

CFA/VISHNO 2016

Un système de détection automatique pour le suivi d'un amphibien menacé, le Pélobate brun (*Pelobates fuscus*)

G. Dutilleux et C. Curé

Cerema - Dter Est, 11 rue Jean Mentelin, BP 9, 67035 Strasbourg Cedex 2, France
guillaume.dutilleux@cerema.fr



LE MANS

Les enregistrements audio automatisés constituent un outil efficace et peu invasif pour le suivi d'espèces, permettant des acquisitions sur de longues périodes, mais implique le traitement d'un grand volume de données. Pour s'affranchir de l'écoute des enregistrements par un opérateur humain, nous avons développé un système de détection automatique dédié au suivi du Pélobate brun (*Pelobates fuscus*), une espèce d'amphibien menacée en France. La routine (Scilab) de détection repose sur i) l'inspection de la bande de fréquences où l'amplitude des vocalisations du Pélobate est la plus grande et, ii) le seuil d'émergence du niveau sonore dans cette bande de fréquences par rapport à celui du bruit résiduel. Sur la base d'une vérité-terrain, le détecteur a été optimisé et possède les caractéristiques suivantes : i) une bande de fréquence recherchée dans l'octave centrée sur 800 Hz ii) un seuil d'émergence d'au moins 14 dB par rapport au bruit résiduel. Ce détecteur obtient 52 % de bonnes détections et 5.4 % de fausses alarmes, apportant ainsi une méthode fiable comparée à d'autres détecteurs automatiques d'amphibiens.

1 Introduction

Chez beaucoup d'espèces animales (*e.g.* oiseaux, mammifères, amphibiens, insectes, poissons), la communication acoustique est hautement privilégiée et participe à un grand nombre de fonctions vitales telles que l'accouplement, l'alimentation, l'indication d'un danger, la défense d'un territoire [1-5]. Les progrès récents de l'informatique, de l'électronique et du traitement du signal acoustique permettent aujourd'hui d'enregistrer, d'analyser et d'utiliser les signaux acoustiques produits par les animaux comme un outil pour déterminer la présence d'espèces, identifier des individus, ou encore suivre et étudier les populations [6-12]. Cette méthode basée sur des enregistrements sonores a plusieurs avantages comparée aux méthodes de suivi classiques utilisant des indices visuels. Tout d'abord, elle est peu invasive puisqu'elle ne nécessite pas de capture ni de marquage des animaux comme c'est souvent le cas avec les méthodes de suivi classiques. D'autre part, les indices visuels (*e.g.* fèces) et observations sont souvent difficiles à collecter chez les espèces de très petite taille, ou celles dont les habitats sont trop isolés et difficiles d'accès, ou encore chez les espèces menacées d'extinction qui impliquent alors d'éviter toute approche ou manipulation. Le suivi par la bioacoustique permet de s'affranchir de ces contraintes liées au travail sur le terrain en effectuant des enregistrements sonores à distance sans déranger les individus. Cette méthode apparaît donc très pertinente pour le suivi des espèces animales vocalement actives.

Les méthodes de suivi bioacoustique impliquent d'enregistrer les sons produits par les animaux. Ces enregistrements sont le plus souvent réalisés de façon automatique, permettant d'enregistrer des sons dans un environnement donné, sur une longue période de temps sans nécessité de la présence d'un opérateur humain [13-16]. Cette approche implique le traitement d'un grand volume de données. Bien qu'il soit possible d'y parvenir par l'écoute systématique des sons collectés, cela représente un travail opérateur-dépendant considérable. Pour s'affranchir de cela, des systèmes de reconnaissance automatique ont été développés et permettent d'identifier et d'isoler un signal acoustique d'intérêt parmi les autres sons enregistrés, sur la base de caractéristiques acoustiques qui lui sont propres [14-16].

En ce qui concerne les amphibiens, la prise de conscience du déclin des populations dans les années 1980 a soulevé la nécessité de mise en place de programmes internationaux de surveillance et de conservation [17]. C'est le cas du

Pélobate brun (*Pelobates fuscus*), dont l'Alsace abrite un des trois noyaux de population qui subsistent en France [18-20]. Le Pélobate brun est classé parmi les espèces « en danger » sur la liste rouge des espèces menacées en France et cette espèce fait l'objet d'un plan de restauration. Le Pélobate brun est une espèce hivernante qui passe la majeure partie de l'année sous terre et ne remonte à la surface du sol que pendant la période de reproduction (de mars à juin). Durant cette période, les individus ont une vie aquatique nocturne essentiellement, et communiquent par l'échange de vocalisations. Du fait de son comportement fousseur, nocturne et aquatique, le Pélobate brun est très difficile à observer sur le terrain et représente donc un candidat idéal pour le suivi acoustique, méthode qui a déjà fait ses preuves chez d'autres espèces d'anoures [11, 16, 21-22]. En effet, les vocalisations jouent un rôle important dans la biologie des anoures et l'analyse de leurs caractéristiques acoustiques s'est montrée importante pour les études taxonomiques. C'est principalement le chant d'appel émis pendant la période de reproduction qui est utilisé, en raison de sa spécificité propre à l'espèce [23]. Les travaux décrivant le répertoire acoustique du Pélobate brun ont révélé l'existence de quatre classes de vocalisations dont le chant d'appel [20, 24]. Ce chant d'appel est émis sous l'eau, d'abord par les mâles au début de la période de reproduction dans le but de courtiser les femelles réceptives, puis par les mâles et les femelles sous forme d'un duo consistant en une succession d'appels alternatifs entre les deux partenaires. Le choix du chant d'appel du Pélobate brun, émis pendant toute la période de reproduction, semblait donc être pertinent dans la mise en place d'une étude de suivi bioacoustique de l'espèce. Le but de ce travail a été de développer une méthode automatique de suivi bioacoustique du Pélobate brun par la mise en place d'un détecteur automatique de son chant d'appel. Plusieurs campagnes de suivi bioacoustique de l'espèce ont déjà eu lieu [25-27]. Dans le présent article, il s'agit d'évaluer la fiabilité du système de détection automatique du chant d'appel du Pélobate ainsi établi, et de l'optimiser en faisant varier plusieurs paramètres.

2 Matériel et Méthodes

2.1 Description du chant d'appel du Pélobate brun

Le chant d'appel du Pélobate brun est composé d'un motif de deux notes, relativement court et répétitif, émis dans la bande de fréquence de 0.3-7 kHz (Figure 1).

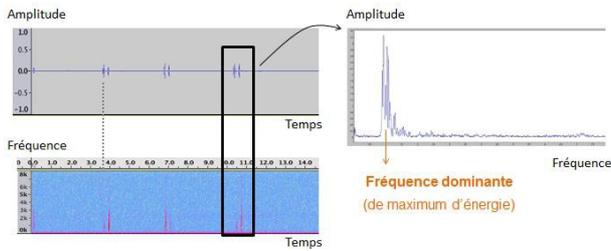


Figure 1: Chant d'appel de Pélobate brun (*Pelobates fuscus*) enregistré en Alsace au cours de la saison de reproduction 2013. L'oscillogramme (en haut à gauche) et le sonagramme (en bas à gauche) de trois motifs d'un chant d'appel, chacun comprenant deux notes. Le spectre de puissance d'un des motifs (à droite) permet de révéler la fréquence dominante.

2.2 Enregistrements audio

Les enregistrements acoustiques utilisés dans ce travail ont été effectués au cours de la saison de reproduction du Pélobate brun de l'année 2013 (mars – juin), sur trois sites distants de l'extrême nord-est de la région Alsace : Lauterbourg, Mothern et Delta de la Sauer. Les mares ont été sélectionnées sur les sites selon les critères suivants : présence établie de l'espèce (selon des observations visuelles), stabilité du niveau d'eau au cours du temps et pauvreté en composante anthropique. Un enregistreur SongMeter SM2 (Wildlife Acoustics Inc., Etats-Unis) a été placé à proximité des mares étudiées. Un hydrophone relié à l'enregistreur et immergé dans l'eau a permis l'enregistrement de l'environnement sonore subaquatique pendant 10 minutes toutes les heures, et ce, entre 6h et 18h et trois fois par heure entre 18h et 6h. Les vocalisations du Pélobate brun se trouvant dans la bande de fréquences de 0.3 à 7 kHz [18], la fréquence d'échantillonnage des signaux a été fixée à 16 kHz, ce qui a permis l'enregistrement de sons jusqu'à une fréquence maximale de 8 kHz. Les enregistrements audio étaient au format WAV avec une résolution de 16-bits.

2.3 Principe du système de détection automatique du chant de Pélobate

Le système de détection automatique du chant de Pélobate a été élaboré en langage Scilab. Il a été programmé pour reconnaître le chant d'appel du Pélobate brun sur la base de l'inspection de la bande de fréquence où l'amplitude des vocalisations de l'espèce est la plus grande (octave centrée sur la fréquence dominante F_{dom}). Chacun des enregistrements audio de 10 minutes est passé dans le système de détection des chants de Pélobate brun. Le détecteur n'a ainsi conservé que les échantillons contenant potentiellement le chant de Pélobate. L'analyse acoustique réalisée par le détecteur se fait sur des fenêtres temporelles de 5 secondes (soit 120 tronçons de 5s par enregistrement de 10min). Pour chaque tronçon de 5s, le niveau sonore de la bande de fréquence d'intérêt est comparé au niveau sonore moyen du bruit résiduel et la différence entre les deux (D_{Int}) est calculée (Figure 2). Le bruit résiduel est compris entre 200 Hz, valeur en dessous de laquelle il y a le bruit de fond subaquatique en l'absence de signal acoustique, et la valeur de la limite inférieure de la bande

d'octave d'intérêt centrée sur F_{dom} . Le système retient un tronçon d'enregistrement audio comme ayant potentiellement le chant d'appel de Pélobate lorsque le niveau sonore du signal d'intérêt émerge suffisamment du bruit de fond, cette émergence étant déterminée selon la valeur seuil D_{Int} .

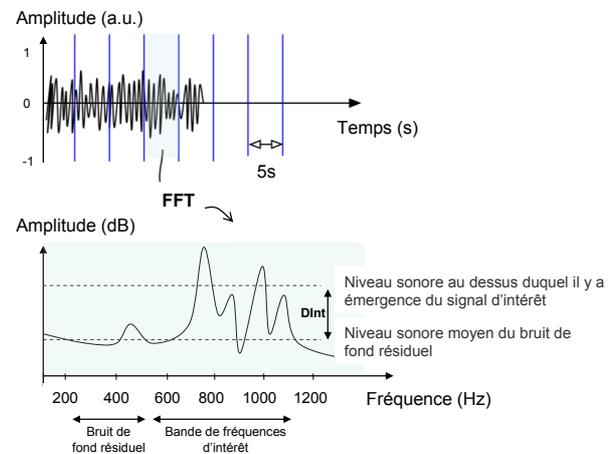


Figure 2: Principe du système de détection automatique du chant de Pélobate brun, configuré avec une analyse centrée sur la fréquence dominante de 800 Hz. L'oscillogramme (au dessus) et le spectre de puissance (au dessous) d'un signal acoustique (tronçon de 5 secondes) sont représentés. Les bandes de fréquences d'intérêt (bande d'octave de la fréquence centrale 800 Hz choisie ici comme exemple de fréquence dominante: 566 Hz -1131 Hz) et du bruit de fond résiduel (200 Hz-566 Hz) sont indiquées. Dans cet exemple, il y a émergence du signal acoustique par rapport au bruit de fond, donc le tronçon de 5s sera retenu par le système de détection comme ayant le chant d'appel du Pélobate brun.

Après le passage des fichiers audio dans le système de détection automatique, les tronçons de 5s retenus sont inspectés visuellement sur un sonagramme et écoutés par un opérateur qui confirme (vrais positifs) ou non (faux positifs) la présence de Pélobate.

2.4 Configuration du système de détection automatique

Afin d'optimiser la détection du signal acoustique, le système de détection automatique a été calibré autour de deux paramètres définis en 2.3: la fréquence dominante du chant d'appel de Pélobate brun F_{dom} et la différence de niveau sonore entre le bruit résiduel et celui de la bande de fréquences d'intérêt D_{Int} . Ces deux paramètres ont été modifiés l'un après l'autre afin de révéler la configuration optimale du détecteur.

Une analyse acoustique préliminaire de chants d'appel de Pélobate brun a permis de mettre en évidence un ordre de grandeur pour i/ la fréquence dominante F_{dom} du chant d'appel de l'espèce et ii/ la différence d'intensité D_{Int} entre le signal contenu dans la bande d'octave d'intérêt et le bruit résiduel.

Tout d'abord, l'analyse acoustique réalisée sur chacune des deux notes constituant le motif du chant d'appel de Pélobate brun ($n = 30$ motifs) a révélé une fréquence dominante F_{dom} moyenne de 847 ± 155 Hz pour la note 1

($n = 30$; min = 601 Hz ; max = 1125 Hz), et 893 ± 152 Hz pour la note 2 ($n = 30$; min = 640 Hz ; max = 1200 Hz). Il a donc été décidé de tester le système de détection automatique avec différentes valeurs du paramètre Fdom, allant de 600 Hz à 1200 Hz, avec un pas de 50 Hz.

D'autre part, l'analyse du spectre de puissance des chants d'appel issus de divers enregistrements a révélé une différence de niveau sonore DInt comprise entre 9.6 et 20.3 dB ($n=20$). Il a donc été décidé de tester le système de détection automatique avec différentes valeurs seuils du paramètre DInt, allant de 10 dB à 20 dB, avec un pas de 1 dB.

2.5 Test de fiabilité et optimisation du système de détection automatique du Pélobate brun

2.5.1 Extraction de la « vérité terrain »

Trente-cinq enregistrements audio d'une durée de 10 minutes chacun ont été sélectionnés parmi les enregistrements collectés en 2013, année qui a été particulièrement favorable aux conditions de reproduction de l'espèce [30]. Ces enregistrements ont été choisis au hasard parmi des fichiers audio contenant soit du Pélobate, soit des bruits environnants (autres espèces, pluie, etc...), soit les deux. Tous les signaux sonores contenus dans les enregistrements ont d'abord été annotés manuellement avec le logiciel Audacity. Puis, tous les enregistrements audio ainsi annotés, ont été organisés en tronçons de 5 secondes (soit un total de 120 tronçons par fichier audio de 10 minutes). Cette étape a permis d'identifier tous les sons contenus dans les enregistrements et de constituer ainsi ce que l'on appelle la « vérité terrain ».

2.5.2 Comparaison des résultats du système de détection automatique avec la « vérité terrain »

Les 35 fichiers audio ont été traités par le système de détection automatique. Puis, les tronçons de 5s retenus et non retenus après traitement par le système de détection automatique ont été comparés avec les tronçons « vérité terrain » et ont ainsi permis de calculer le nombre de « vrais positifs » (détection des tronçons contenant du Pélobate), de « vrais négatifs » (non-détection des tronçons sans Pélobate), de « faux positifs » (détection incorrecte de tronçons sans Pélobate) et de « faux négatifs » (non-détection de tronçons contenant pourtant du Pélobate).

Les taux de bonnes réponses (vrais positifs et vrais négatifs) et de mauvaises réponses (faux négatifs et faux positifs) ont été ainsi calculés, pour chacune des configurations du système. Ces résultats ont permis de décider des valeurs optimales des paramètres Fdom et DInt.

3 Résultats

3.1 Description de la « vérité terrain »

Tous les signaux acoustiques répertoriés dans la « vérité terrain » ont été classés en sept catégories (Tableau 1): 1/«Pélobate» (notre signal d'intérêt); 2/«Autres amphibiens» tels que la Rainette verte (*Hyla arborea*), la Grenouille agile (*Rana dalmatina*) ainsi que d'autres amphibiens non identifiés; 3/«Autres espèces» (oiseaux, invertébrés, autres espèces non identifiées); 4/«Pluie» (bruit de gouttes pendant ou après une averse); 5/«Bruits anthropiques » (bruits de moteur et sons de cloches) ; 6/«Défauts» (bruit parasite de type bruit blanc de quelques millisecondes, dû à un défaut du système d'enregistrement) et 7/«Autres signaux» (autres bruits générés par des frottement, des tapements, le vent etc.).

Au total, 4200 tronçons de 5s ont été traités par le système de détection automatique (120 tronçons de 5s \times 35 fichiers audio de 10min). Parmi eux, 1873 ne contenaient qu'un seul type de signal sonore (Tableau 1), 486 en étaient dépourvus (« sans signal », Tableau 1) et le reste contenait plusieurs signaux sonores qui se chevauchaient.

Tableau 1 : Répartition des tronçons issus de l'analyse «vérité-terrain» ne contenant qu'un seul type de signal sonore

Signaux acoustiques (7 catégories)	Nombre de tronçons contenant uniquement le type de signal acoustique considéré
Pélobate brun	387
Autres amphibiens	195
Autres espèces	117
Pluie	342
Bruits anthropiques	0
Défauts	4
Autres signaux	828
Sans signal	486

Les 4200 tronçons analysés se répartissaient de la façon suivante:

- 958 tronçons contenaient le chant d'appel du Pélobate brun : parmi eux, 40.4% contenaient du Pélobate seul et 59.6% contenaient du Pélobate ainsi que d'autres sons de l'environnement. Si un tronçon contenait à la fois du Pélobate et d'autres bruits et qu'il était retenu par le système de détection automatique comme vrai positif, il n'était alors pas possible de savoir si le chant de Pélobate était bien à l'origine de la bonne détection. La présence des tronçons ne contenant que du Pélobate a donc été importante car elle a permis de vérifier que le système de détection était bien capable de détecter spécifiquement le chant du Pélobate.

- les 3242 tronçons restants étaient composés soit d'aucun bruit, soit d'un ou de plusieurs bruits de l'environnement pouvant appartenir à l'une des 6 autres catégories de signaux sonores de l'environnement décrites plus haut : «Autres amphibiens», «Autres espèces», «Pluie», «Bruits anthropiques», «Défauts» et «Autres signaux». Parmi ces 3242 tronçons, 60.8% ne contenaient qu'un seul type de signal sonore, incluant chacune des catégories citées précédemment à l'exception de la catégorie «Bruits anthropiques» (Tableau I). Ces tronçons ne contenant qu'un seul type de signal sonore ont permis de révéler si le type signal sonore en question était responsable de la fausse alarme obtenue par le système de détection automatique (faux positif). En revanche, lorsqu'un tronçon contenant plusieurs signaux sonores de l'environnement était retenu par le système de détection automatique (faux positif), il

n'était pas possible de savoir quel bruit en particulier avait occasionné cette fausse alarme.

3.2 Optimisation du système de détection automatique

Nous avons fait varier à tour de rôle les paramètres Fdom et DInt tout en conservant l'autre paramètre fixe. Le système de détection automatique qui s'est montré le plus performant a été celui configuré avec une valeur Fdom de 800 Hz (bande d'octave correspondante : 566 – 1131 Hz) et une valeur DInt de 14 dB (Figure 3).

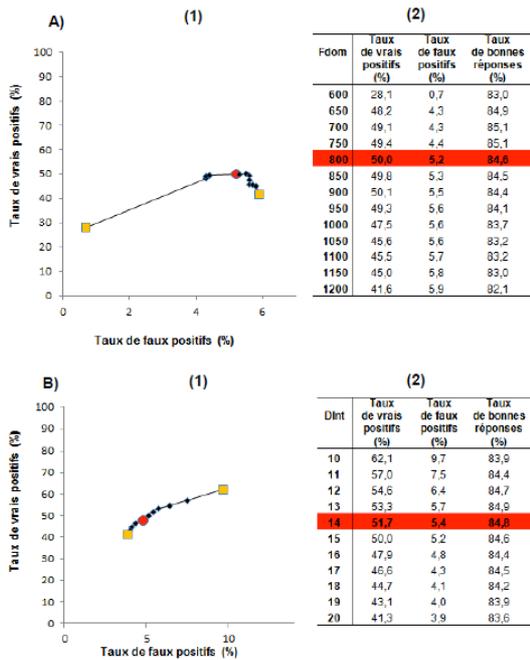


Figure 3 : Résultats des tests de fiabilité et d'optimisation du système de détection sur les 35 fichiers audio de 10 minutes contenant du Pélobate et/ou des signaux sonores environnants. A) Variation de Fdom ; B) variation de DInt. (1) Graphique illustrant le taux de vrais et faux positifs ; les points indiqués en jaunes correspondent aux résultats du système de détection obtenus avec les deux valeurs extrêmes de la variable considérée (Fdom ou DInt). Le point en rouge est la valeur du paramètre du système de détection automatique retenue comme étant la plus efficace. (2) Tableaux indiquant les pourcentages de vrais positifs parmi les bonnes réponses et de faux positifs parmi les mauvaises réponses selon les valeurs de la variable du détecteur considérée (Fdom ou DInt). La configuration optimale est surlignée en rouge.

3.3 Fiabilité du système de détection automatique optimal

Aucun des 486 tronçons étant dépourvu de tout signal sonore n'a été retenu par le système de détection (100% vrais négatifs). Les échantillons sonores possédant du chant de Pélobate et/ou d'autres types de signal sonore ont été répartis comme indiqué ci-dessous.

• Le Pélobate brun

Sur 958 tronçons « vérité terrain » contenant le chant d'appel du Pélobate brun, 51.7% ont été retenus comme vrais positifs (détection correcte des tronçons contenant du Pélobate) par le système de détection automatique dans sa configuration optimale. Par déduction, 48.3% sont des faux négatifs, c'est-à-dire qu'ils contenaient le chant d'appel du Pélobate mais n'ont pas été retenus.

Parmi 387 tronçons contenant uniquement le signal acoustique du Pélobate, 65.9% ont été correctement retenus comme vrais positifs, témoignant de la capacité du système à détecter le chant d'appel du Pélobate, et 34.1% comme faux négatifs.

• Les bruits environnants

Sur 3242 tronçons « vérité terrain » ne contenant pas le chant d'appel du Pélobate brun, 94.6% ont été retenus comme vrais négatifs (non-détection correcte des tronçons sans Pélobate). Les 5.4% restants ont été retenus comme faux positifs, c'est-à-dire qu'ils ont été détectés alors qu'ils ne contenaient aucun chant d'appel de Pélobate.

Parmi les 176 tronçons retenus comme faux positifs, une majorité ne contenait qu'une seule catégorie de signal sonore parmi lesquels figuraient essentiellement des tronçons appartenant aux catégories «Autres amphibiens» (88 tronçons) ou «Pluie» (8 tronçons). Ceci indique que les sons des catégories «Autres amphibiens» et «Pluie» sont responsables de façon certaine de ces fausses alarmes.

Tableau 2 : Répartition des vrais négatifs et faux positifs (nombre de tronçons) parmi les échantillons sonores ne contenant qu'une seule catégorie de signal acoustique, et ce, pour chacune des catégories.

	Autres amphibiens	Autres espèces	Pluie	Bruits anthropiques	Défauts	Autres bruits
Tronçons vérité terrain	195	117	342	0	4	828
Taux de vrais négatifs (%)	54.9	100	97.7	NA	100	99.9
Taux de faux positifs (%)	45.1	0	2.3	NA	0	0.1

En revanche, les tronçons contenant uniquement un bruit de la catégorie «Défauts», ou «Autres espèces» ont été retenus à 100% comme vrais négatifs, ce qui indique qu'ils ne sont pas responsables des fausses alarmes. La majorité des «Autres bruits» (vent, tapements, grattements) semble aussi poser peu de problème puisqu'un seul tronçon ayant uniquement cette catégorie de bruit a fait l'objet d'une fausse alarme. L'absence de tronçon contenant uniquement des bruits d'origine anthropique ne permet pas de se prononcer concernant cette catégorie.

4. Discussion

L'objectif principal de ce travail était de développer et de tester la fiabilité d'un système de détection automatique du chant d'appel de Pélobate brun, et d'optimiser les paramètres afin d'obtenir le maximum de bonnes détections (vrais positifs) tout en minimisant le nombre de fausses alarmes (faux positifs). Nos résultats indiquent que le système retient un signal comme étant potentiellement un chant d'appel de Pélobate brun si son niveau sonore maximal calculé dans la bande de fréquence d'intérêt, c'est à dire comprise entre 566 Hz et 1131 Hz (bande d'octave

centrée autour de la fréquence 800 Hz), dépasse le niveau sonore moyen du bruit de fond résiduel de +14 dB.

Cette configuration optimisée du système de détection a permis de détecter 51.7% des chants d'appel de Pélobate brun. Si l'objectif n'est pas d'estimer l'abondance de l'espèce mais d'évaluer d'un point de vue qualitatif sa présence dans un site donné (comme c'était le cas pour notre étude), un taux important de faux négatifs n'est pas une contrainte. La détection d'au moins un chant d'individu pendant la saison de reproduction a suffi à confirmer la présence de l'espèce sur un site donné.

Le taux élevé de faux négatifs (48.3%) peut s'expliquer par des chants de faible intensité sonore (par exemple si les individus étaient éloignés par rapport à l'hydrophone) qui ne sont pas détectés car le niveau sonore n'est pas suffisamment élevé pour émerger du bruit de fond. Il faudrait diminuer le seuil choisi (14dB) pour détecter les chants de faible intensité sonore mais au risque d'augmenter le taux de mauvaises détections (faux positifs) comme le montrent nos résultats. Ce système est donc limité à la détection du Pélobate dans un périmètre donné, vraisemblablement réduit à une distance d'une dizaine de mètres entre l'animal émetteur et l'hydrophone. En effet, une grande proportion de chants de Pélobate annotés dans les enregistrements du site Mothern, une mare de grande superficie (environ 60m de diamètre), a été retenue comme faux négatif car le niveau sonore des chants était trop faible pour émerger du bruit de fond.

La configuration optimale du système de détection a montré un faible taux d'erreur de détection puisque seulement 5.4% des enregistrements acoustiques ont fait l'objet de fausses alarmes (fichiers ne contenant pas de Pélobate mais tout de même retenus par le détecteur). Nous avons souhaité identifier les bruits environnants qui étaient les plus susceptibles d'engendrer des erreurs de détection. Nos résultats indiquent que les vocalisations des autres espèces d'amphibiens et les sons générés par les gouttes d'eau étaient les principaux responsables de ces faux positifs. Parmi les autres espèces d'amphibiens, deux espèces d'anoures ont été identifiées : la Rainette verte et la Grenouille agile. Les vocalisations de ces deux espèces ont des bandes de fréquences qui recouvrent partiellement celle utilisée par le système de détection automatique du chant d'appel de Pélobate brun (566 – 1131 Hz), ce qui explique qu'elles soient responsables de fausses alarmes. En effet, la fréquence dominante (de plus haute énergie) de la Grenouille agile est en moyenne de 604 ± 28 Hz et la deuxième fréquence de plus haute énergie chez la Rainette verte est de 1192 ± 28 Hz [20]: ces valeurs se situent donc respectivement à la limite inférieure et supérieure de la bande de fréquences centrale d'intérêt (fréquence dominante du chant de Pélobate). Il arrive donc que les chants de niveau sonore élevé émis par d'autres amphibiens recouvrent partiellement la bande de fréquences utilisée pour reconnaître le Pélobate, entraînant alors une fausse alarme. D'autre part, la catégorie de bruit «Pluie» regroupait deux types de sources : les gouttes d'eau qui tombaient occasionnellement dans la mare et celles générées par les averses de pluie. Une analyse acoustique réalisée au laboratoire sur des gouttes d'eau a révélé une fréquence dominante allant de 640 Hz à 1590 Hz selon les gouttes (moyenne de 1139 ± 176 Hz, $n=155$ gouttes d'eau). Ceci indique que certaines gouttes, dont le niveau sonore était suffisamment élevé par rapport à celui du bruit de fond, pouvait induire des fausses alarmes. Enfin, une

analyse supplémentaire réalisée sur des bruits anthropiques isolés à partir d'autres enregistrements effectués sur les mêmes sites, a montré que les bruits de moteur et de cloche étaient de trop faible intensité sonore pour être détectés. Nos mares d'étude avaient en effet été sélectionnées de façon à se trouver le plus loin possible de routes ou autres environnements sonores à caractère urbain susceptibles de générer une fausse détection.

Une perspective pour améliorer les performances du système de détection automatique serait de chercher à éviter les faux positifs occasionnés par les autres espèces d'amphibiens et les gouttes d'eau. Une solution serait d'établir un ou plusieurs filtres basés sur des caractéristiques propres à ces bruits, différentes du chant d'appel du Pélobate brun.

Plusieurs études ont proposé des méthodes de détection automatique de signaux sonores chez d'autres espèces animales (insectes, chauves-souris, oiseaux) [6, 13-15, 28]. Si on compare la fiabilité de notre système de détection automatique avec celle d'autres travaux, des résultats similaires ont été trouvés par exemple dans l'étude de Waddle *et al.*, en 2009 [16]. Leur objectif était de tester l'efficacité du logiciel « Song Scope », un système de reconnaissance automatique disponible dans le commerce, pour le suivi de trois espèces d'amphibiens. Pour ces trois espèces, les auteurs ont obtenu des taux de faux négatifs compris entre 45% et 50% et des taux de faux positifs compris entre 3% et 16%. Dans leur étude, les fausses alarmes avaient également été occasionnées par des chants d'autres amphibiens, et des gouttes de pluie mais aussi par certains chants d'oiseaux. Ainsi, le système de détection automatique élaboré dans la présente étude apparaît comme l'un des plus performants pour le suivi d'espèces d'amphibiens.

L'objectif principal de ce suivi bioacoustique du Pélobate brun était de mettre en place une méthode efficace, peu coûteuse et automatisée au maximum pour détecter la présence de l'espèce dans la région Alsace. Afin d'optimiser les chances d'enregistrer du Pélobate et d'élaborer un programme de surveillance efficace de l'espèce, mais également de réduire le temps d'écoute opérateur-dépendant qui suit le traitement par le système de détection automatique, il serait important de concentrer les enregistrements aux périodes de pic d'activité vocale de l'espèce. Une étude préliminaire sur la variation temporelle de l'activité vocale du Pélobate brun au cours de la saison de reproduction a indiqué que le pic d'activité vocale se situait pendant la deuxième quinzaine de mai [25-27]. De plus, l'étude de la variation circadienne de cette activité vocale a révélé un pic d'activité entre 21h et 7h. Néanmoins, plusieurs études indiquent que l'activité vocale des amphibiens pourrait dépendre de facteurs environnementaux comme la pluviométrie, la température de l'eau et de l'air, la pression atmosphérique ou encore la vitesse du vent [21-22, 27, 29-30]. Il serait donc aussi nécessaire d'évaluer si des corrélations existent entre ces facteurs météorologiques et l'activité vocale du Pélobate.

5 Conclusion

En conclusion, ce travail sur la fiabilité et l'optimisation du système de détection automatique pour le suivi bioacoustique du Pélobate brun en Alsace a permis d'élaborer un système efficace pour détecter la présence de l'espèce sur des sites donnés. Cependant, des études

complémentaires permettraient d'améliorer davantage les performances de ce système, notamment l'élaboration de filtres pour diminuer les fausses alarmes, ainsi que l'influence de facteurs environnementaux sur l'activité vocale afin de déterminer les conditions propices au suivi bioacoustique de l'espèce.

Remerciements

Nous remercions l'équipe de BUFO et particulièrement Victoria Michel, ainsi que Murielle Diss de la Réserve Naturelle Nationale du Delta de la Sauer pour leur collaboration et aide précieuse tout au long du suivi. Nous remercions également le Conservatoire des Sites Alsaciens pour nous avoir autorisés à équiper le site de la Réserve afin de réaliser cette étude. Un grand merci aux deux étudiants Alban Renard et Oriana Garcia qui ont effectué un stage au LRS et ont participé au dépouillement des données et aux analyses.

Références

- [1] I. Charrier, N. Mathevon, P. Jouventin. Mothers voice recognition by seal pups. *Nature* **412**, 873 (2001).
- [2] T. Aubin, P. Jouventin, C. Hildebrand. Penguins use the two-voice theory to recognise each other. *Proc. R. Soc. Lond. B.* **267**, 1081-1087 (2000).
- [3] J. Sueur, T. Aubin. Acoustic communication in the Palearctic red cicada *Tibicina haematodes*: chorus organisation, structure and recognition of the calling signal. *Can. J. Zool.* **80**, 126-136 (2002).
- [4] A. Vergne, M.B. Pritz N., Mathevon. Acoustic communication in crocodylians: from behaviour to brain. *Biological Reviews*, **84**, 391-411(2009).
- [5] S.L. Voigt-Heucke, M. Taborsky, D.K.N. Dechmann. A dual function of echolocation: bats use echolocation identify familiar and unfamiliar individuals. *Animal Behaviour* **80**, 59-67(2010).
- [6] D. Gillespie, M. Caillat, J. Gordon, P. White. Automatic detection and classification of odontocete whistles. *JASA* **134(3)**, 2427-2437 (2013).
- [7] T. Grava, N. Mathevon, E. Place & P. Balluet. Individual acoustic monitoring of the European Eagle Owl *Bubo bubo*. *Ibis* **150**, 279-287 (2008).
- [8] A.C. Hughes, C. Satasook, P.J. Bates, P. Soisook, T. Sritongchuay, G. Jones, S. Bumrungsri. Using echolocation calls to identify Thai bat species: Vespertilionidae, Emballonuridae, Nycteridae and Megadermatidae. *Acta Chiropterologica* **13(2)**, 447-455 (2011).
- [9] T. Andreassen, A. Surlykke, J. Hallam. Semi-automatic long-term acoustic surveying: A case study with bats. *Ecological Informatics*, **21**, 13-24 (2014).
- [10] J. Pellet, B.R. Schmidt. Monitoring distributions using call surveys: estimating site occupancy, detection probabilities and inferring absence. *Biological Conservation* **123**, 27-35 (2005).
- [11] M.E. Dorcas, S.J. Price, S.C. Walls, W.J. Barichivich. Auditory monitoring of anuran populations. pp 281-298. In: Dodd K. (ed.). *Conservation and Ecology of Amphibians*. Oxford University press, Oxford, UK. (2009).
- [12] K.H. Frommolt, K.H. Tauchert. Applying bioacoustics methods for long-term monitoring of a nocturnal wetland bird. *Ecological Informatics* **21**, 4-12 (2014).
- [13] T.S. Brandes. Automated sound recording and analysis techniques for bird surveys and conservation. *Bird Conservation International* **18**, 163-173 (2008).
- [14] D. Chesmore. Automated bioacoustics identification of species. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **76(2)**, 435-440 (2004).
- [15] I. Agranat. Automatically identifying animal species from their vocalizations. Wildlife Acoustics, Inc., Concord, Massachusetts, USA. (2009).
- [16] J.H. Waddle, T.F. Thigpen, B.M. Glorioso. Efficacy of Automatic Vocalization Recognition Software for Anuran Monitoring. *Herpetological Conservation and Biology* **4(3)**, 384-388 (2009).
- [17] J.P. Collins, A. Storfer A. Global amphibian declines: sorting the hypotheses. *Diversity and Distributions* **9**, 89-98 (2003).
- [18] C. Eggert. Le déclin du Pélobate brun (*Pelobates fuscus*, amphibien anoure) : de la biologie des populations à la structuration génétique. *Bulletin de la Société Zoologique de France* **127(3)**, 273-279 (2002).
- [19] J. Thiriet, J-P. Vacher. Atlas des Amphibiens et Reptiles d'Alsace. BUFO, Colmar/Strasbourg. 273p. (2013).
- [20] R. Duguet, F. Melki F. Les Amphibiens de France, Belgique et Luxembourg. ACEMAV, Collection Parthénope, éditions Biotope, Mèze (France). 480p. (2003).
- [21] A.S. Bridges, M.E. Dorcas M. E. Temporal Variation in Anuran Calling Behavior: Implications for Surveys and Monitoring Programs. *Copeira*, **2000(2)**, 587-592 (2000).
- [22] C.K. Steelman, M.E. Dorcas. Anuran calling survey optimization: developing and testing predictive models of anuran calling activity. *Journal of Herpetology* **44**, 64-68 (2010).
- [23] R.B. Cocroft, M.J. Ryan. Patterns of advertisement call evolution in toads and chorus frogs. *Animal Behaviour* **49(2)**, 283-303 (1995).
- [24] D. Seglie, A. Gauna, C. Giacoma. Description of the male advertisement call of *Pelobates fuscus insubricus* (Anura, Pelobatidae), with general notes on its acoustic repertoire. *Bulletin de la Société Herpétologique de France* **145-146**, 61-72 (2013).
- [25] C. Curé, M. Gosset, G. Dutilleux. Rapport de campagne 2013: suivi acoustique du Pélobate brun. Rapport Cerema (2013).
- [26] C. Curé, G. Dutilleux. Rapport de campagne 2014: suivi acoustique du Pélobate brun. Rapport Cerema (2014).
- [27] C. Curé, G. Dutilleux. Rapport de campagne 2015: suivi acoustique du Pélobate brun. Rapport Cerema (2015).
- [28] S. Parsons, G. Jones G. Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *Journal of Experimental Biology* **203(17)**, 2641-2656 (2000).
- [29] K.L. Oseen, R.J. Wassersug. Environmental factors influencing calling in sympatric anurans. *Oecologia* **133**, 616-625 (2002).
- [30] D. Saenz, L.A. Fitzgerald, K.A. Baum, R.N. Conner. Abiotic correlates of anuran calling phenology: the importance of rain, temperature and season. *Herpetological Monographs* **20**, 64-82(2006).