grives, il semblerait que la première partie de nuit soit la plus propice à détecter le maximum d'individus et d'espèces en migration nocturne. Il est possible que ces individus commencent leur vol ascensionnel à la tombée de la nuit pour rejoindre des hauteurs de vol plus élevées, où ils pourront utiliser les vents favorables et rencontrer des conditions météorologiques plus clémentes (cf. Introduction ; Sjöberg & Nilsson, 2015). La fin de nuit et l'aube semblent être des créneaux horaires aussi propices pour ces espèces. Enfin, la concentration d'individus sur le mois d'octobre en milieu de nuit semble être due au passage de grands groupes de Bernache cravant et de Héron cendré vers la mi-octobre. On remarque qu'à partir de la mi-octobre, les flux d'espèces autres que les grives diminuent fortement, avec néanmoins un regain vers la mi-novembre (Bernache cravant, Oie cendrée, Mouette rieuse, Pluvier doré, etc.).

Les différents contacts de Bernache cravant recensés sur Issé ont tous pris place au moins 2h45 après le coucher de soleil. Comme l'espèce est inféodée au littoral (Dupuy & Sallé, 2022) et qu'il n'existe donc pas de sites favorables à sa halte à moins de 115 km dans l'axe de migration de l'espèce (Baie du Mont-Saint-Michel, Baie des Veys), il est probable que les groupes de migrateurs, qui migrent essentiellement de nuit, ne puissent survoler le site d'Issé plus tôt dans la nuit. Les contacts de l'espèce s'étalant entre 2h45 et plus de 8h après le coucher de soleil, il est envisageable que les individus contactés ne proviennent pas tous des mêmes zones de halte migratoire (Baie du Mont-Saint-Michel, littoral des Hauts-de-France voire Mer des Wadden, etc.).

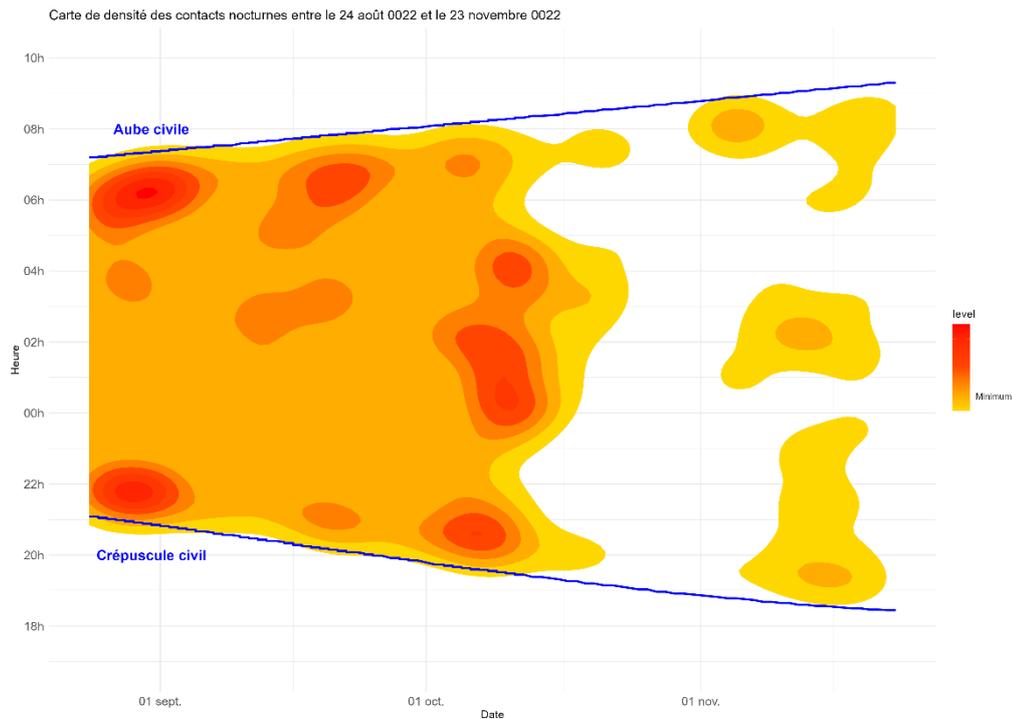


Figure 20 : Répartition horaire de l'activité de l'avifaune migratrice (hors Grives mauvis et musicienne) en migration postnuptiale – Issé

3.3 Estimation de l'inventaire

3.3.1 Chiffrage d'un inventaire acoustique

L'étude réalisée en 2021 avait pour objectif la mise en place d'une méthodologie reproductible (cf. Pirio *et al.*, 2022 pour la définition des différentes étapes). En 2022, cette méthodologie a été utilisée par deux ornithologues confirmés mais novices sur les analyses acoustiques nocturnes. Le retour d'expérience obtenu permet ainsi de mettre en avant les points positifs et les difficultés rencontrés lors de la présente étude.

Les retours d'expérience recueillis démontrent que l'estimation chiffrée du temps nécessaire aux différentes étapes liées à ce type de suivi est juste et ne souffre pas d'une sous-évaluation marquée, notamment sur la phase de préparation et de « terrain ».

La phase d'écoute et d'analyse des données est, comme expliquée dans la première étude, dépendante de la durée des écoutes (durée de la nuit liée à la date d'inventaire) mais surtout des flux (ainsi que des espèces) captés par les enregistreurs. Ainsi, alors qu'une nuit avec un très faible passage de migrants peut être analysée en moins de 30 minutes, ce temps peut aller jusqu'à 2h30 voire 3h dans les plus grosses nuits de rush migratoire. En moyenne, les observateurs estiment qu'il faut entre 1h et 1h30 d'analyse par nuit d'écoute.

Pour rappel, le temps estimé pour l'analyse des enregistrements avait été évalué entre 0,15 et 0,25 JT – Jours Travaillés - (soit entre 1h10 et 2h). En plus de ce temps d'analyse, il pourrait être intéressant pour les personnes novices d'avoir un temps supplémentaire de formation en amont de l'analyse pour se documenter et se familiariser avec :

- Les principales espèces contactées en migration nocturne et leur phénologie,
- L'identification de ces espèces et les caractéristiques déterminants des cris,
- Les bruits parasites (anthropiques, météorologiques, bruits ambiants locaux, etc.)

Une demi-journée scindée avec une formation par un collaborateur confirmé puis de l'auto-formation assistée par ce dernier sur des enregistrements bruts pourrait probablement aider les nouveaux collaborateurs à se familiariser avec ce type d'étude et d'analyse.

On observe notamment que l'expérience acquise au fur et à mesure de l'analyse de la saison migratoire permet également de gagner du temps. Avec de l'entraînement et une connaissance accrue du site d'étude, l'observateur peut identifier visuellement certaines espèces d'oiseaux ou déterminer les bruits parasites et ainsi ne pas perdre de temps à devoir écouter ces passages sonores.



4 LIMITES ET PERSPECTIVES

4.1 Limites de l'étude

4.1.1 Enregistreurs acoustiques

Les enregistreurs acoustiques présentent plusieurs avantages en comparaison des radars pour l'étude de la migration nocturne (coût modeste, déploiement aisé, identification des migrateurs contactés). Néanmoins, cette technologie peut être consommatrice d'espace de stockage informatique dans le cas d'un déploiement de nombreux appareils sur de longues périodes et l'analyse peut être fastidieuse, notamment pour les personnes novices. Le déploiement sur la durée peut engendrer une perte de données importante en cas de problème sur le matériel, d'où l'importance d'une vérification préalable au lancement de l'étude et régulière (Shonfield & Bayne, 2017).

La calibration des différents enregistreurs utilisés pour une même étude doit être mise en œuvre et vérifiée afin d'obtenir des résultats reproductibles et ne souffrant d'aucune différence propre au matériel (Ross *et al.*, 2023)

À l'instar de nombreuses technologies, les modèles d'enregistreurs acoustiques ne possèdent pas tous les mêmes capacités de stockage, de sensibilité des micros et de résistance aux conditions météorologiques. Le Song Meter Acoustic (SM4) semble être un modèle fiable en termes d'acoustique et de durabilité, ce que confirme l'utilisation de l'un d'eux sur deux saisons de migration postnuptiale successives. On peut également noter son utilisation aisée par les collaborateurs novices. L'utilisation de cartes SD d'une capacité de stockage de 64 Go telles qu'utilisées au cours de la présente étude permet de laisser l'enregistreur SM4 tourner pendant trois semaines maximum sans intervention humaine et sans perte de données. Dans l'hypothèse d'une absence de passage sur site d'une personne sur un délai supérieur à cette durée, il pourrait être intéressant de se fournir en cartes possédant une capacité de stockage supérieure, soit 128 Go.

4.1.2 Facteurs externes

Le suivi acoustique nocturne de la migration semble fournir un bon proxy de l'intensité migratoire et de la phénologie migratoire (Pamula *et al.*, 2019 ; Van Doren *et al.*, 2023a mais voir Smith *et al.*, 2014). Néanmoins, et contrairement aux études radar, certaines espèces restent silencieuses de nuit et ne pourront être suivies grâce à cette méthode (Farnsworth, 2005), tels que les rapaces (De Candido *et al.*, 2006 ; Lopez-Ricarte *et al.*, 2021), les hirondelles (Lavallée *et al.*, 2021) ou les passereaux (Adamík *et al.*, 2016). À l'inverse, certaines espèces définies comme migratrices diurnes peuvent montrer un comportement tout autre, avec une migration nocturne dans près de deux tiers de la migration (Briedis *et al.*, 2020). Il est probable que les hauteurs de vol de ces individus soient trop élevées pour permettre leur détection par les enregistreurs acoustiques. De même, il n'existe pas de quantification à l'heure actuelle sur la proportion d'individus qui émettent des cris parmi les espèces détectées par cette méthode. L'utilisation de caméra thermique couplée aux radars ou aux enregistreurs acoustiques apparaît comme une possible solution à cette problématique (Weisshaupt *et al.*, 2016 ; Horton *et al.*, 2015). Enfin, de nombreux facteurs influencent la quantité de cris émis par les migrateurs tels que la densité de migrateurs simultanés ainsi que la composition spécifique recensée (Winger *et al.*, 2019 ; Gayk *et al.*, 2021 ; Gayk & Mennill, 2023), la

distribution altitudinale des migrateurs (elle-même en partie liée aux conditions atmosphériques) (Sjöberg & Nilsson, 2015 ; Van der Winden *et al.*, 2021 ; Able, 2021 ; Norevik *et al.*, 2023), la période de la nuit (Weisshaupt *et al.*, 2016) mais également les conditions météorologiques (visibilité réduite et/ou détérioration drastique des conditions durant les vols migratoires) (Farnsworth, 2005 ; Hüppop & Hilgerloh, 2012 ; Horton *et al.*, 2015b ; Smith *et al.*, 2014). Par ailleurs, il est intéressant de noter que les migrateurs nocturnes volent souvent à des hauteurs de vol supérieures à celles enregistrées en journée au-dessus des terres, y compris au sein d'une même espèce (Zucca, 2015), ce qui peut jouer sur la pertinence d'un suivi acoustique diurne. Le nombre journalier de migrateurs nocturnes dépend de nombreux autres facteurs tels que l'horloge biologique ou la phénologie, la durée de la nuit (Müller *et al.*, 2018), le cycle lunaire (Norevik *et al.*, 2019), les facteurs environnementaux tels que les ressources alimentaires (Ferretti *et al.*, 2019), les conditions météorologiques (Van der Winden *et al.*, 2021) ou encore des phénomènes telles que les tempêtes magnétiques (Bianco *et al.*, 2019 ; Gulson-Castillo *et al.*, 2023). Enfin, la localisation géographique peut influencer le comportement migratoire de certaines espèces. Certaines espèces tendent à préférer la migration nocturne lorsqu'elles survolent de grandes étendues maritimes (Fijn *et al.*, 2022) et voler plus vite lors de ces vols (Lopez-Ricaurte *et al.*, 2021), quand la migration diurne serait préférentiellement utilisée lors des survols à l'intérieur des terres, probablement en lien avec les ressources trophiques plus facilement détectables en journée. Les barrières écologiques (étendues maritimes, déserts, chaînes de montagne, etc.) que rencontrent les migrateurs peuvent également influencer sur le comportement migratoire des espèces. Ainsi, les espèces migratrices principalement diurnes sont susceptibles de prolonger leur vol lorsqu'elles rencontrent ces éléments géographiques (Lavallée *et al.*, 2021 ; Lopez-Ricaurte *et al.*, 2021), bien que l'inverse existe également (Adamík *et al.*, 2016 ; Van der Winden *et al.*, 2021).

Les enregistreurs acoustiques utilisés de nuit peuvent également prendre en compte des individus qui ne sont pas en migration active. En période migratoire, les individus sont susceptibles de réaliser des vols sur de courte distance pour rechercher des zones de halte plus favorables (Mills *et al.*, 2011 ; Van Doren *et al.*, 2015) ou pour étudier les conditions météorologiques en altitude, notamment les vents porteurs favorables (Schmaljohann, 2010 & 2011). Enfin, des déplacements en fin de nuit et à l'aube peuvent être captés par les enregistreurs et correspondent à des individus corrigeant leur trajectoire de vol suite à leur détournement causé par des conditions météorologiques défavorables - vents latéraux notamment (Van Doren *et al.*, 2016). Ces biais existent également pour les autres méthodes de suivi, qu'ils soient diurnes (comptage visuel) ou nocturnes (radar) mais seront plus facilement corrigés en examinant les directions de vol empruntées par les migrateurs, ce que ne permettent pas les enregistreurs acoustiques utilisés à l'unité (Stepanian *et al.*, 2016 ; Gayk & Mennill, 2023). La couverture nuageuse peut influencer les directions de vol des migrateurs nocturnes en réduisant les aides à la navigation que ces derniers utilisent : compas solaire et lumière polarisée, compas stellaire - étoiles et constellations (Able, 1982).

La détection des cris par les enregistreurs est également dépendante de nombreux paramètres. La distance entre l'individu et l'enregistreur reste le facteur primordial dans cette détection, mais les conditions atmosphériques jouent également un rôle important : relation entre température et humidité (température et humidité élevées résultant en une meilleure propagation du son) ; direction et force du vent (Horton *op.*

cit. ; Horton *et al.*, 2015a), ou encore le rythme nycthéméral, grâce à une portance accrue des bruits (Perrault *et al.*, 2014). Ces conditions atmosphériques influent également sur la hauteur de vol des migrateurs (Sjöberg *et al.*, 2021) et entraînent une diminution de ces hauteurs sous certaines circonstances (vent contraire, couverture nuageuse basse, précipitations) ou encore les nuits sans lune (Able, 2021 ; Hüppop *et al.*, 2006 ; Smith *op. cit.*). Toutefois des conditions météorologiques telles qu'un ciel dégagé et un vent favorable peuvent favoriser un passage marqué de migrateurs (Lao *et al.*, 2023). On ajoutera également que la topographie locale peut également influencer sur les zones de concentration des flux et sur ces émissions de cris (Evans & Mellinger, 1999 ; Gesicki *et al.*, 2016). Enfin, la période migratoire est un facteur susceptible d'affecter la hauteur de vol des oiseaux migrateurs et donc leur détection par les enregistreurs acoustiques. Les migrateurs semblent migrer à des hauteurs supérieures au printemps (entre 1 et 3 km) qu'à l'automne (rarement au-dessus de 1 km) (Zucca, 2015).

4.2 Perspectives

Les résultats obtenus démontrent que l'utilisation des enregistreurs acoustiques en complément des inventaires classiques permet d'obtenir une analyse plus fine de la phénologie migratoire ainsi qu'une vision plus globale des migrateurs susceptibles de survoler une région. Cette deuxième année d'étude avait pour objectif de conforter les bases méthodologique et technique mises en place en 2021 sur l'utilisation de cette méthode (échelle géographique plus importante, nombre d'enregistreurs et de collaborateurs plus conséquents).

La diversification de ces études acoustiques a permis d'améliorer les connaissances globales des collaborateurs (nombre de personnes qualifiées et augmentation quantitative et qualitative de la base de données acoustique). La mise en place sur un périmètre plus large, tant en termes de localisation géographique (département, région) que d'environnements (plaine, bocage, zones de relief) a permis d'obtenir une vision plus globale de la phénologie migratoire et d'augmenter la diversité spécifique recensée par l'ensemble de ces études, ce qui permet également de solidifier les bases de données écologiques de l'entreprise (acoustique et globale – cf programme R&D 7).

Parmi les améliorations techniques envisageables, on peut citer l'utilisation de paraboles sur l'un des enregistreurs en comparaison des deux micros internes du SM4 afin d'étudier l'intérêt de cette modification du matériel sur la détectabilité des individus migrateurs nocturnes. Enfin, l'obtention de données météorologiques précises (humidité relative, vent au sol et en altitude, couverture nuageuse, précipitations) en complément des données acoustiques permettrait de cerner plus finement les facteurs influençant les flux migratoires et l'émission des cris sur les sites d'étude.

Les suivis de 2023 peuvent également prendre place dans d'autres régions afin d'agrandir le panel de contextes locaux et régionaux. La mise en place d'un suivi nocturne sur un parc éolien faisant l'objet d'un suivi comportemental peut également être envisagée, pour tenter d'identifier si les flux nocturnes au sein du parc éolien sont liés à la mortalité recensée. Ces différentes études peuvent prendre place dans les régions de Bretagne, Pays de la Loire, Nouvelle-Aquitaine voire Centre et Auvergne-Rhône-Alpes. Ce dernier

axe d'étude nécessiterait un suivi comportemental plus fourni que ce qui peut être réalisé actuellement, avec un nombre de sorties similaire à celui réalisé lors d'une étude d'impact classique dans le cadre d'un projet de parc éolien (six à huit sorties par saison de migration). À l'instar des suivis BatMode®, l'installation d'un enregistreur acoustique en nacelle d'éolienne pourrait permettre de s'approcher au plus près des pales d'éoliennes et de la zone à risque (Welcker *et al.*, 2016)

Une utilisation supplémentaire des enregistrements acoustiques en période migratoire serait l'étude diurne des migrateurs en halte sur un secteur. Ces individus sont principalement actifs en journée, période pendant laquelle ils se reposent ou reconstituent leurs réserves énergétiques. Cette méthode permettrait de mieux cerner la phénologie de ces espèces en halte migratoire grâce à des estimations d'abondance relative (Roark & Gaul, 2021 ; Frommolt, 2017). Les enregistrements acoustiques pourraient également être utilisés en journée, comme aide à la détermination pour les espèces non déterminées sur le terrain par l'observateur.

À l'heure actuelle, trois problématiques majeures restent à étudier quant à l'utilisation des enregistreurs acoustiques pour l'étude la migration nocturne.

En premier lieu, les cris émis par les migrateurs dépendent de nombreux facteurs, qu'ils soient comportementaux ou environnementaux (*cf.* 4.1.2). L'utilisation simultanée de caméra(s) thermique(s), bien qu'ayant une portée limitée, pourrait permettre d'obtenir des indices de fiabilité et des ordres de grandeur sur le nombre de migrateurs réels par rapport au nombre de cris détectés (*cf.* 3.1.1) (Horton *et al.*, 2015a ; Weisshaupt *et al.*, 2016).

Ensuite, les hauteurs de vol des migrateurs contactés par l'acoustique ne peuvent être connues avec l'utilisation d'un seul enregistreur. En revanche, le positionnement particulier de plusieurs micros en 3 dimensions semble montrer des résultats intéressants, bien que le coût de cette méthode soit plus élevé, notamment en raison de l'utilisation de plusieurs micros voire de mâts (Stepanian *et al.*, 2016 ; Gayk & Mennill, 2023).

Enfin, la principale problématique qui limite l'utilisation des suivis acoustiques à grand échelle est le temps nécessaire à l'analyse des enregistrements récoltés. La mise en place d'algorithmes ou d'une intelligence artificielle pour traiter rapidement des centaines ou milliers d'heures d'enregistrement apparaît comme la condition *sine qua none* à l'utilisation massive de cette méthode (Salamon *et al.*, 2016 ; Ross *et al.*, 2023). Pour ce faire, il est nécessaire de constituer une base de données conséquente de cris des migrateurs nocturnes connus pour émettre ces signaux en migration. Cette base de données doit comporter des signaux clairs comme des signaux faiblement audibles pour être la plus fiable possible et prendre en considération les bruits parasites (vent, précipitations, bruits anthropiques ou naturels, etc.). De tels programmes sont en cours d'élaboration mais aucune information ne semble avoir été émise quant à une possible mise sur le marché (*cf.* Partie 2 – État de l'art bibliographique). Récemment, la Ligue de Protection des Oiseaux, en partenariat avec le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, l'Office Français de la Biodiversité, le bureau d'études BioPhonia et le site internet de suivi de la migration Trektellen (*Trektellen.org*) a lancé un programme de sciences participatives axé sur les écoutes acoustiques nocturnes, nommé Vol de Nuit (<https://www.lpo.fr/la-lpo-en-actions/connaissance-des-especes-sauvages/suivis->

[ornithologiques/oiseaux-migrateurs/vol-de-nuit](#)). Son objectif est d'étudier la migration nocturne des oiseaux grâce à une méthode de suivi acoustique standardisée afin d'obtenir des informations plus précises sur les mouvements nocturnes des oiseaux, notamment la migration (phénologie, répartition géographique des flux) et les facteurs régissant ou affectant ces déplacements nocturnes (climat, évènements climatiques, perturbations anthropiques). Le deuxième objectif majeur de ce programme est le développement d'outils automatisés d'aide à l'identification des enregistrements acoustiques.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1 : Localisation des sites d'étude de la migration acoustique nocturne au cours de l'automne 2022	9
Figure 2 : Exemple de sonagramme sous le logiciel Audacity®.....	14
Figure 3 : Représentativité (en %) du nombre d'individus par site d'étude pour les espèces d'affinité continentale les plus contactées.....	26
Figure 4 : Représentativité (en %) du nombre d'individus par site d'étude pour les espèces fréquemment contactées	26
Figure 5 : Sonagramme de Butor étoilé.....	36
Figure 6 : Sonagramme de Bruant des roseaux.....	37
Figure 7 : Sonagramme de Bihoreau gris.....	37
Figure 8 : Sonagramme de Pluvier doré.....	37
Figure 9 : Sonagramme de Chevalier culblanc.....	38
Figure 10 : Sonagramme de Merle noir.....	38
Figure 11 : Sonagramme de Vanneau huppé.....	38
Figure 12 : Evolution des effectifs et de la diversité spécifique recensés au cours de la saison postnuptiale 2022 – Issé (44).....	40
Figure 13 : Evolution des effectifs et de la diversité spécifique recensés au cours de la saison postnuptiale 2022 – Villognon (16) (suivi réalisé avec une fréquence d'une nuit sur deux).....	40
Figure 14 : Evolution des effectifs et de la diversité spécifique recensés au cours de la saison postnuptiale 2022 – Janaillat (23) (suivi réalisé avec une fréquence d'une nuit sur deux).....	41
Figure 15 : Répartition horaire de l'activité de l'avifaune migratrice (toutes espèces confondues) en migration postnuptiale – Issé.....	45
Figure 16 : Répartition horaire de l'activité de l'avifaune migratrice (toutes espèces confondues) en migration postnuptiale – Villognon.....	45
Figure 17 : Répartition horaire de l'activité de l'avifaune migratrice (toutes espèces confondues) en migration postnuptiale – Janaillat.....	46
Figure 18 : Répartition horaire de l'activité de l'avifaune migratrice (Grives mauvis et musicienne) en migration postnuptiale – Issé.....	47
Figure 19 : Répartition horaire de l'activité de l'avifaune migratrice (Grives mauvis et musicienne) en migration postnuptiale – Villognon.....	47
Figure 20 : Répartition horaire de l'activité de l'avifaune migratrice (hors Grives mauvis et musicienne) en migration postnuptiale – Issé.....	49

Tableaux

<i>Tableau 1 : Auteur de l'étude</i>	8
<i>Tableau 2 : Contributeurs de l'étude</i>	8
<i>Tableau 3 : Récapitulatif des données brutes récoltées en 2022 par site d'étude</i>	8
<i>Tableau 4 : Aperçu de la base de données brute des inventaires acoustiques nocturnes</i>	10
<i>Tableau 5 : Dates des inventaires de l'avifaune en migration lors des trois études d'impact</i>	13
<i>Tableau 6 : Espèces contactées en migration active nocturne</i>	23
<i>Tableau 7 : Comparatif des effectifs d'espèces recensées par affinité géographique et par site d'étude</i>	25
<i>Tableau 8 : Diversité spécifique recensée par ordre et par site d'étude</i>	27
<i>Tableau 9 : Espèces « locales » contactées sur chaque site d'étude</i>	29
<i>Tableau 10 : Espèces contactées lors des deux saisons de migration (état initial) et à l'automne (écoutes nocturnes) sur Issé</i>	31
<i>Tableau 11 : Espèces contactées lors des deux saisons de migration (état initial) et à l'automne (écoutes nocturnes) sur Villognon</i>	32
<i>Tableau 12 : Espèces contactées lors des deux saisons de migration (état initial) et à l'automne (écoutes nocturnes) sur Janaillat</i>	33
<i>Tableau 13 : Espèces contactées lors de la migration active postnuptiale</i>	34
<i>Tableau 14 : Comparatif de phénologie migratoire entre la Grive musicienne et la Grive mauvis sur les trois sites d'étude</i>	44

BIBLIOGRAPHIE

Able K.P., 1982. Field studies of avian nocturnal migratory orientation I. interaction of sun, wind and stars as directional cues. *Animal Behaviour*, **30**(3): 761-767. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(82\)80148-6](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(82)80148-6)

Able K.P., 2021. *The effects of overcast skies on the orientation of free-flying nocturnal migrants*. Internation Symposium on Avian Navigation (ISAN), Tirrenia (OPisa), September 11-14, 1981. Papi F. & Wallraff H.G. Springer-Verlag, Germany.

Adamík P., Emmenegger T., Briedis M., Gustafsson L., Henshaw I., Krist M., Laaksonen T., Liechti F., Procházka P., Salewski V., Hahn S., 2016. Barrier crossing in small avian migrants: individual tracking reveals prolonged nocturnal flights into the day as a common migratory strategy. *Scientific Reports*, 6: 21560. DOI: 10.1038/srep21560

Alerstam T., 2009. Flight by night or day? Optimal daily timing of bird migration. *Journal of Theoretical Biology*, **258**(4): 530-536. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2009.01.020>

Alerstam, T., Chapman, J.W., Bäckman, J., Smith, A.D., Karlsson, H., Nilsson C., Reynolds D.R., Klaassen, R.H.G. & Hill, J.K., 2011. Convergent patterns of long-distance nocturnal migration in noctuid moths and passerine birds. *Proceedings of the Royal Society. B*, **278**: 3074–3080. <https://doi:10.1098/rspb.2011.0058>

Alessi M.G., Benson T.J. & Ward M.P., 2010. Nocturnal social cues attract migrating Yellow-breasted Chats. *The Wilson Ornithological Society*, **122**(4): 780-783. DOI: 10.1676/10-040.1

Audacity Team, 2019. Audacity(R): Free Audio Editor and Recorder. Version 2.3.3.

Barber-Meyer S.M., Palacios V., Marti-Domken B., Schmidt L.J., 2020. Testing a New Passive Acoustic Recording Unit to Monitor Wolves. *Wildlife Society Bulletin*, **44**(3): 590-598.

Berthold P., 1994. Migration of a typical migrant: a synopsis of current knowledge. *British Birds*, **87**(9): 411-415.

Bianco G., Ilieva M., Åkesson S., 2019. Magnetic storms disrupt nocturnal migratory activity in songbirds. *Biol. Lett.*, **15**: 20180918. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0918>

Bird Survey & Assessment Steering Group. (2023). Bird Survey Guidelines for assessing ecological impacts, v.1.1.0. <https://birdsurveyguidelines.org> [accessed on 2023-11-16].

Bota G., Traba J., Sardà-Palomera F., Giralt D. & Pérez-Granados C., 2020. Acoustic monitoring of diurnally migrating European Bee-eaters agrees with data derived from citizen science. *Ardea*, **108**: 139-149. doi:10.5253/arde.v108i2.a3

Bota Cauba G., 2021. *Acoustic monitoring: new applications for bird and human wildlife conflicts monitoring*. PhD Thesis, Barcelona.

Bulyuk V.N., Bolshakov C.V. & Evstigneeva M., 2017. Do flight-calls of Redwings differ during nocturnal and diurnal migration and daytime stopovers? *Ornis Fennica*, **94**: 172-179.

Briedis M., Beran V., Adamík P., Hahn S., 2020. Integrating light-level geolocation with activity tracking reveals unexpected nocturnal migration patterns of the Tawny Pipit. *J. Avian Biology*, **51**(9):02546. DOI: 10.1111/jav.02546

Brooker S.A., Stephens P.A., Whittingham M.J. & Willis S.G., 2020. Automated detection and classification of birdsong: An ensemble approach. *Ecological Indicators*, **117**: 106609.

DeCandido R., Bierregaard R.O., Martell M.S., Bildstein K.L., 2006. Evidence of nocturnal migration by Osprey (*Pandion haliaetus*) in North America and Western Europe. *Journal of Raptor Research*, **40**(2): 156-158.

Dupuy J. & Sallé L. (coord.), 2022. *Atlas des oiseaux migrants de France*. LPO, Rochefort; Biotope Éditions, Mèze; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 1 122 pages. (collection Inventaires & biodiversité)

Evans W.R. & Mellinger D.K., 1999. Monitoring grassland birds in nocturnal migration. *Studies in Avian Biology*, **19**: 219-229.

Farnsworth A., Gauthreaux S.A.Jr & van Blaricom D., 2004. A comparison of nocturnal call counts of migrating birds and reflectivity measures on Doppler radar. *Journal of Avian Biology*, **35**: 365-369.

Farnsworth A., 2005. Flight calls and their value for future ornithological studies and conservation research. *The Auk*, **122**(3): 733-746.

Ferreti A., Maggini I., Lupi S., Cardinale M., Fusani L., 2019. The amount of available food affects diurnal locomotor activity in migratory songbirds during stopover. *Scientific Reports*, **9**: 19027. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55404-3>

Fijn R.C., Govers L.L., Lutterop D., Middelveld R.P., van Bemmelen R.S.A., 2022. Evidence of nocturnal migration over sea and sex-specific migration distance of Dutch Black-headed Gulls. *Ardea*, **110**: 15-29. doi:10.5253/arde.v110i1.a8

Frommolt K.H., 2017. Information obtained from long-term acoustic recordings: applying bioacoustic techniques for monitoring wetland birds during breeding season. *J. Ornithology*, **158**: 659-668. <https://doi.org/10.1007/s.10336-016-1426-3>

Gayk Z.G. & Mennill D.J., 2019. Pinpointing the position of flying songbirds with a wireless microphone array: three-dimensional triangulation of warblers on the wing. *Bioacoustics*, **20**(4): 375-386. DOI: 10.1080/09524622.2019.1609376

Gayk Z.G., Simpson R.K. & Mennill D.J., 2021. The evolution of wood warbler flight calls: Species with similar migrations produce acoustically similar calls. *Evolution*, **75**(3): 719-730.

Gayk Z.G. & Mennill D.J., 2023. Acoustic similarity of flight calls corresponds with the composition and structure of mixed-species flocks of migrating birds: evidence from a three-dimensional microphone array. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, **378**(1878): 20220114.20220114. <http://doi.org/10.1098/rstb.2022.0114>

Gesicki D.V., Jamali M.M. & Bingman V.P., 2016. Coastal and offshore counts of migratory sparrows and warblers as revealed by recordings of nocturnal flight calls along the Ohio coast of Lake Erie. *The Wilson Journal of Ornithology*, **128**(3): 503-509. <https://dx.doi.org/10.1676/1559-4491-128.3.503>

Gillings S., Moran N., Robb M., van Bruggen J. & Troost G., 2018. *A protocol for standardised nocturnal flight call monitoring*. BTO, Trektellen.org, Sovon, The Sound Approach.

Gillings S. & Scott C., 2021. Nocturnal flight calling behaviour of thrushes in relation to artificial light at night. *Ibis*, **163**(4): 1379-1393. <https://doi.org/10.1111/ibi.12955>

Griffiths E.T., Keen S.C., Lanzone M., Farnsworth A., 2016. Can nocturnal flight calls of the migrating songbird, American Redstart, encode sexual dimorphism and individual identity? *PLoS ONE*, **11**(6): e0156578. doi:10.1371/journal.pone.0156578

Gulson-Castillo E.R., Van Doren B.M., Bui M.X., Horton K.G., Li J., Moldwin M.B., Shedden K., Welling D.T. Winger B.M., 2023. Space weather disrupts nocturnal bird migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **120**(42): e2306317120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2306317120>

Hahn S., Bauer S. & Liechti F., 2009. The natural link between Europe and Africa – 2.1 billion birds on migration. *Oikos*, **118**: 624-626. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.17309.x>

Heiss M., 2017. Nocturnal bird migration at Besh Barmag bottleneck in Azerbaijan as revealed by means of acoustic monitoring. *Bird Conservation International*: 1-13. doi:10.1017/S0959270917000454

Honeycutt W.T., Bridge E.S., 2022. *Use of the LunAero open-source hardware platform to enhance the accuracy and precision of traditional nocturnal migration bird counts*. *Integrative and Comparative Biology*, **62**(4): 1085–1095. Symposium “Open source solutions in experimental design” presented at the annual meeting of the Society for Integrative and Comparative Biology virtual annual meeting, January 3–February 28, 2022.

Horton K.G., Shriver W.G. & Buler J.J., 2015a. A comparison of traffic estimates of nocturnal flying animals using radar, thermal imaging, and acoustic recording. *Ecological Applications*, **25**(2): 390-401. <https://doi.org/10.1890/14-0279.1>

Horton K.G., Stepanian P.M., Wainwright C.E. & Tegeler A.K. 2015b. Influence of atmospheric properties on detection of wood-warbler nocturnal flight calls. *International Journal of Biometeorology*, **59**: 1385–1394. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0948-8>

Horton K.G., La Sorte F.A., Sheldon D., Lin T-Y., Winner K., Bernstein G., Majo S., Hochachka W.M., Farnsworth A., 2020. Phenology of nocturnal avian migration has shifted at the continental scale. *Nature Climate Change*, **10**: 63-68.

Hüppop O. & Hilgerloh G., 2012. Flight call rates of migrating thrushes: effects of wind conditions, humidity and time of day at an illuminated offshore platform. *Journal of Avian Biology*, **43**(1): 85-90. <https://doi.org/10.1111/j.1600-048X.2011.05443.x>

Kahl S., Wood C.M., Eibl M. & Klinck H., 2021. BirdNET: a deep learning solution for avian diversity monitoring. *Ecological Informatics*, **61**: e101236. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101236>

Kayser A., 1999. Stopover strategies in birds: a review of methods for estimating stopover length. *Bird Study*, **46**(sup1): 299-308.

Knight E.C., Hannah K.C. & DeMoor. J., 2022. In the still of the night: revisiting Eastern Whip-poor-will surveys with passive acoustic monitoring. *Avian Conservation and Ecology*, **17**(1): 21. <https://doi.org/10.5751/ACE-02080-170121>

Lao S., Anderson A.W., Blair R.B., Eckles J.W., Turner R.J. & Loss S.R., 2023. Bird–building collisions increase with weather conditions that favor nocturnal migration and with inclement and changing weather. *Ornithological Applications*, **125**(1):duac045. <https://doi.org/10.1093/ornithapp/duac045>

Lavallée C.D., Assadi S.B., Korpach A.M., Ray J.D., ischer J.D., Siegrist J., Fraser K.C., 2021. The use of nocturnal flights for barrier crossing in a diurnally migrating songbird. *Movement Ecology*, **9**:21. <https://doi.org/10.1186/s40462-021-00257-7>

Lee C-T., Aquila G. & Birch A., 2021. Acoustic survey of nocturnal bird migration at Rice University in Houston, TX during fall 2020. *Bulletin of Texas Ornithological Society*, **54**(1-2):37-57.

Lopez-Ricaurte L., Vansteelant W.M.G., Hernández-Pliego J., García-Silveira D., Bermejo-Bermejo A., Casado S., Cecere J.G., de la Puente J., Garcés-Toledano F., Martínez-Dalmau J., Ortega A., Rodríguez-Moreno B., Rubolini D., Sarà M., Bustamante J., 2021. Barrier crossings and winds shape daily travel schedules and speeds of a flight generalist. *Scientific Reports*, **11**:12044. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91378-x>

Lostanlen V., Salamon J., Farnsworth A., Kelling S., Bello J.P., 2018. Birdvox-full-night: A dataset and benchmark for avian flight call detection. Proceedings - ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing

Lostanlen V., Salamon J., Farnsworth A., Kelling S., Bello J.P., 2019. Robust sound event detection in bioacoustic sensor networks. *PloS ONE*, **14**(10): e0214168. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214168>

Metcalf O. *et al.* (2022) Good practice guidelines for long-term ecoacoustic monitoring in the UK. *UK Acoustics Network*.

Mills A.M., Thurber B.G., Mackenzie S.A., Taylor P.D., 2011. Passerines use nocturnal flights for landscape-scale movements during migration stopover. *The Condor*, **113**(3): 597-607. DOI: 10.1525/cond.2011.100186

Müller F., Rüppel G. & Schmaljohann H., 2018. Does the length of the night affect the timing of nocturnal departures in a migratory songbird? *Animal Behaviour*, **141**: 183-194. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2018.05.018>

Newton I., 2010. *Bird Migration*. Collins New Naturalist Library, Volume 113, London

Norevik G., Åkesson S., Andersson A., Bäckman J., Hedenström A., 2019. The lunar cycle drives migration of a nocturnal bird. *PLoS Biol*, **17**(10): e3000456. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000456>

Norevik G., Åkesson S., Hedenström A., 2023. Extremely low daylight sea-crossing flights of a nocturnal migrant. *PNAS Nexus*, **2**: 1-9. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad225>

Pacifici K., Simons T.R. & Pollock K.H., 2008. Effects of vegetation and background noise on the detection process in auditory avian point-count surveys. *The Auk*, **125**(3): 600-607.

Padgham M., 2004. Reverberation and frequency attenuation in forests: implications for acoustic communication in animals. *Journal Acoustic Society of America*. **115**, 402-410. <https://doi.org/10.1121/1.1629304>

Pamula H., Pocha A. & Klaczynski M., 2019. Towards the acoustic monitoring of birds migrating at night. *Biodiversity Information Science and Standards*,3. <https://doi.org/10.3897/biss.3.36589>

Pamula H., Pocha A., Klaczynski M., 2021. *Deep learning methods for acoustic monitoring of birds migrating at night*. Forum Acusticum, Dec 2020, Lyon, France. pp.2761-2764, 10.48465/fa.2020.0650.

Pérez-Granados C. & Schuchmann K-L., 2021. Passive acoustic monitoring of Chaco Chachalaca (*Ortalis canicollis*) over a year: vocal activity pattern and monitoring recommendations. *Tropical Conservation Science*, **14**: 1-11.

Perrault K., Lobert L.M., Ehnes M. & Foote J.R., 2014. Nocturnal singing in a temperate bird community. *Journal of Ornithology*, **155**: 1059–1062.

Pirio M., Papon P., Leroux S., Desternes A., 2022. Projet du programme de recherche n° 36: Optimisation des protocoles d'inventaires ornithologiques – Volet A: études acoustiques nocturnes des peuplements ornithologiques. ENCIS Environnement, Limoges, 68 p.

Priyadarshani N., Marsland S. & Castro I., 2018. Automated birdsong recognition in complex acoustic environments: a review. *Journal of Avian Biology*,**49**(5). <https://doi.org/10.1111/jav.01447>

Rhinehart T.A., Chronister L.M., Devlin T., Kitzes J., 2020. Acoustic localization of terrestrial wildlife: Current practices and future opportunities. *Ecology and Evolution*, **10**: 6794–6818. <https://doi.org/10.1002/ece3.6216>

Roalef J., 2015. *Acoustic analysis of nighttime flight calls of migrating passerines near Lake Erie*. Master of Science Thesis, Kent State University Honors College.

Roark E. & Gaul W., 2021. Monitoring migration timing in remote habitats: assessing the value of extended duration audio recording. *Avian Conservation and Ecology*, **16**(1): 21. <https://doi.org/10.5751/ACE-01885-160121>

Ross S.R.P-J., O'Connell D.P., Deichmann J.L., Desjonquères C., Gasc A., Phillips J.N., Sethi S.S., Wood C.M., Burivalova Z., 2023. Passive acoustic monitoring provides a fresh perspective on fundamental ecological questions. *Functional Ecology*, **37**(4): 959-975. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14275>

Salamon J., Bello J.P., Farnsworth A., Robbins M., Keen S., Klinck H. & Kelling S., 2016. Towards the automatic classification of avian flight calls for bioacoustic monitoring. *PLoS ONE*, **11**(11): e0166866. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166866>

Sallé L., Coiffard P. & Pontalier H., 2023. Suivi acoustique de la migration nocturne dans les Pyrénées centrales à l'automne 202. *Ornithos*, 30-3: 113-122.

Sanders C.E. & Mennill D.J., 2014. Acoustic monitoring of nocturnally migrating birds accurately assesses the timing and magnitude of migration through the Great Lakes. *The Condor*, **116**(3): 371-383. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-13-098.1>

Schmaljohann H., Becker P.J.J., Karaardic H., Liechti F., Naef-Daenzer B., Grande C., 2010. Nocturnal exploratory flights, departure time, and direction in a migratory songbird. *J. Ornithology*, **152**(2): 439-452. DOI 10.1007/s10336-010-0604-y

Schmaljohann H. & Naef-Daenzer B., 2011. Body condition and wind support initiate the shift of migratory direction and timing of nocturnal departure in a songbird. *J. Animal Ecology*, **80**: 1115-1122. <https://doi:10.1111/j.1365-2656.2011.01867.x>

Shonfield, J., and E. M. Bayne. 2017. Autonomous recording units in avian ecological research: current use and future applications. *Avian Conservation and Ecology*, **12**(1):14. <https://doi.org/10.5751/ACE-00974-120114>

Sidie-Slettedahl A.M., Jensen K.C., Johnson R.R., Arnold T.W., Austin J.E. & Stafford J.D., 2015. Evaluation of autonomous recording units for detecting 3 species of secretive marsh birds. *Wildlife Society Bulletin*, **39**(3): 626-634. <https://doi.org/10.1002/wsb.569>

Sjöberg S. & Nilsson C., 2015. Nocturnal migratory songbirds adjust their travelling direction aloft: evidence from a radiotelemetry and radar study. *Biol. Lett.* **11**(6):20150337. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0337>

Sjöberg S., Malmiga G., Nord A., Andersson A., Bäckman J., Tarka M., Willemoes M., Thorup K., Hansson B., Alerstam T., Hasselquist D., 2021. Extreme altitudes during diurnal flights in a nocturnal songbird migrant. *Science*, **372**(6542): 646-648. DOI: 10.1126/science.abe7291

Smith A.D., Paton P.W.C., McWilliams S.R., 2014. Using Nocturnal Flight Calls to Assess the Fall Migration of Warblers and Sparrows along a Coastal Ecological Barrier. *PLoS ONE*, **9**(3): e92218. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092218>

Sommeville M., Rodrigues A.S.L. & Manica A., 2015. Why do birds migrate? A macroecological perspective. *Global Ecology and Biogeography*, **24**: 664–674. <https://doi.org/10.1111/geb.12298>

Stepanian P.M., Horton K.G., Hille D., Wainwright C.E., Chilson P.B. & Kelly J.F., 2016. Extending bioacoustic monitoring of birds aloft through flight call localization with a three-dimensional microphone array. *Ecology and Evolution*, **6**(19): 7039–7046. <https://doi.org/10.1002/ece3.2447>

Stewart L.N., Tozer D.C., McManus J.M., Berrigan L.E. & Drake K.L., 2020. Integrating wetland bird point count data from humans and acoustic recorders. *Avian Conservation and Ecology*, **15**(2): 9. <https://doi.org/10.5751/ACE-01661-150209>

Stowell D., Wood M.D., Pamuła H., Stylianou Y. & Glotin H., 2018. Automatic acoustic detection of birds through deep learning: The first Bird Audio Detection challenge. *Methods in Ecology and Evolution*, **10**(3): 368-380.

Triplet P., 2022. *Dictionnaire encyclopédique de la diversité biologique et de la conservation de la nature*. Huitième édition. ISBN 978-2-9552171-6-0.

Van der Winden J., Hogeweg N., Baaij E., van Horssen P.W., Shamoun-Baranes J., Vos R., Piersma T., 2021. The influence of weather on the migration behaviour of Eurasian Bitterns *Botaurus stellaris*. *Bird Study*, **68**(3): 370-380. <https://doi.org/10.1080/00063657.2022.2095350>

Van Doren B.M., Sheldon D., Geevarghese J., Hochachka W.M., Farnsworth A., 2015. Autumn morning flights of migrant songbirds in the northeastern United States are linked to nocturnal migration and winds aloft. *The Auk*, **132**(1): 105-118. <https://doi.org/10.1642/AUK-13-260.1>

Van Doren B.M., Horton K.G., Stepanian P.M., Mizrahi D.S., Farnsworth A., 2016. Wind drift explains the reoriented morning flights of songbirds. *Behavioral Ecology*, **27**(4): 1122–1131. <https://doi:10.1093/beheco/aw021>

Van Doren B.M., Lostanlen V., Cramer A., Salamon J., Dokter A., Kelling S., Bello J.P., Farnsworth A., 2023a. Automated acoustic monitoring captures timing and intensity of bird migration. *Journal of Applied Ecology*, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14342>

Van Doren B.M., Farnsworth A., Stone K., Osterhaus D.M., Drucker J., Van Horn G., 2023b. *Nighthawk*: acoustic monitoring of nocturnal bird migration in the Americas. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2023.05.22.541336>

Welcker J., Liesenjohann M., Blew J., Nehls G. & Grünkorn T., 2016. Nocturnal migrants do not incur higher collision risk at wind turbines than diurnally active species. *Ibis*, **159**(2): 366-373. <https://doi.org/10.1111/ibi.12456>

Weisshaupt N., Maruri M. & Arizaga J., 2016. Nocturnal bird migration in the Bay of Biscay as observed by a thermal-imaging camera. *Bird Study*, **63**(4): 533-542. <https://doi.org/10.1080/00063657.2016.1239693>

Wiley R.H., 1991. Associations of song properties with habitats for territorial oscine birds of eastern North America. *The American Naturalist*, **138**(4), 973–993. <https://doi.org/10.1086/285263>

Winger B.M., Weeks B.C., Farnsworth A., Jones A.W., Hennen M. & Willard D.E., 2019. Nocturnal flight-calling behaviour predicts vulnerability to artificial light in migratory birds. *Proceedings of the Royal Society. B*, **286**(1900): 20190364. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2019.0364>

Zucca, M., 2015. *La migration des oiseaux – Comprendre les voyageurs du ciel*. Editions Sud Ouest, Bordeaux, 352 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Tutoriel de configuration et programmation des SM4 Bioacoustique

Configuration et programmation des SM4 Bioacoustique

Objectif : établir un réglage optimal du SM4 et adapté au protocole utilisé

Les bases de fonctionnement du SM4 :

Allumage du SM4 : Pousser l'interrupteur d'alimentation vers le bas sur INT dans le cas d'une alimentation interne par piles.

- Appuyer sur CHECK STATUS pour vérifier l'heure, le microphone, le micrologiciel (firmware), les cartes mémoire, la tension des piles et la température.

- S'assurer de mettre à jour annuellement les firmware « exemple fichier : SYS2-2-7.SM4 » :
=> demander aux chiros un ID et MDP pour l'accès au site de *Wildlife Acoustics*
=> Downloads -> SM4 -> Firmware for SM4 and SM4BAT-FS (version 2.2.7 au 15/06/20)
- Naviguer vers Main Menu > Settings pour régler l'heure et la date (également possible *via* SM4 Configurator). Pour les programmes qui commencent et se terminent à des heures fixées par rapport au lever et au coucher du soleil, vous devez également saisir la latitude et la longitude, et le fuseau horaire.

- Rappel Horaires :

- en heure d'été -> UTC +02

- en heure d'hiver -> UTC +01



Changement non automatique

➔ Latitude & Longitude à prendre sur Géoportail

Localisation des enregistrements

Comme le SM4 enregistre sur la plage de l'audible, il faut essayer de placer ce dernier afin de minimiser les bruits parasites. Bien entendu, cela dépend du protocole utilisé et des espèces ciblées

Voici une liste non exhaustive des emplacements à éviter :

- proximité de plans d'eau (lacs, étangs, mares, rivières, ruisseaux)
- proximité d'accès routier

- proximité d'exploitations agricoles / habitations (animaux + personnes)
- proximité d'installations électriques (clôtures ?)

N'hésitez pas à communiquer sur d'autres lieux à éviter (retour d'expériences)

Matériel pour installation / désinstallation du SM4

- un cadenas pour fermer le boîtier
- un antivol pour fixer le SM4
- des Colson pour aider à la fixation
- une pince coupante pour couper les Colson
- à continuer...
- Penser à prendre les coordonnées GPS et une photo de de la localisation du SM4

Lancement des enregistrements

De nombreuses possibilités de programmation existent grâce au SM4. Deux méthodes différentes existent pour les mettre en œuvre.

- Option 1 (la plus rapide) :

Le SM4 possède cinq programmations pré-enregistrées (Main Menu -> Quick Start)

- *Record Always* : Enregistrer en permanence
- *Record 30on & 30off* : Enregistrer 30 min et veille 30 min
- *Record 5on & 55off* : Enregistrer 5 min et veille 55 min
- *Rise -> Set* : Enregistrer du lever au coucher du soleil
- *Record Dawn & Dusk* : Enregistrer aube et crépuscule (2 heures centrées sur le lever & coucher du soleil)

Ces programmations peuvent être utiles lors de campagne de récolte de pistes sonores « sur le tas » (*Record Always*), ou pour obtenir les chorus matinaux et crépusculaires (*Record Dawn & Dusk*), qui pourraient être utilisées lors des états actuels.

-> Penser à modifier les paramètres « Settings » de base (cf. Settings de l'Etape 1 ci-dessous)

- Option 2 (la plus plastique) :

Pour créer de nouveaux programmes, il faut utiliser le logiciel *SM4 Configurator*

=> demander aux chiros un ID et MDP pour l'accès au site de *Wildlife Acoustics*

=> Downloads -> SM4 -> Family Configurator Software

Étape 1 : Réglages du SM4

- Il est conseillé d'utiliser la(es) programmation(s) modèle(s) présente(s) sur le technique (fichier .SM4S).
- Sinon, ouvrir SM4 Configurator et spécifier (tout le reste n'est pas à changer) :

Deployment scenario :

- « SM4 » (ne pas utiliser SM4BAT-FS)
- Vérifier la date, ou la modifier ici
- Noter la capacité de stockage des cartes mémoires dans « Slot A » et « Slot B »
- « Mic 0 » & « Mic 1 » : choisir « Internal »

Settings :

- Cocher « Prefix » et choisir le préfixe qui apparaîtra au début de chaque séquence. Noter nom du site & protocole (ex : Pornic_noc_mig)
- Cocher « Time zone » et choisir UTC+01 ou UTC+02, en fonction de la date (cf. Rappel horaires)
- Cocher « Position » et définir « Lat » (latitude) et « Lon » (longitude) d'après [Géoportail](#) en degrés sexagésimaux. Attention à modifier O (ouest) et E (est) en fonction de la localisation. => décocher après utilisation pour ne pas modifier par inadvertance

Liste déroulante avec : « Sunrise/Sunset – Civil – Nautical – Astronomical »

-> utiliser les horaires **civils** pour la **migration nocturne**

- A définir pour les chanteurs (utilisation programmes pré-enregistrés ?)

LED 5 minutes only / LED always -> permet uniquement de savoir si le SM4 enregistre sans l'ouvrir (LED 5 min only -> plus discret car pas de lumière après les 5 premières minutes)

- « Channel » : Stereo
- « Gain » : laisser 16 dB pour les 2 micros

- « **Preamp** » : laisser 26 dB pour les 2 micros
- « **High-pass filter** » : mettre sur 220 Hz ou 1000 Hz -> permettre d'atténuer les bruits à très faible fréquence (anthropique, vent)
 - o P-ê à mettre sur « Off » si écoute « Grand-Duc » ou espèce à voix grave
- « **Sample rate** » : 32 000 Hz
- « **Max Length** » (hh:mm) : 01:00
- « **Compression** » : None

The screenshot shows the SM4 Configurator software interface. The title bar indicates the file path: C:\Users\pcencis56\Desktop\SM4\SONGMETR_2.SM4S. The interface is divided into two main sections: Deployment Scenario and Settings.

Deployment Scenario:

- Simulation Start: 2020/06/11 15:31:52
- Slot A: 64GB, Slot B: Empty
- Mic 0: Internal, Mic 1: Internal
- Battery (Wh): 72 Wh
- NOTE: Remember to select the correct model of SM4 recorder e.g. SM4, SM4BAT-FS, or SM4BAT-ZC
- NOTE: Run time estimates assume power-efficient flash cards and high quality batteries at room temperature. Run times can vary significantly (by as much as 50%) otherwise.

Settings:

- Channel: stereo
- Gain: Left: 16.00 dB, Right: 16.00 dB
- Preamp: Left: 26dB, Right: 26dB
- High-pass filter: Left: 220Hz, Right: 220Hz
- Sample Rate: 32000 Hz
- Max Length (hh:mm): 01:00
- Compression: none
- Timezone: UTC+02
- Position: Lat: 46.66196 N, Lon: 1.42080 W
- Delay Start (yyyy/mm/dd): 2000/01/01
- Battery Cutoff: 0.0 V
- Sensitivity: Left: 0.0 dB, Right: 0.0 dB
- Schedule Mode: daily

Étape 2 : Programmation des enregistrements

Schedule :

Exemple pour les enregistrements en continu (cf. Enr_continu_jour.SM4S)

- « Load built-in schedule »
- Choisir « Record Always »

-> Bien penser à modifier les coordonnées géographiques si utilisation du fichier (Enr_continu_jour.SM4S)

Exemple pour la Migration nocturne (ENC / NFC) – (cf. Enr_mig_noc.SM4S)

- « Load built-in schedule »

- Choisir « Record Sunset -> Rise »
- « START » : « set » ; « - » ; « 00 » : « 00 » (correspond à 0h avant le coucher du soleil)
- « DUTY » : « always » (correspond à un enregistrement en continu)
- « END » : « rise » ; « + » ; « 00 » : « 00 » (correspond à 0h après le lever du soleil)
 - o NB : "Set" & "Rise" dépendent du moment défini dans la liste déroulante des *Settings* (*Sunrise/Sunset – Civil – Nautical – Astronomical*)

Screenshot of a 'Schedule' configuration window. The window has a title bar 'Schedule' and a dropdown menu '--- Load built-in schedule ---'. Below this are three rows of controls: 'START' with a dropdown 'set', a '+' button, a dropdown '00', a colon ':', and another dropdown '00'; 'DUTY' with a dropdown 'always'; and 'END' with a dropdown 'rise', a '+' button, a dropdown '00', a colon ':', and another dropdown '00'. At the bottom is an 'Add' button.

- L'extension du fichier enregistré est « .SM4S »
- -> Bien penser à modifier les coordonnées géographiques si utilisation du fichier (Enr_mig_noc.SM4S)

Annexe 2 : Tutoriel de configuration et fonctionnement d'Audacity®

Configuration et fonctionnement Audacity

Objectif : configurer Audacity pour une analyse des sons enregistrés

Rôle d'Audacity

Le SM4 acoustique enregistre tous les sons dans l'audible entre 0 et 16 KHz (= 1/2 *Sample rate*).

De nombreux bruits non utilisables pour l'ornithologie sont donc collectés (chats, chiens, pluie, amphibiens, orthoptères, mammifères, bruits anthropiques – véhicules, conversations - etc.).

L'analyse d'une nuit entière à l'oreille n'est pas envisageable car bien trop chronophage, d'où l'utilité d'un logiciel (Audacity) qui permet la création de sonogramme (combinaison image/son).

Chaque espèce présente des cris qui lui sont propres, bien que les différences sonores soient parfois très ténues pour l'Homme. La retranscription visuelle permet alors de mieux discerner ces variations, de les caractériser et les quantifier (fréquence utilisée, présence d'harmoniques ou non, longueur du/des cri(s), nombre de cri(s), modulation des cris, etc...).

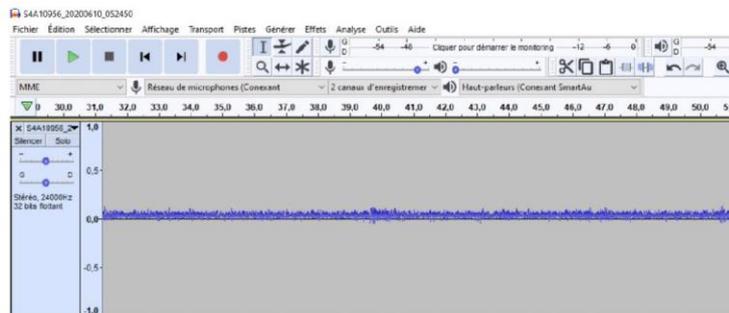


L'apprentissage des retranscriptions visuelles (tout comme les cris de migration nocturne) prend du temps et certains cris ne pourront pas être identifiés immédiatement (ces cris doivent néanmoins être conservés en vue d'une analyse plus tardive, avec plus d'expérience).

Mais à force d'utilisation, la trace visuelle de certains chants/cris sera connue et permettra de passer outre la lecture de ces sons, augmentant ainsi l'efficacité du processus.

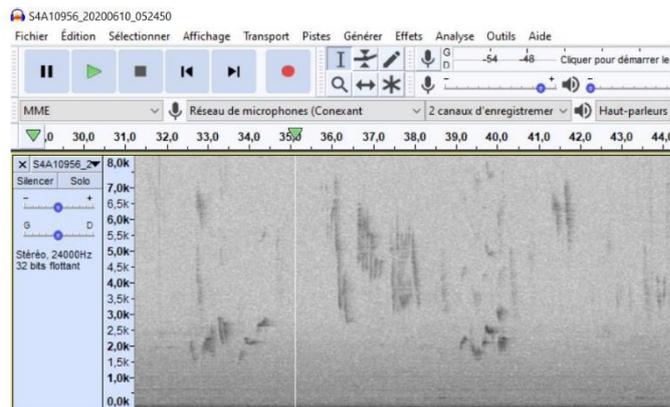
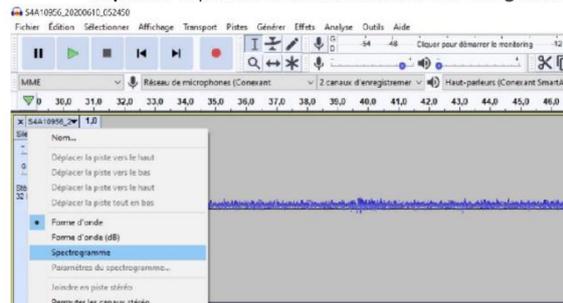
Configuration d'Audacity

De base, Audacity montre les enregistrements (format .wav) sous forme d'onde (*Waveform*)



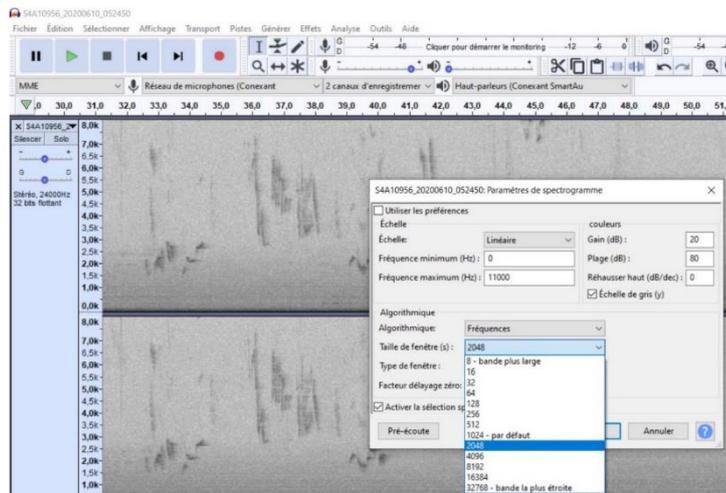
Pour l'analyse des sons, il faut passer en spectrogramme.

- cliquer sur la petite flèche à côté du nom de l'enregistrement et sélectionner Spectrogramme.



Plusieurs espèces d'oiseaux peuvent avoir des vocalisations à des fréquences plus importantes (harmoniques ou non) -> il faut ajuster la fréquence maximum à 10 000 ou 11 000 Hz.

- re-cliquer sur la petite flèche et sélectionner « Paramètres du spectrogramme » (*Spectrogram settings*)



La taille de fenêtre (*Window size*) peut également être modifiée car elle influe sur la pixellisation du sonogramme

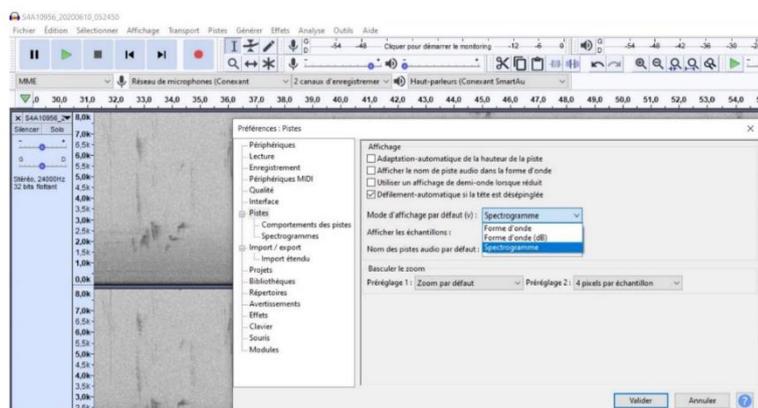
-> en vue normale, sélectionner 2048 ou 1024 (valeur par défaut)

-> si zoom sur une portion de l'enregistrement, la valeur peut être réduite à 256 ou 512

Pour faciliter l'analyse des sons, plusieurs des étapes précédentes peuvent être évitées, en les définissant comme valeurs standards : Edition -> Préférences

Préférence -> Pistes

-> Mode d'affichage par défaut : Spectrogramme

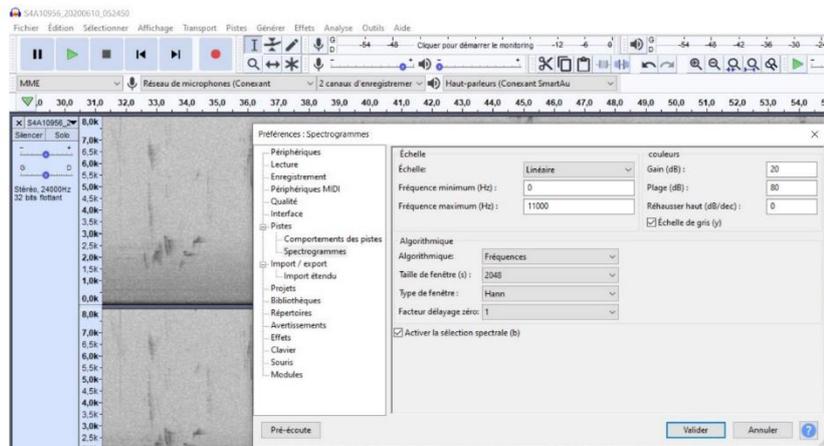


Préférences -> Pistes -> Spectrogrammes

Fréquence maximum (Hz) : 10 000 – 11 000

Taille de fenêtre : 2048 (ou 1024)

Echelle de gris (y) -> à cocher préférentiellement



Les bases de fonctionnement Audacity

Principales fonctions à utiliser / connaître



Fonction du réglage du SM4 « Sample rate »

De base : début et fin de la sélection
Plus utile : début et durée de la sélection
- connaître durée du/des cri(s)

Niveau de lecture :
Sert juste à voir si le son est saturé



Volume de lecture :
directement lié aux hauts-parleurs du PC

Zoom avant / arrière
sinon utiliser
(ctrl + molette souris)

Ajuster la sélection à la largeur
-> Penser à modifier la taille de la fenêtre

Vitesse de lecture

Conseils

- Enregistrer les sons pour toute nouvelle espèce pour laquelle aucun enregistrement n'a été réalisé -> obtenir une base de données la plus complète possible.

Pour les espèces déjà dans la BDD :

- enregistrer tout nouveau type de cri
- enregistrer les sons/cris plus nets ou plus distincts

- Pour enregistrer (format .wav) : sélectionner votre séquence intéressante avec la souris, puis faire ctrl+c (copier) ; Fichier-> nouveau ; ctrl+v (coller) Icônes : 

- il est utile de sélectionner la séquence au moins 1 sec avant le début des cris -> permet à l'oreille de « s'imprégner » du bruit de fond.

Notation des sons de la base de données

La constitution d'une base de données nous permettra d'améliorer nos connaissances individuelles mais également de gagner du temps lors des analyses.

Format de nomination des fichiers

- l'espèce – codage CRBPO (cf. « liste_especes_CRBPO.pdf »)
 - Type d'enregistrement (S ; C ; A ; NFC)
 - S = chant (*song*) ; C = cri (*call*) ; A = alarme (*alarm*) ; NFC = cri migration nocturne (*Nocturnal Flight Call*)
 - Département de prise du son
 - Site de prise du son
 - Qualité de l'enregistrement (A ; B ; C ; D ; E)
 - A = Fort et clair
 - B = Clair mais oiseau un peu distant ou interférence avec d'autres sources sonores
 - C = Modérément clair ou avec interférences
 - D = Enregistrement faible ou nombreuses interférences
 - E = À peine audible
 - Date (AA-MM-JJ)
- Exemple : TURPHI_S_44_PORNIC_A_200619 => chant de Grive musicienne de bonne qualité enregistré le 19 juin 2020 à Pornic (44)

Afin d'améliorer la qualité des enregistrements (augmentation du volume sonore des cris, atténuation des bruits parasites), plusieurs solutions (cumulables) :

Normalisation : Effets -> Normaliser : cocher les 2 premières cases et régler l'amplitude de crête sur - 3,0 dB

Réduction du bruit : Effets -> Réduction de bruit : Choisir une séquence avec le bruit parasite unique et cliquer sur « Prendre le profil du bruit » ; puis sélectionner l'intégralité de la séquence à filtrer (ctrl+A) et cliquer sur « Réduction du bruit' » -> « Valider » (possibilité de jouer sur le seuil de réduction du bruit (dB) si bruit trop fort (attention à la trop forte distorsion).

Analyse des sons

-> Un pas de temps « idéal » pour l'analyse de tous les enregistrements est d'environ 25-30 secondes (à utiliser avec une taille de fenêtre de 1024 ou 2048)

Pour l'analyse, faire défiler l'enregistrement avec la barre de défilement sous le sonagramme jusqu'à trouver un possible chant/cri d'oiseau OU utiliser les doubles flèches présentes en haut à droite du clavier

Ecoutes diurnes

Les chants enregistrés de jour présentent souvent une représentation visuelle plus longue que les cris (ex : migration nocturne), ce qui facilite l'identification. L'apprentissage de la « trace » du chant du Pinson des arbres ou du Merle noir (etc.) vous permettra de passer outre ces espèces sur les enregistrements et de gagner en efficacité pour la détermination de l'ensemble des espèces enregistrées.

Utilisations possibles de jour :

- suivi de la migration
- suivi des nicheurs (espèces communes, ou espèces localisées : pics, rapaces, etc.)

Enregistrements nocturnes

Utilisations possibles en nocturne :

- suivi de la migration nocturne
- suivi des rapaces nocturnes et autres espèces crépusculaires (rapaces communs, Grand-Duc, Chouette de Tengmalm, Engoulevent d'Europe, Bécasse des bois, CEdicnème criard, etc.)

⚠ Si suivi Grand-Duc d'Europe, bien penser à désactiver le « High Pass Filter » -> position « Off »

Le suivi acoustique de la migration nocturne est probablement plus compliqué que les enregistrements diurnes :

- le nombre de contacts nocturnes peut être élevé
- les espèces contactées en migration ne sont pas forcément celles attendues
- la discipline est encore à ces débuts (tout du moins en Europe), ce qui peut compliquer la recherche de données comparatives => préférable de laisser un cri non identifié qu'une ID incorrecte
- les cris de migration sont souvent courts et pas toujours bien connus (espèces rarement entendues en journée : ex : Ardéidés)

Lorsque vous avez trouvé un signal correspondant à un cri d'oiseau sur le sonogramme, écoutez-le.

- 1) Dans certains cas, le cri en migration nocturne est similaire à ceux entendus en journée et ne posera pas de problème (ex : grives, limicoles, etc.).
- 2) Dans les autres cas, il est utile de visualiser avec plus de précision la forme du signal, en zoomant dessus et en modifiant la taille de fenêtre (512 voire 256).

Les caractéristiques à vérifier pour l'analyse et la comparaison avec des bases de données sont :

- Durée du cri
- nombre de cris / éléments
- Plage de fréquence utilisée
- Fréquence du pic d'activité
- Présence d'harmoniques ; si oui, leur espacement
- tonalité (montante, descendante, constante ou les deux)
- intensité du cri (croissante, décroissante, constante)
- modulation du cri

Pour connaître la fréquence maximale d'énergie : sélectionner le cri puis « Analyse » -> « Tracer le spectre »

Webographie

- Pour toute recherche sur le sujet, utiliser les termes « ENC – Enregistrement Nocturne Continu » ou « NFC – Nocturnal Flight Calls », etc.

<http://soundbirding.org/> : le site de S. Wroza sur l'acoustique ornithologique. Nombreuses informations sur l'acoustique (matériel, utilisation, analyse).

<https://birdnet.cornell.edu/> : application créée par le *Cornell Lab of Ornithology* et une université allemande sur l'identification des chants (et cris ?) d'oiseaux. Principalement orienté sur l'Amérique du Nord mais de plus en plus sur l'Europe.

<https://soundapproach.co.uk/night-flight-calls/> : le site internet de pionniers des enregistrements sonores en Europe. Comporte de très nombreuses analyses et aides pour plusieurs espèces (NFC entre autres).

<https://birds-in-flight.net/> : site dédié à la reconnaissance audiovisuelle des oiseaux du Paléarctique occidental en migration.

<https://www.xeno-canto.org/> : LA référence pour tous les sons d'oiseaux dans le monde entier. Chaque son est catégorisé (chant, cri de vol, cri d'alarme, etc.) et son sonagramme peut être visualisé.

<https://nocmig.com/> : site dédié à la migration nocturne avec des tutos sur l'utilisation d'Audacity, sur l'identification et sur des comparatifs d'équipement

Trois articles de *BirdGuides* sur le suivi nocturne acoustique.

Le 1^{er} : explication des bases (matériel, spectrogramme)

<https://www.birdguides.com/articles/birding-while-you-sleep-how-to-get-started-with-noc-mig/>

Les 2 suivants : informations sur les espèces les plus communément rencontrées (au Royaume-Uni) => bonne base pour commencer

<https://www.birdguides.com/articles/migration/birding-while-you-sleep-getting-to-grips-with-noc-mig-id/>

<https://www.birdguides.com/articles/migration/birding-while-you-sleep-noc-mig-id-part-two/>

Annexe 3 : Espèces contactées en migration active sur le site d'Issé (44)

Ordre	Nom vernaculaire	Nom latin	Nombre de cris	Nombre d'individus
Anseriformes	Bernache cravant	<i>Branta bernicla</i>	1 157	95
	Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>	47	12
	Oie cendrée	<i>Anser anser</i>	190	10
Charadriiformes	Bécasseau variable	<i>Calidris alpina</i>	1	1
	Bécassine des marais	<i>Gallinago gallinago</i>	20	3
	Chevalier aboyeur	<i>Tringa nebularia</i>	1	1
	Chevalier culblanc	<i>Tringa ochropus</i>	15	3
	Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i>	11	9
	Courlis corlieu	<i>Numenius phaeopus</i>	15	3
	Échasse blanche	<i>Himantopus himantopus</i>	130	2
	Goéland argenté	<i>Larus argentatus</i>	20	9
	Goéland leucophée	<i>Larus michahellis</i>	2	1
	Grand Gravelot	<i>Charadrius hiaticula</i>	1	1
	Huîtrier pie	<i>Haematopus ostralegus</i>	1	1
	Mouette rieuse	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	138	6
	Petit Gravelot	<i>Charadrius dubius</i>	1	1
	Pluvier doré	<i>Pluvialis apricaria</i>	40	8
Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i>	46	10	
Gruiformes	Foulque macroule	<i>Fulica atra</i>	24	3
	Gallinule poule-d'eau	<i>Gallinula chloropus</i>	13	8
Passeriformes	Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>	7	2
	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	12	7
	Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	3	6
	Bergeronnette printanière	<i>Motacilla flava</i>	1	1
	Bruant des roseaux	<i>Emberiza schoeniclus</i>	10	5
	Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>	17	1
	Bruant ortolan	<i>Emberiza hortulana</i>	8	5
	Bruant zizi	<i>Emberiza cirrus</i>	46	3
	Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>	15	3
	Choucas des tours	<i>Coloeus monedula</i>	16	9
	Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>	15	14
	Grive litorne	<i>Turdus pilaris</i>	4	3
	Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>	2 568	1 866
	Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	4 476	2 915
	Linotte mélodieuse	<i>Linaria cannabina</i>	15	3
	Merle noir	<i>Turdus merula</i>	35	19
	Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	39	22
	Pipit des arbres	<i>Anthus trivialis</i>	22	15
Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	2	1	
Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	186	124	
Pelecaniformes	Bihoreau gris	<i>Nycticorax nycticorax</i>	93	13
	Butor étoilé	<i>Botaurus stellaris</i>	2	1
	Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	1 888	345
	Héron garde-bœufs	<i>Bubulcus ibis</i>	13	2
Podicipediformes	Grèbe castagneux	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	4	3
-	Espèce indéterminée	<i>Aves sp.</i>	4	3
TOTAL			11 374	5 578

Annexe 4 : Espèces contactées en migration active sur le site de Villognon (16)

Ordre	Nom vernaculaire	Nom latin	Nombre de cris	Nombre d'individus
Anseriformes	Canard chipeau	<i>Mareca strepera</i>	5	1
	Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>	48	3
	Oie cendrée	<i>Anser anser</i>	100	14
Charadriiformes	Avocette élégante	<i>Recurvirostra avosetta</i>	4	1
	Chevalier culblanc	<i>Tringa ochropus</i>	5	2
	Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i>	11	3
	Courlis corlieu	<i>Numenius phaeopus</i>	20	2
	Pluvier doré	<i>Pluvialis apricaria</i>	5	1
	Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i>	5	2
Gruiformes	Foulque macroule	<i>Fulica atra</i>	1	1
	Gallinule poule-d'eau	<i>Gallinula chloropus</i>	1	1
	Grue cendrée	<i>Grus grus</i>	2845	1 611
Passeriformes	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	74	27
	Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	12	3
	Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>	27	9
	Bruant ortolan	<i>Emberiza hortulana</i>	6	6
	Bruant zizi	<i>Emberiza cirius</i>	3	1
	Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>	1	1
	Gobemouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	3	3
	Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>	1	1
	Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>	719	385
	Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	1 721	800
	Merle noir	<i>Turdus merula</i>	13	2
	Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	209	91
	Pinson du Nord	<i>Fringilla montifringilla</i>	1	1
	Pipit des arbres	<i>Anthus trivialis</i>	9	5
	Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	16	2
	Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	4	3
	Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	195	103
	Pelecaniformes	Aigrette garzette	<i>Egretta garzetta</i>	2
Bihoreau gris		<i>Nycticorax nycticorax</i>	40	14
Héron cendré		<i>Ardea cinerea</i>	114	30
Héron pourpré		<i>Ardea purpurea</i>	27	3
-	Espèce indéterminée	<i>Aves sp.</i>	32	8
TOTAL			6 279	3 141

Annexe 5 : Espèces contactées en migration active sur le site de Janaillat (23)

Ordre	Nom vernaculaire	Nom latin	Nombre de cris	Nombre d'individus
Charadriiformes	Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i>	2	2
	Œdicnème criard	<i>Burhinus oedicanus</i>	9	1
Gruiformes	Grue cendrée	<i>Grus grus</i>	431	260
Passeriformes	Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>	3	3
	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	37	13
	Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>	7	1
	Bruant ortolan	<i>Emberiza hortulana</i>	34	16
	Gobemouche gris	<i>Muscicapa striata</i>	15	15
	Gobemouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	1	1
	Grive litorne	<i>Turdus pilaris</i>	3	1
	Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>	234	169
	Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	2 914	1 774
	Merle noir	<i>Turdus merula</i>	103	43
	Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	61	17
	Pipit des arbres	<i>Anthus trivialis</i>	32	12
	Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	32	3
	Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	342	150
	Rougequeue noir	<i>Phoenicurus ochruros</i>	4	1
Pelecaniformes	Bihoreau gris	<i>Nycticorax nycticorax</i>	98	17
	Blongios nain	<i>Ixobrychus minutus</i>	8	3
	Butor étoilé	<i>Botaurus stellaris</i>	13	3
	Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	142	20
TOTAL			4 525	2 525



encis
environnement

www.encis-environnement.com

