



**Muséum
national
d'Histoire
naturelle**



Dossier de demande de renouvellement de dérogation pour capture d'espèces protégées et chassables pour baguage à fins scientifiques

pour le Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (CRBPO)
du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris

transmis à la Direction de l'Eau et de la Biodiversité (MTES) pour les espèces protégées,
et à la DRIE Ile-de-France pour les espèces chassables.

Préparé par : Frédéric Jiguet (Directeur du CRBPO) et l'équipe du CRBPO
fjiguet@mnhn.fr, tél. : 0140793080

En vue de réaliser les suivis de populations nécessaires au Programme National de Recherches Ornithologiques (PNRO), le directeur du CRBPO demande le renouvellement de l'autorisation de capturer temporairement, sur le territoire national, les spécimens des espèces d'oiseaux protégés et chassables concernés par ce programme. La capture temporaire des spécimens peut donner lieu à des opérations de marquage autre que la pose d'une bague 'muséum' (bagues colorées, colliers, marques alaires et nasales, technologies embarquées), ainsi que des prélèvements de plumes, de fonds cloacaux et sternaux, de prises de sang.

Ce document présente une synthèse des opérations et travaux menés depuis le 1^{er} janvier 2013 et jusqu'à ce jour, période couverte par le précédent arrêté ministériel daté du 6 mars 2013 (pour les espèces protégées ; Annexe 1) et le précédent arrêté préfectoral daté du 27 février 2013 (pour les espèces chassables ; Annexe 2). Ce bilan est proposé pour servir à valider un renouvellement pour les cinq années à venir, à compter du 1^{er} janvier 2018. Quelques détails sont apportés pour les espèces chassables en partie VI, mais l'ensemble des informations fournies concernent aussi bien les espèces protégées que les espèces chassables.

Il convient à ce stade de citer également l'arrêté ministériel du 18 décembre 2014 fixant les conditions et limites dans lesquelles des dérogations à l'interdiction de capture de spécimens d'espèces animales protégées peuvent être accordées par les préfets (Annexe 3). Cet arrêté comporte une annexe concernant les procédés de marquage des oiseaux, qui précise que si des oiseaux d'une espèce protégée devaient être marqués avec des bagues métalliques numérotées, celles-ci seront attribuées par le CRBPO.

Le CRBPO est une plateforme technique dirigée par le Pr. Frédéric Jiguet (cf. Annexe 4, arrêté de nomination du directeur du CRBPO) dédiée aux suivis des oiseaux et notamment à leur baguage (créée en 1954), intégrée au sein de l'UMR7204 MNHN-CNRS-UPMC intitulée « Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation », hébergée au sein du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.

En parallèle à la précédente demande, le CRBPO avait effectué une saisine du Comité d'Ethique Cuvier (dossier envoyé au comité Cuvier le 30 octobre 2012) conformément à la réglementation sur l'expérimentation animale mise en place dès 2013 par le Ministère en charge de la Recherche. Cette saisine avait reçu un avis favorable, une copie de cet avis est présentée ici en Annexe 5.

SOMMAIRE

I.	Le baguage des oiseaux en France	3
II.	Le PNRO	4
III.	La gestion des données	8
IV.	La formation des bagueurs	11
V.	Les outils d'animation et de communication	12
VI.	Les espèces chassables	13
VII.	Focus sur l'Outre-Mer	14
VIII.	Espaces protégés et espèces en danger	14
IX.	Demandes d'extensions de la dérogation CRBPO	15

LES ANNEXES :

Annexe 1. Arrêté ministériel du 6 mars 2013

Annexe 2. Arrêté préfectoral du 27 février 2013

Annexe 3. Arrêté ministériel du 18 décembre 2014.

Annexe 4. Arrêté de nomination du directeur du CRBPO.

Annexe 5. Avis favorable du Comité d'Ethique Cuvier

Annexe 6. Règlement intérieur du CRBPO (version 2016)

Annexe 7. Un article paru en 2016 utilisant les données de baguage de rousserolles effarvates à l'échelle européenne

Annexe 8. Un article paru en 2017 utilisant des plumes prélevées sur des Phragmites aquatiques capturés en migration en partie en France

I. Le baguage des oiseaux en France

Depuis 1911, le baguage est utilisé en France pour suivre les populations d'oiseaux. Le Muséum de Paris a pris la responsabilité d'organiser et de coordonner le réseau des bagueurs français dans les années 1930. Actuellement, ces activités sont autorisées par l'arrêté ministériel daté du 22 septembre 2008, par lequel le Ministère en charge de l'écologie délègue au CRBPO les capacités à délivrer des autorisations de capture d'espèces protégées à des fins de baguage scientifique.

1) Les données de baguage

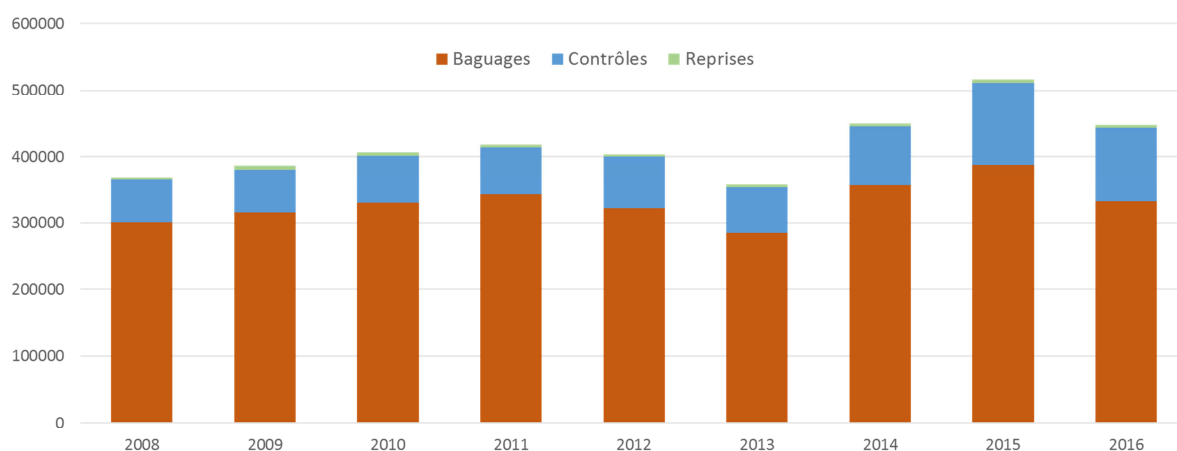
Au 20 septembre 2017, la base de données informatisée du CRBPO comptait 7.490.000 données, qui se répartissent en trois types principaux de données :

- baguages (pose d'une bague sur un individu), 6.220.000 données ;
- contrôles (recapture, physique ou visuelle, d'un individu vivant déjà bagué), 1.150.000 données ;
- reprises (individu bagué tué ou trouvé mort), 150.000 données.

Les bagueurs devant envoyer les données 2017 au plus tard en janvier 2018, elles ne peuvent donc faire l'objet d'un bilan exhaustif à ce jour.

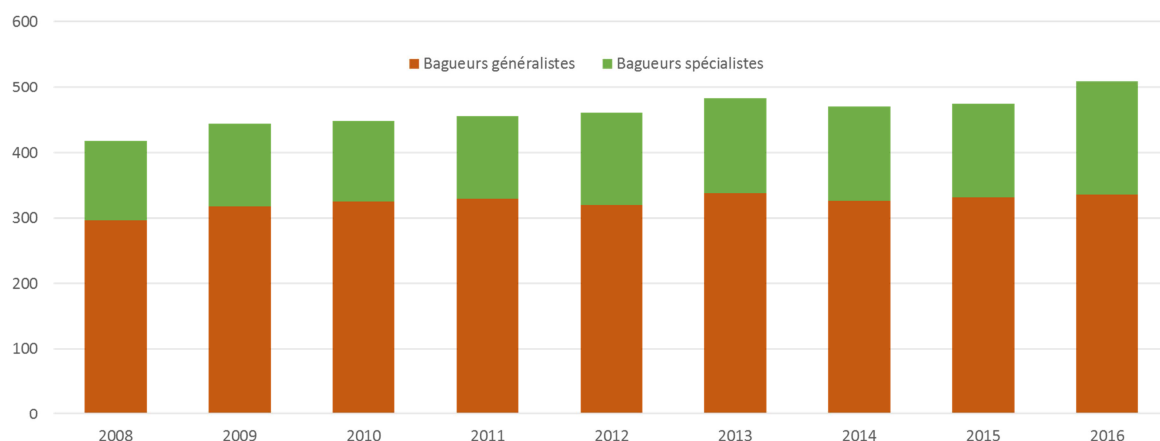
Pour les quatre années depuis 2013 pour lesquelles l'ensemble des données a été intégré dans la base, le taux de reprise/contrôle s'élève en moyenne à 20% (jusqu'à 25%) des données de baguage, ce qui constitue un taux important qui permet d'envisager des valorisations en termes d'estimation de dispersion, de taux de survie...

Globalement, le volume de données intégrant la base est de l'ordre de 450.000, dont 4 à 5.000 données de reprise.



2) Le réseau des bagueurs

Ce réseau se décompose en deux groupes principaux, tous ne pouvant réaliser leur activité que dans le cadre du PNRO (voir ci-dessous) : les bagueurs dits « généralistes », qui ont une autorisation de capture pour toutes les espèces, et les bagueurs dits « spécialistes », pour lesquels l'autorisation ne porte que sur une ou quelques espèces, dans le cadre d'un programme personnel. Le graphe ci-contre montre l'évolution du nombre de bagueurs de chacun de ces groupes de 2013 à 2017. L'ensemble compte 649 bagueurs fin septembre 2017.



Dans chaque région, le CRBPO incite les bagueurs à se réunir et élire l'un des leurs comme leur représentant, qui devient « délégué régional ». Ce délégué a pour mission d'animer le réseau dans sa région, c'est un point focal pour le CRBPO et pour les bagueurs ou futurs bagueurs à propos de l'activité de baguage dans une région.

Enfin, il faut signaler l'existence d'un réseau de bagueurs d'espèces gibier coordonné par l'ONCFS qui organise des formations spécifiques dans lesquelles le CRBPO intervient souvent. Ces réseaux concernent des bagueurs à profil spécialisé, par exemple sur les colombidés, les bécasses ou les bécassines. Ces bagueurs posent des bagues du Muséum Paris dans le cadre de Programmes Personnels pilotés par l'ONCFS.

3) Le règlement intérieur (voir Annexe 6 ; <http://crbpo.mnhn.fr/spip.php?article194>)

Depuis 2001, le CRBPO s'est doté d'un règlement intérieur qui fixe les droits et devoirs de chaque bagueur du réseau. Il précise notamment les conditions éthiques de capture et de baguage que les bagueurs s'engagent à respecter, les conditions de mise en place de l'activité sur des terrains privés, la nécessité de valorisation des données, etc. En 2016, le règlement intérieur a été révisé afin de clarifier certains termes, et clarifier les conditions d'accès aux données (en l'occurrence, dorénavant, lorsque plus de 10% de données utilisées dans une étude ont été collectés par un bagueur, ce bagueur est informé de l'utilisation de ses données et est invité à être co-auteur de la publication qui pourrait en découler). Ce règlement est accepté *de facto* par chaque bagueur annuellement lorsqu'il signe sa dérogation de capture.

4) Le personnel permanent du CRBPO

Directeur (professeur MNHN) : Frédéric Jiguet

Directeur scientifique (MC MNHN) : Pierre-Yves Henry (40%)

Chercheur (CR CNRS) : Jérôme Fournier (20%)

Ingénieur CNRS : Olivier Dehorter

Techniciens MNHN : Pierre Fiquet, Khaldia Akkari, Marielle Péroz

Technicien : Romain Provost (CDI AFB)

II. Le PNRO

Les programmes scientifiques proposés aux bagueurs dans le cadre du PNRO sont regroupés en trois axes, plus un axe transversal. Les protocoles sont rapidement résumés dans cette présentation. Ils sont accessibles sur le site internet du CRBPO à l'adresse (ils sont mis à jour régulièrement en cas de nécessité, les versions récentes et anciennes étant téléchargeables sur le site) :

<http://www2.mnhn.fr/crbpo/spip.php?rubrique8>

L'intégralité des programmes ont été révisés en 2014, en prenant en compte le potentiel scientifique et en conservation, mais aussi la capacité à attirer la participation des bagueurs bénévoles.

Axe 1. Suivis démographiques locaux

STOC. Suivi Temporel des Oiseaux Communs, par capture-marquage-recapture. Les emplacements de filets et dates de captures sont fixes d'une année à l'autre, le protocole est hautement standardisé. Cette standardisation permet de suivre dans le temps de manière fiable les effectifs, le succès reproducteur et la survie des espèces les plus capturées. Ce protocole a donné lieu en 2017 à la création et diffusion d'une première version d'indicateurs locaux d'état et de fonctionnement des populations d'oiseaux communs, à l'intention des acteurs locaux et gestionnaires de sites (http://crbpo.mnhn.fr/spip.php?article41&lang=fr#outil_sommaire_8).

SPOL. Suivi de Populations d'Oiseaux Locaux. Emplacements et dates déterminés par le bagueur en fonction des spécificités des espèces ciblées (avec conseil par le CRBPO, lors de la déclaration de participation au programme), la contrainte est sur le taux de contrôles locaux, qui doit atteindre 10% pour pouvoir estimer des taux de survie locaux. Des SPOLs coordonnés sont mis en œuvre sur deux espèces modèles particulières: le Moineau domestique, et l'Effraie des clochers.

SPOL Mangeoire. L'objectif est de documenter la dynamique des populations hivernantes de granivores. Pour participer, les bagueurs s'engagent à réaliser au minimum une session de capture par mois, entre décembre et février, dans un espace équipé d'une mangeoire distribuant des graines.

Axe 2. Haltes et migrations

Séjour (haltes migratoires): suivi du séjour en halte migratoire. Le thème SEJOUR a pour but de documenter les variations de stratégies de halte migratoire des passereaux entre individus, dans l'espace et dans le temps. Pour l'étude de la halte migratoire, il faut réaliser des captures et recaptures journalières d'un maximum d'individus sur une période prolongée. Le protocole prévoit de baguer tous les jours, sur un même site, avec un effort de baguage constant, sur une période minimale de 10 jours durant la période de migration des espèces ciblées dans la demande.

Phéno (haltes migratoires): suivi de la phénologie migratoire. Le but du thème PHENO est de collecter des données de baguage qui permettent de quantifier les variations de phénologie migratoire entre catégories d'individus (essentiellement espèce, sous-espèce, sexe, âge, condition corporelle) entre et entre voies migratoires, et les mettre en relations avec les grands processus de variabilité climatique et de modification d'habitats. Pour l'étude de la phénologie, il faut réaliser des captures pour échantillonner les individus en migration régulièrement tout au long de la saison de migration. Le protocole prévoit de baguer au moins une fois par semaine, sur un même site, sur une période minimale de 10 semaines, centrée sur la période de migration des espèces ciblées par la demande. La prise de mesures biométriques est nécessaire car elle permet de caractériser la phénologie migratoire en fonction de la taille et/ou la condition corporelle des individus, et le relevé de l'état de mue permettra de documenter le lien entre phénologie de mue et phénologie de migration.

Voie. Il a pour but de documenter les variations de voie de migration entre individus, dans l'espace et dans le temps, pour quelques espèces avec une forte pression de baguage en Europe, et générant un nombre important d'allo-contrôles. Seules quatre espèces peuvent être suivies dans le cadre de ce thème : l'Hirondelle rustique, l'Hirondelle de rivage, la Rémiz penduline et le Bruant des roseaux. L'objectif étant de marquer le plus d'individus possible, afin de générer un maximum d'allo-contrôles pour ces espèces, le nombre de filets et la durée des opérations ne dépend que de la capacité des bagueurs à gérer les oiseaux capturés en toute sécurité. La capture des reproducteurs et de leurs jeunes pour les hirondelles est fortement encouragée afin d'obtenir des informations plus précises sur les processus de dispersion. Par contre, les populations reproductrices des deux autres espèces sont en danger d'extinction en France (liste rouge nationale), et ne peuvent pas être capturées en période de reproduction dans le cadre du programme VOIE.

Gibier. L'objectif est de maintenir, sur le long terme, le baguage systématique des oiseaux gibiers terrestres, afin de documenter leurs déplacements et les taux de prélèvements. En particulier, il existe encore trop peu de données de reprises documentant les aires d'hivernage et la dispersion des populations reproductrices françaises (hormis pour les colombidés). Ainsi nous encourageons les bagueurs à marquer le plus possible d'adultes, de poussins et de juvéniles nés localement des espèces gibiers terrestres durant la période de nidification. Le baguage des poussins est une opération délicate, il est indispensable de consulter les bonnes pratiques pour le baguage de poussins avant d'envisager sa mise-en-œuvre. Le baguage, et en particulier la recherche de contrôles d'oiseaux bagués, est également utile et encouragé le reste de l'année.

SMAC (Alouette) : Suivi de la Migration nocturne de l'Alouette des champs. Capture nocturne avec filets et repasse, pour baguer et relâcher de suite les migrateurs nocturnes en automne (fin octobre – début novembre). Programme coordonnée et animé par le CRBPO en partenariat avec l'ONCFS (Cyril Eraud), incluant la formation et qualification de techniciens de fédération de chasse pour participation au réseau. En effet, ce programme est également ouvert à des bagueurs spécialistes qui souhaitent s'impliquer dans le suivi par baguage de l'Alouette des champs (dont chasseurs, agents techniques de fédération de chasse, etc.). Pour cela, ils peuvent obtenir un permis « bagueur spécialiste d'alouette » après évaluation et qualification par le CRBPO associé à l'ONCFS.

Flash. Possibilité de capturer et marquer des espèces à afflux migratoires exceptionnels et temporaires, sujettes à irrptions inhabituelles en France (comme le Jaseur boréal, Sizerin flammé, Pinson du Nord, mésanges...). Sur la base du montage d'un réseau national par un bagueur responsable, qui doit proposer un protocole de capture, avoir l'avis favorable d'un délégué régional, puis l'accord du CRBPO. Le Flash est validé pour 6 mois après lesquels le responsable doit remettre un bilan complet.

ACROLA. Protocole spécial dédié à la capture du Phragmite aquatique lors de sa migration d'automne (mi-juillet à mi-septembre). Trois filets alignés avec une repasse centrale diffusant le chant de l'espèce à partir du lever du jour. Plus de 1000 individus capturés avec cette méthode en 2011 et 2012 (moins de 200 individus par an avant de généraliser cette méthode ; l'espèce est en déclin).

Axe 3. Suivis à accès limités

Programmes Personnels (PP). Ce programme est d'initiative personnelle, et ouvert aux personnes souhaitant faire une étude sur une espèce ou un groupe d'espèces sensibles (statut de conservation de l'espèce > VU), ou en utilisant des méthodes de capture particulières (autres que filets : matoles, clap-net, au nid...) ou des méthodes de marquage particulières (bagues couleur ou 'darvik' codées, technologies embarquées). Le bagueur complète un formulaire de demande de PP, où il expose notamment les objectifs scientifiques, les moyens qui seront mis en place pour y parvenir. Ce document est examiné par l'équipe scientifique du CRBPO et éventuellement validé. Un premier rapport d'activité du PP est exigé après 2 ans de fonctionnement, puis tous les 4 ans, pour éventuelle reconduction en fonction de l'avancée et des résultats obtenus. Toutes les espèces sont éligibles. Les données des PP peuvent être privatisées et être alors la propriété exclusive du détenteur du PP s'il en fait la demande (pour une durée jusqu'à 5 ans, voir 10 ans, après la fin de la dérogation de capture ; cf. Annexe 6).

'Marquage couleur', qui peut concerner des bagues, marque alaire, marque nasale, collier selon les nécessités des programmes. Chaque demande de marquage autre que par bague sera évaluée au cas par cas avant éventuelle validation.

'Technologie embarquée'. Le CRBPO souhaite pouvoir autoriser ses bagueurs à poser des radio-émetteurs, balises GPS et Argos, photomètres géo-localisateurs, autres enregistreurs (température, ...) dans la mesure où leur poids ne dépasse pas 5% (idéalement moins de 3%)

du poids moyen de l'espèce – pour des programmes de baguage particuliers et sur demande examinée individuellement.

Prélèvement de tissus. Le CRBPO souhaite pouvoir autoriser ponctuellement ses bagueurs à faire des prélèvements de tissus sur des oiseaux capturés, notamment plumes, pointe d'ongle, frottis cloacaux et buccaux, et prélèvement de sang – pour des programmes de baguage particuliers et sur demande examinée individuellement. Pour les prises de sang, le CRBPO est apte à délivrer des formations par tutorat à la prise de sang simple (par effraction cutanée et capillarité). Toute prise de sang par une méthode de prélèvement plus complexe (p. ex. phébotomie, ou rétro-orbital) relève de l'utilisation d'animaux à fins scientifiques, et ne peut pas être délivrée par le CRBPO.

RARE : capture ciblée d'individus en cas d'identification spécifique et/ou subspécifique complexe. Après évaluation des compétences à reconnaître en main des espèces ou sous-espèces particulièrement rares et difficiles à identifier (comme les sous-espèces orientales de Fauvette babillarde, les pouillots du complexe boréal ou à pattes claires, ...), quelques bagueurs peuvent être autorisés ponctuellement à capturer un individu pour permettre son identification taxonomique (pouvant nécessiter le prélèvement d'une plume pour analyse génétique). Seuls une dizaine de bagueurs sont concernés par ce programme, qui n'offre en aucun cas la possibilité de capturer toute espèce rare – il s'agit bien d'utiliser la capture quand l'identification sur le terrain n'est pas possible.

III. La gestion des données

1) Le logiciel GestBAG

La gestion des bagueurs (validation des autorisations de captures, envoi de bagues, validation des données) ainsi que la gestion des données de baguage (gestion des erreurs, contacts avec les centres de baguages étrangers, renvoi des informations complètes vers les divers informateurs, etc.) sont réalisées par un logiciel dédié et développé au sein du CRBPO. Il est opérationnel depuis fin 2010 et contient près de 7 500 000 données. La totalité des données de baguage recueillies par le CRBPO depuis 2000 y sont intégrées. Les données des années antérieures ne sont que partiellement numérisées. Il permet la circulation automatique des données à la fois vers les bagueurs, vers les centres de baguage des autres pays et vers les informateurs de manière automatisée ; ainsi, dès qu'une information est complète, elle est envoyée à l'ensemble des destinataires. Il sert également de sauvegarde pour les bagueurs. C'est la collection nationale de référence pour le suivi des oiseaux par marquage.

2) Informations auprès des centres de baguage

Les relations avec les centres de baguage étrangers s'étendent bien au-delà de l'Europe, en particulier avec l'Afrique du sud ou les Etats-Unis (on rappellera ici que l'activité de baguage a lieu aussi dans les DOM). La totalité de la communication vers les centres de baguage étrangers se fait courrier électronique. Mais le traitement reste manuel. En effet, il n'existe pas de procédure d'intégration automatique des données d'un centre dans la base de données d'un autre centre. Toutefois, ce type de transfert est en phase de test entre le CRBPO et les centrales de baguage suisse et espagnole, avec l'espoir de le voir se développer à d'autres centrales. Cela permettrait d'accélérer la circulation des informations mais aussi de minimiser les erreurs. Cela représente environ 1 000 opérations par an.

3) Informations auprès du grand public

Nous recevons des informations provenant de tous les publics à l'échelle internationale » (il s'agit le plus souvent d'oiseaux bagués retrouvés morts) par 3 canaux (téléphone, courrier et courriel). Celles-ci sont traitées dans la semaine de réception. Dès qu'elles sont complétées avec la donnée de baguage, les informations sont restituées aux informateurs concernés de manière automatique. Cela représente environ 5 000 opérations par an.

4) Quelques exemples de collaboration

- a) PNA Phragmite aquatique. Une convention a été signée en 2010 entre le CRBPO et l'opérateur national du plan national d'action, Bretagne Vivante, pour une mise à disposition annuelle des données de baguage de l'espèce en France, qui donne lieu à la rédaction d'un rapport sur les connaissances de la stratégie de migration de l'espèce.
- b) Baguage d'Alouettes des champs en migration. Une convention a été signée en 2012 avec l'ONCFS pour réaliser une mise à jour des analyses de baguage d'alouettes en migration pour déterminer les flux d'alouettes migrant par le sud-ouest, permettant de fixer les quotas autorisés dans le cadre de la chasse traditionnelle à la pente.
- c) Démographie des communautés d'oiseaux communs et fluctuations climatiques. Le CRBPO est partenaire d'un projet scientifique collaboratif, financé par l'Agence Nationale pour la Recherche et porté par Olivier Gimenez, du Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive. Le projet est intitulé 'DEMOCOM - Climate and management effects on community dynamics – Developing multispecies demography' (2017-2021). L'objet de ce projet est d'identifier les mécanismes démographiques (survie, reproduction) responsables des changements de structuration des communautés d'oiseaux sous l'effet des changements climatiques. Ce projet est une généralisation d'un précédent projet, financé par la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité et la Région Nord-Pas de Calais, porté par le CRBPO, et

intitulé 'DEMOSPACE – Réponses DEMographiques des Oiseaux aux changements globaux dans l'eSPACE: des tendances nationales à la gestion locale' (2013-2016).

- d) Vie urbaine et stress physiologique. Le CRBPO est partenaire d'un projet scientifique financé par l'Agence Nationale pour la Recherche et porté par Frédéric Angelier, du Centre d'Etudes Biologiques de Chizé. Le projet est intitulé 'URBASTRESS - Influence of urbanization on vertebrate populations: an ecophysiological approach' (2017-2020). L'objet de ce projet est identifier les mécanismes biologiques proximaux responsables du déclin des populations urbaines de Moineau domestique, en s'appuyant sur les données du SPOL sur l'espèce. Ces connaissances ont vocation à identifier les stress physiologiques imposés aux oiseaux en milieu urbain.
- e) Déclin des populations de grives et merles hivernant en France : déclin démographique ou changement de stratégie migratoire ? Cette question sera traitée dans le cadre d'une thèse de doctorat (2017-2020) financée par l'ONCFS, qui sera co-dirigée avec le CRBPO, et qui reposera sur l'intégralité des données de baguage des espèces concernées depuis les années 1950 (grâce à un effort de numérisation sans précédent des archives papier de baguage).

Les nouveautés :

5) Standardisation accrue des protocoles de suivi, et contrôle qualité

Suite à une consultation des bagueurs, organisée en 2014, nous avons identifié qu'une standardisation élevée de protocoles de suivi par baguage n'était pas un facteur de désengagement des bagueurs bénévoles, et bien au contraire : ils comprennent que la standardisation accrue améliore la qualité, la comparabilité et l'exploitabilité des données. Ainsi, un protocole un peu contraignant est perçu comme un protocole particulièrement important, et donc motivant pour s'impliquer, puisque la volonté ultime des bagueurs est bien que les données récoltées soient utiles, et donc utilisables. Ainsi, nous avons rationalisé la description de tous les protocoles proposés aux bagueurs, afin qu'ils en perçoivent mieux les objectifs, et la justification des contraintes. Cette analyse critique des suivis nous a amené à accroître la standardisation de certains protocoles (SPOL Mangeoire), et à créer des nouveaux protocoles mieux adaptés pour les objectifs scientifiques fixés (PHENO, SEJOUR).

Toutes les données importées annuellement sont vérifiées pour leur qualité au travers d'une série de tests logiques (détectant des erreurs de notation, de saisie, d'identification). En cas d'erreur, le bagueur concerné est informé, et il a l'obligation de corriger la donnée, ou d'expliquer pourquoi elle ne peut pas être corrigée. Depuis 2016, nous avons également mis en œuvre une procédure de contrôle qualité annuelle portant sur la bonne mise en œuvre des protocoles par les bagueurs. Ces 'contrôles qualité protocole' sont appliqués aux 4 programmes générant le plus de données (PHENO, SEJOUR, VOIE, SPOL Mangeoire). Les données du STOC Capture sont également vérifiées au cours des projets de recherche exploitant ces données, et lors de la production des rapports individuels d'état et de fonctionnement des populations locales d'oiseaux communs. Ainsi, chaque année, pour chaque principal suivi, chaque bagueur reçoit un retour individuel sur la qualité du suivi qu'il met en œuvre, identifiant le cas échéant les contraintes de protocole nécessitant une meilleure prise en compte.

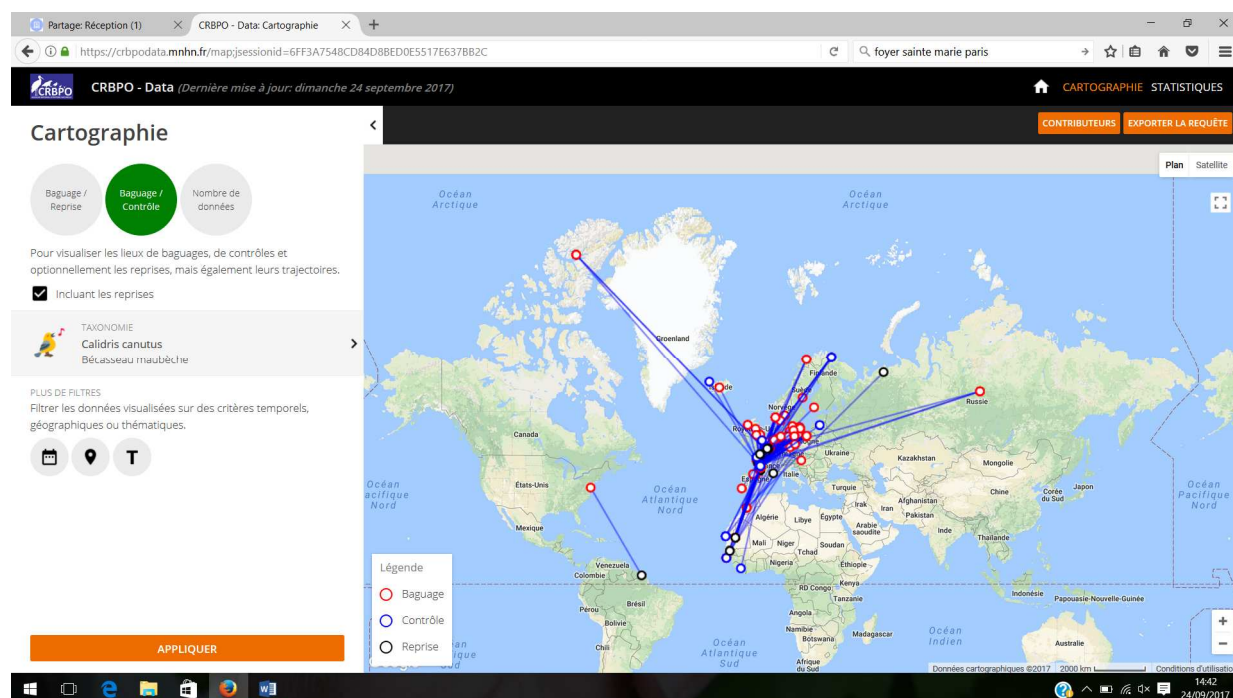
6) Archivage des données de suivis télémétriques

Depuis 2016, l'archivage national des données de télémétrie se fait par un portail international dédié à la télémétrie nommé MoveBank. Le CRBPO exige des bagueurs auxquels il a attribué des dérogations pour pose de balises GPS/Argos, géolocalisateurs ou radio-émetteurs, de déposer l'ensemble de leurs données de géolocalisation dans la base de données MoveBank. Une convention a été signée entre le Max Planck Institute of Ornithology et le CRBPO pour encadrer cet archivage en ligne. Le CRBPO est la première centrale de baguage européenne à avoir engagé cette démarche, et est prise comme exemple à suivre dans plusieurs pays. Le bagueur dépose ses données dans cette base en ligne et désigne le CRBPO comme pouvant avoir accès à l'ensemble de ses données. Une fois

par an, MoveBank fait une extraction des données sur lesquelles le CRBPO a droit d'accès et nous les envoie pour copie d'archive. Ce système permet une grande économie de temps et d'espace d'archivage. Par exemple, un seul bagueur posant des GPS sur des grands corbeaux et des aigles royaux a déposé à ce jour plus d'un million de localisations dans MoveBank. Un autre bénéfice est que l'interface fournit des outils d'analyse et de partage des données, au bénéfice du responsable du programme d'étude.

Consultation de la base de données du CRBPO en ligne

Réalisée en 2017 avec l'aide des services informatiques du Muséum, la plateforme crbpodata.mnhn.fr permet de consulter en ligne l'ensemble de la base de données informatisées du CRBPO, avec un accès à l'ensemble des données de baguage (dont la biométrie), et l'ensemble des données de reprises et de contrôles, pour les espèces protégées comme chassables. Ce qui veut dire que toutes les données de reprises et de contrôles (hors programmes personnels à données privatisées) peuvent être consultées par le public, ainsi que par les services de l'Etat le nécessitant. Les bagueurs auteurs des données collectées sont identifiés, permettant de reconnaître les contributions de tous, mais aussi d'informer les services de l'état sur quelles personnes opèrent sur quelles espèces et sur quels espaces. Un exemple ci-dessous avec les données reliant baguage et reprise ou contrôle pour le Bécasseau maubèche



7) Les données FRS 'Strasbourg'

La Réserve Naturelle de la Mazière, sous l'égide d'Alain Dalmolin, a été suivie pendant plusieurs décennies par une activité intense de baguage, les oiseaux étant marqués avec des bagues issues d'un centre dissident, basé en Alsace (Centre de Recherche sur la Biologie des Oiseaux de Strasbourg, nommé centre FRS). En 2015, Alain Dalmolin a souhaité que l'activité de baguage de la RN de la Mazière ne se fasse plus de manière isolée, mais le cadre du protocole du CRBPO dédié au suivi de la migration. Les démarches nécessaires de mise en conformité avec le règlement intérieur du CRBPO ont été effectuées, permettant aux bagueurs du site d'intégrer le réseau coordonné par le CRBPO.

Dans la même démarche, la RN de la Mazière a remis au CRBPO l'ensemble des données historiques de baguage collectées avec des bagues FRS. Le CRBPO est donc en mesure de gérer l'ensemble des informations (contrôles et reprises) liées à cette ancienne centrale de baguage parallèle et remises au CRBPO. Il est rappelé que FRS n'a jamais été reconnu comme centre de baguage officiel par EURING (l'association européenne des centrales de baguage).

IV. La formation des bagueurs

1) Stages de formation

Des stages de formation sont organisés partout en France à l'initiative de bagueurs ou de délégués régionaux. A titre d'exemple, en 2012, 14 stages ont eu lieu. Ils permettent aux futurs bagueurs de se familiariser aux techniques de manipulation d'oiseaux en toute sécurité. Ils sont aussi de plus en plus associés à des cours dispensés en salle.

Voir le site internet du CRBPO : <http://crbpo.mnhn.fr/spip.php?rubrique94>

2) La qualification

L'attribution d'une dérogation de capture s'appuie sur la démonstration de l'acquisition de deux compétences : assurer la sécurité des oiseaux et la qualité des données. Elle se fait en 3 phases :

Un carnet de formation (développé collégialement avec des bagueurs) est rempli. Il décrit par le menu les éléments que chaque bagueur doit maîtriser dans sa future activité. Chaque module doit être validé (signé) par au moins 2 bagueurs différents qui ont suivi le candidat dans sa formation (cf. le carnet et son mode d'emploi ; voir <http://crbpo.mnhn.fr/spip.php?rubrique62>).

Un stage théorique se déroulant sur 2 jours à Paris permet aux futurs bagueurs d'appréhender les finalités scientifiques de l'outil « baguage » et de comprendre et assimiler les droits et devoirs du bagueur associés au règlement intérieur du CRBPO, et à la réglementation dont leur activité dépend. C'est l'occasion pour eux de rencontrer l'ensemble de l'équipe du CRBPO. Deux stages théoriques sont organisés chaque année au Muséum, et accueillent environ 30 personnes par an.

Le stage de qualification pratique finalise cette formation. Il est accessible à toute personne ayant participé au stage théorique (depuis moins de 2 ans) et ayant son carnet de formation rempli pour l'ensemble des modules obligatoires. Il se déroule sur 5 jour,s en région, où le futur bagueur est évalué par du personnel du CRBPO à la fois en situation et sur des épreuves en salle. Pour des raisons d'efficacité, le taux d'encadrement pour la qualification est de 4 stagiaires / examinateur. Selon les années, 3 à 5 stages sont réalisés. De 2013 à 2017, 17 stages de qualification ont eu lieu, et 47 nouveaux bagueurs ont rejoint le réseau du CRBPO.

3) La validation annuelle de la dérogation de capture

Le permis de baguage est délivré annuellement. C'est un document pdf généré par le logiciel GestBag, qui est envoyé par email au bagueur. Il est signé par le directeur du CRBPO, doit être signé par le titulaire de l'autorisation et est valable pour l'année en cours. Cette validation annuelle est donnée si le titulaire est à jour dans ses envois de données au CRBPO, et la correction des données en erreur (pour l'année précédente), et éventuellement de bilan de programme personnel (tous les 4 ans) si le bagueur est responsable d'un PP.

4) Stages d'analyse de données

Des stages d'analyse de données de baguage d'oiseaux sont organisés en région, à la demande de groupes de bagueurs locaux (souvent du délégué régional). Ces stages se décomposent en trois niveaux. Le 1er niveau (2 jours) a pour but d'apprendre à utiliser les fonctionnalités d'Excel (filtre, fonctions, tableaux croisés dynamiques) pour produire des explorations et synthèses de données de baguage. Le 2ème niveau (2 jours) a pour but d'apprendre à répondre à des questions issues des données de baguage à l'aide de tests statistiques simples (comparaison de fréquences, comparaison de moyennes, régression linéaire). Enfin, le 3ème niveau (4 jours) porte sur l'analyse des données de

capture-marquage-recapture (estimation du nombre d'individus d'une population, analyse de la survie apparente). Dans tous les stages, les participants travaillent uniquement sur leurs propres données et ce à l'aide des logiciels professionnels (gratuits) utilisés en recherche (R, MARK). Ces stages sont donc une opportunité pour chacun (bénévoles, associatifs, gestionnaires) d'avoir une supervision de l'exploitation de leurs données pour leurs questions, avec des logiciels adaptés. Ces formations sont encadrées par deux personnes du CRBPO, et entrent dans le cadre de la formation continue. Pour la période 2013-2017, 6 stages ont eu lieu dans 5 régions de France, rassemblant 52 personnes pour les niveaux 1&2 et 38 pour le niveau 3. Depuis la création de ces stages en 2018, nous avons formé 171 personnes aux niveaux 1&2, et 113 personnes au niveau 3. Actuellement, la demande est faible, l'essentiel des bagueurs souhaitant acquérir des compétences minimales d'analyse de données ayant pu suivre les formations. Pour les années à venir, une nouvelle formation va être mise en place (1 session en 2017, 16 apprenants), visant à former les bagueurs et gestionnaires d'espaces à l'utilisation des indicateurs locaux d'état et de fonctionnement des populations d'oiseaux communs. L'objectif est que ces indicateurs (et le protocole STOC Capture) soient utilisés pour l'évaluation de l'impact local des actions de gestion d'habitat locales.

V. Les outils d'animation et de communication

1) L'Assemblée Générale annuelle

Une fois par an, le CRBPO convie l'ensemble de la communauté des bagueurs à un week-end scientifique au Muséum à Paris, au cours duquel le CRBPO présente le bilan de ses activités sur l'année écoulée, les principaux résultats scientifiques obtenus. Le samedi après-midi est dédié aux communications orales par des bagueurs. Le samedi soir a lieu une réunion de travail entre le personnel du CRBPO, les organisateurs de stage de formation et les délégués régionaux. Le dimanche matin est dédié à des ateliers sur thèmes suggérés par les bagueurs (p. ex. méthodes de baguage, présentation de matériel, analyse de données). Cette AG a lieu au début de chaque année, la prochaine est programmée les 17-18 mars 2018. Les précédentes ont eu lieu les : 11-12 mars 2017, 19-20 mars 2016, 21-22 mars 2015, 22-23 mars 2014.

2) Le blog CRBPoInfo

Depuis 2014, un blog (www.crbpoinfo.blogspot.fr; 63 connections / jour) permet de transmettre régulièrement des informations à toute la communauté des bagueurs (entre autres car le site est public), où l'équipe du CRBPO et des bagueurs postent des articles concernant les activités relatives au baguage en France (résumés d'articles publiés utilisant des données de baguage, réglementation, formation, reprises de bagues non ordinaires, ...). Ce blog a remplacé avantageusement les anciennes circulaires annuelles, qui ne correspondait plus à la temporalité contemporaine de la diffusion de l'information.

3) Le site internet

Le CRBPO possède un site internet abrité par le serveur du Muséum, à l'adresse : crbpo.mnhn.fr/ (160 connections / jour). Sur ce site, les visiteurs trouvent toutes les informations nécessaires sur les activités du centre, les objectifs et intérêts scientifiques du baguage, les programmes de recherche, des conseils pour se former pour devenir bagueur, les bonnes pratiques en baguage, pour faire parvenir des informations sur une bague trouvée, etc.

Une partie en accès privé du site est réservée aux bagueurs validés, sécurisé par un mot de passe, permet d'accéder à des informations sensibles telles que des méthodes spécialisées de capture, aux formulaires d'inscription ou déclaration de participation à différents programmes, l'annuaire de l'ensemble des bagueurs, à des vidéos permettant d'affiner les formations (pose de filet, de bague), etc.

4) Le forum des bagueurs

Depuis 2002, le CRBPO anime un forum de discussion sur la plateforme Yahoo!, à l'adresse <http://fr.groups.yahoo.com/group/Bagueurs/> (400 messages / an).

Ce forum permet au CRBPO d'animer les programmes de recherche, expliciter des instructions. Il permet aussi à l'ensemble du réseau des bagueurs d'échanger entre eux, de signaler des événements atypiques (p. ex. afflux migratoire, impact d'événements climatiques hors norme), le démarrage du passage migratoire d'une espèce, et partager rapidement toute information relative au baguage.

Au-delà de cet outil, les bagueurs peuvent bien évidemment consulter les permanents du CRBPO autant que de besoin, par email ou par téléphone.

Le CRBPO tient aussi à jour une liste de diffusion incluant toutes les adresses mèl des bagueurs qui en possèdent une (grâce au logiciel GestBag), à laquelle on envoie les informations officielles, par exemple sur l'organisation de l'Assemblée Générale annuelle, ou de nouvelles instructions sur le fonctionnement du baguage.

VI. Les espèces chassables

1) Bilan des captures et baguages

Sur la période 2013-2016, 125 400 individus d'espèces chassables ont été bagués. Ce chiffre représente environ 3.5% du total d'oiseaux bagués sur la même période toutes espèces confondues (protégées ou gibier). Parmi les 54 espèces concernées, les plus baguées ont été : Merle noir (27.190), Bécasse des bois (23.827), Grive musicienne (14.842), Alouette des champs (11.135), Pigeon ramier (9.467). Pour certaines espèces, le baguage est effectué par des réseaux spécialisés notamment gérés par l'ONCFS (pigeons, bécasse, bécassines). Les passereaux sont eux capturés en nombre par les bagueurs généralistes. Les anatidés et limicoles font l'objet de programmes personnels (axe 3 du PNRO), car ils nécessitent de méthodes de capture particulières, et bien souvent aussi des méthodes de marquage particulières (marquage coloré par exemple, avec des codes à définir en concertation avec d'autres chercheurs travaillant sur la même espèce).

2) Des taux de reprises intéressants

Les espèces chassables ont un intérêt particulier car le taux de reprise d'individus bagués (oiseaux retrouvés morts) est important. Si ce taux varie entre 1 et 2% pour l'ensemble des espèces baguées entre 2013 et 2016, il peut monter à plus de 30% pour les espèces chassables. Quelques exemples : entre 10 et 30% pour les canards (sarcelle d'hiver, colvert, souchet, siffleur...), 15% pour la Bécasse des bois, plus de 10% pour le Pigeon ramier ou la Corneille noire, 2.0% pour la Grive musicienne. Ces taux de reprises permettent notamment d'étudier les distances de dispersion, de migration et les impacts éventuels des changements globaux sur ces paramètres.

3) Collaboration avec l'ONCFS pour l'animation de suivi sur les espèces gibier

Dans le cadre de son habilitation à délivrer des autorisations de captures, l'ONCFS organise des stages de qualification pour ses programmes sur les bécasses, bécassines, cailles et pigeons. Le CRBPO participe à ces formations en réponse à des invitations de leur part et en fonction de nos disponibilités. Depuis plus de dix ans, nous avons participé aux stages « pigeons » et « cailles », en focalisant notre propos sur des aspects organisationnels, juridiques et techniques.

D'autre part, nous incitons les bagueurs généralistes à intensifier le marquage de poussins de turdides et de colombidés pour mutualiser les efforts des réseaux de bagueurs CRBPO et ONCFS, afin de mieux suivre la dispersion de ces espèces, notamment dans un contexte de changements climatiques. Enfin, le programme SMAC (alouettes) est clairement une collaboration directe entre le CRBPO et l'ONCFS pour l'organisation et l'animation de ce programme de baguage.

4) Nécessité d'autorisation de capture

Lors des captures au filet des oiseaux, dans le cadre du PNRO, des espèces gibier sont capturées. Par exemple, une station STOC capture des merles, des grives. Il est donc indispensable d'obtenir une autorisation de capture et baguage d'espèces gibier, sans laquelle aucun baguage au filet ne pourrait se faire par le réseau des bagueurs sans risque de capturer une espèce gibier.

VII. Focus sur l'Outre-Mer

L'organisation, la gestion du baguage de même que la formation des bagueurs est identique à celles de la métropole (depuis 2002). Des bagueurs généralistes sont présents dans une grande partie des DOM-TOM (Guyane : 12 ; Guadeloupe : 9 ; Martinique : 5 ; Réunion : 5 ; Nouvelle-Calédonie : 1 ; Polynésie : 1). Environ 3 000 oiseaux y sont bagués par an. Un autre élément primordial à l'évaluation des activités de baguage en outre-mer est le taux de recapture, de l'ordre de 25%. Ce taux de contrôle est même supérieur à celui de métropole mais dans un contexte différent sans migrations importantes.

Pour compléter et enrichir les compétences de ces sentinelles des populations aviaires françaises, le Muséum s'est lancé dans une aventure inédite : transmettre les compétences d'analyse de données de baguage d'oiseaux aux membres volontaires du réseau. L'objectif est que les 'bagueurs', avec l'appui de leurs propres réseaux et des chercheurs du Muséum, puissent initier la valorisation des données qu'ils collectent à l'échelle locale et régionale. Cette aventure initiée en métropole s'est exportée pour la première fois sous les tropiques en 2011, lors d'une formation de 8 jours en Martinique (avec le soutien de l'association Carouge, et de la DREAL Martinique), puis en Guyane française en 2012 (avec le soutien de TE ME UM).

VIII. Espaces et espèces protégés

1) Espaces protégés

Les activités de baguage qui ont lieu dans des espaces protégés doivent avoir reçu l'accord du gestionnaire du site, et être prévues dans le cadre du plan de gestion de l'espace naturel. Ces conditions sont prévues à l'Article 17 du Règlement Intérieur des bagueurs du CRBPO (voir Annexe 6). Ceci concerne bien évidemment les zones cœurs des parcs nationaux. Si un gestionnaire le souhaite, il peut conventionner avec le bagueur pour n'autoriser le baguage qu'en échange d'un bilan des activités de baguage qui auront eu lieu dans son périmètre d'action, voir la mise à disposition des données in extenso. Ces conditions sont à définir entre les parties. C'est le cas par exemple pour tous les sites gérés par le Conservatoire du Littoral qui propose un modèle de convention d'occupation temporaire de ses espaces à des fins de collaboration et d'étude scientifique, en contrepartie d'un bilan annuel d'activités.

2) Espèces PNA, Annexe I Directive Oiseaux et liste rouge UICN nationale

Actuellement, l'arrêté ministériel de 2008 concerne toutes les espèces protégées, sans restriction ni condition particulière pour les espèces inscrites à l'Annexe I de la Directive européenne dite « Oiseaux » ou les espèces faisant l'objet d'un plan national d'action. Il convient pourtant de détailler plus avant la procédure que l'équipe scientifique du CRBPO suit et s'engage à suivre concernant les espèces faisant l'objet d'un Plan National d'Action.

Tout programme de baguage concernant des espèces concernées par un PNA (que ce soit dans les axes 1 et 2 du PNRO ou dans le cadre de projets de programme personnel) est soumis à l'avis du porteur du PNA concerné avant autorisation de mise en œuvre. Il s'agit de s'assurer que le baguage scientifique apportera des réponses aux questions anticipées comme cruciales pour améliorer la conservation de l'espèce. Depuis 2008, cela a par exemple été le cas pour valider le baguage et la pose d'émetteurs radio sur des Phragmites aquatiques en halte migratoire (contact A. Le Névé,

Bretagne Vivante), pour la pose d'émetteurs sur des Faucons crécerellettes dans l'Hérault (contact P. Pilard, LPO).

Les espèces inscrites sur la Liste Rouge UICN-MNHN avec un statut de conservation EN (en danger d'extinction), ou encore plus menacées (EN, EX) ne peuvent être suivies que dans le cadre d'un Programme Personnel (à l'exception du Phragmite aquatique, dans le cadre d'un protocole ACROLA, mais pour lequel la capture est surveillée sur la base d'inscription des bagueurs au programme avant mise en œuvre). La liste des espèces concernées est mise à jour aussi souvent que l'est la Liste Rouge.

IX. Demande d'extensions de la dérogation CRBPO

1) Individus blessés ou morts lors des opérations de baguage

Malgré tous les efforts de formation et prévention mis en œuvre, le taux de mortalité lors des captures est de l'ordre de 0-0.2 % pour la méthode standard de capture (filet japonais). Ce taux est similaire entre la France et l'Amérique du Nord (Spotswood et al. 2013¹).

De même, le taux de morbidité (blessure lors des opérations de baguage) est faible, similaire en France et en Amérique du Nord, et évalué à 0.3-0.6% (Spotswood et al. 2013).

Depuis 2014, le CRBPO oblige les bagueurs à informatiser et transmettre tous les cas de blessure ou de mortalité survenu lors des opérations de baguage afin d'effectuer une veille sur l'impact direct de l'activité, et réduire ces taux par de l'incitation ciblée à l'amélioration des pratiques.

Au-delà des actions mises en œuvre par le CRBPO pour minimiser ces cas de morbidité et mortalité, il semble indispensable de doter les bagueurs de dérogations complémentaires leur permettant d'encore améliorer la gestion de ces incidents.

Pour les oiseaux blessés :

- Actuellement : réglementairement, les bagueurs n'ont pas d'autre possibilité que les relâcher sur site, sans soin. C'est incompatible avec le principe d'amélioration du bien-être des animaux utilisés à buts scientifiques.
- A l'avenir :
 - o Pour les oiseaux blessés pouvant être soignés : les bagueurs devraient avoir la dérogation nécessaire pour les transporter, et les amener vers le centre de sauvegarde la faune sauvage, ou le vétérinaire spécialisé en faune sauvage, le plus proche. Réglementairement, cela implique donc que le CRBPO puisse délivrer une dérogation de transport d'espèces sauvages vivantes exclusivement à but de soins suite à accident lors d'opération de baguage.
 - o Pour les oiseaux blessés ne pouvant pas être soignés (ce diagnostic serait à faire confirmer par un vétérinaire par téléphone), les bagueurs devraient avoir la dérogation nécessaire pour les euthanasier, pour abrégier leurs souffrances dans les plus brefs délais.

Pour les oiseaux morts lors des opérations de baguage.

- Actuellement : réglementairement, les bagueurs doivent laisser sur place les cadavres des oiseaux morts lors des opérations de baguage.
- A l'avenir : pour que ces oiseaux ne soient pas « morts pour rien », il serait souhaitable que ces cadavres soient transmis à des Muséums (national ou régionaux) pour conservation et mise à disposition pour la recherche. Réglementairement, cela implique donc que le CRBPO

¹Spotswood, E.N., Roesch Goodman, K., Carlisle, J., Cormier, R.L., Humple, D.L., Rousseau, J., et al. (2011). How safe is mist netting? Evaluating the risk of injury and mortality to birds. *Methods Ecol. Evol.*, 3, 29–38

puisse délivrer des dérogations de transport d'espèces sauvages mortes exclusivement à but de conservation temporaire, jusqu'à la remise de ces cadavres à un organisme habilité à les conserver sur le long terme. Ces transports et conservations temporaires pourraient être conditionnés, encadrés et tracés par une déclaration en ligne immédiate auprès du CRBPO, signalant la prise en charge d'un cadavre d'oiseau suite à un accident de baguage, et son lieu et date de mise à disposition pour qu'il soit récupéré. Cette procédure existe déjà dans d'autres pays européens (par exemple, en Suède, les bagueurs ont obligation de conserver les oiseaux morts pour enrichir les collections nationales). Une telle procédure fonctionne également déjà entre les centres de sauvegarde de la faune sauvage et le MNHN (organisé par Jérôme Fuchs, Maître de Conférences en charge des collections oiseaux du MNHN).

2) Cadre réglementaire sur les espèces exotiques dites envahissantes (EEE)

A l'occasion de l'examen de ce dossier, le CRBPO souhaite que le MTES clarifie le cadre réglementaire dans lequel le baguage scientifique peut se faire sur les espèces introduites. Les bagueurs ont besoin d'une dérogation à la loi pour leur permettre de relâcher de tels individus lorsqu'ils mettent en place un suivi scientifique sur les espèces concernées pour au moins deux raisons :

- 1) les suivis scientifiques par baguage ont vocation à documenter le fonctionnement des populations et des écosystèmes tels qu'ils existent ; les bagueurs n'ont pas vocation, à leur échelle, à « corriger la nature ». C'est au service en charge de la gestion des EEE de mettre en place les procédures ad hoc pour prendre en charge le traitement de ces oiseaux EEE capturés incidemment lors des suivis par baguage.
- 2) Certains suivis par baguage ont spécifiquement la vocation d'étudier la dynamique des EEE, et des espèces autochtones associés (des programmes existent actuellement p. ex. sur l'Ibis sacré, le Léiothrix jaune). Dans ce cadre scientifique, il est par définition indispensable de relâcher sur site les oiseaux d'EEE.

La loi actuelle empêche de la relâcher d'EEE. Mais la dérogation de capture CRBPO pour baguage et relâcher immédiat sur site ne permet pas de conserver l'oiseau, de le transporter, ou de le mettre en captivité.

Il est donc nécessaire de clarifier l'application de la loi aux suivis scientifiques par baguage.

3) Le cas des zones cœurs des Parcs Nationaux

Dans les zones cœurs des parcs nationaux, des activités de baguage scientifique peuvent avoir lieu, mais conformément à l'article 17 du règlement intérieur du CRBPO, tout bagueur doit au préalable obtenir l'accord du directeur du Parc National, et ne peut en aucun cas mettre en œuvre du baguage sans son accord. Lors de la précédente demande en 2012, cet aspect n'avait pas pu être expliqué aux directeurs de PN, ce qui avait abouti à l'exclusion des zones cœurs de PN des aires où le baguage pouvait avoir lieu. Il s'agit dans ce dossier de régulariser cette situation pour les années à venir, qui ne posait en fait aucune question quant au contrôle effectif des parcs nationaux pour autoriser ou non le baguage scientifique des oiseaux dans leurs territoires.



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

*Direction générale de l'aménagement, du logement
et de la nature*

Direction de l'eau et de la biodiversité

*Sous-direction de la protection et de la
valorisation des espèces et de leurs milieux*

Bureau de la faune et de la flore sauvages

Affaire suivie par : Stéphane LAÎNE
stephane.laine@developpement-durable.gouv.fr
Tél. 01 40 81 35 48 – Fax : 01 40 81 75 41

Paris, le 06 MAR. 2013

Le Directeur de l'Eau et de la Biodiversité

à

**Monsieur le Directeur du Centre de recherches
sur la biologie des populations d'oiseaux
55 rue Buffon
75005 PARIS**

Objet : dérogation ministérielle de capture, de marquage et de relâcher sur place d'espèces d'oiseaux protégées

P.J. : 1 dérogation ministérielle

Par courrier électronique en date du 31 octobre 2012, vous m'avez saisi d'une demande de renouvellement de dérogation ministérielle de capture, de marquage et de relâcher sur place d'espèces d'oiseaux protégées dans le cadre du Programme national de recherches ornithologiques (PNRO).

Je vous prie de bien vouloir trouver ci-joint la dérogation ministérielle sollicitée.

Je vous précise qu'il vous appartient de vérifier que les opérations envisagées ne nécessitent pas, pour leur réalisation, d'autres accords ou autorisations, notamment à l'intérieur d'espaces soumis au régime forestier (forêts domaniales ...) ou d'espaces protégés (réserves naturelles ...). A cet effet, vous pourrez prendre l'attache des différentes Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL ou DEAL pour les départements d'Outre-Mer) des régions concernées et de la Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie d'Ile de France (DRIEE-IF) en vue de l'obtention, le cas échéant, des autorisations nécessaires aux opérations sur les espaces que vous avez identifiés.

L'ingénieur en chef des ponts, des eaux et des forêts
Chargé de la sous-direction de la protection et de la
valorisation des espèces et de leurs milieux

Paul DELDUC

Copie : DRIEE-IF (pôle police de la nature, chasse et CITES)
DREAL de l'ensemble du territoire métropolitain, DEAL des départements d'Outre-Mer
(service en charge des dérogations espèces animales protégées)



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

La Ministre de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie,

Vu le livre IV du code de l'environnement et notamment ses articles L. 411-1 et suivants, et R. 411-1 à R. 411-14 ;

Vu les arrêtés :

- du 15 mai 1986 fixant sur tout ou partie du territoire national des mesures de protection des oiseaux représentés dans le département de la Guyane modifié ;
- du 17 février 1989 fixant des mesures de protection des oiseaux représentés dans le département de la Guadeloupe ;
- du 17 février 1989 fixant des mesures de protection des oiseaux représentés dans le département de la Martinique ;
- du 17 février 1989 fixant des mesures de protection des espèces animales représentées dans le département de la Réunion modifié ;
- du 9 juillet 1999 fixant la liste des espèces de vertébrés protégées menacées d'extinction en France et dont l'aire de répartition excède le territoire d'un département modifié ;
- du 7 août 2000 fixant la liste des espèces animales terrestres (et tortues marines) protégées et les mesures de protection de ces espèces animales représentées dans la collectivité territoriale de Mayotte complétant les listes nationales ;
- du 19 février 2007 fixant les conditions de demande et d'instruction des dérogations définies au 4° de l'article L. 411-2 du code de l'environnement portant sur des espèces de faune et de flore sauvages protégées modifié ;
- du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection ;
- du 29 octobre 2009 relatif à la protection et à la commercialisation de certaines espèces d'oiseaux sur le territoire national ;

Vu la demande de dérogation au régime de protection des espèces en date du 31 octobre 2012 déposée par le Centre de recherche sur la biologie des populations d'oiseaux (CRBPO) ;

Vu l'avis du Conseil national de protection de la nature (CNP) n° 12/879 en date du 13 janvier 2013 ;

Considérant le bien-fondé de la présente demande de dérogation du CRBPO ;

Considérant que le CRBPO possède les capacités d'expertise et d'intervention requises pour mener à bien les diverses opérations faisant l'objet de la présente demande de dérogation,

ARRETE

Article 1 : Identité du bénéficiaire

Le bénéficiaire de la présente dérogation ministérielle est le directeur du Centre de recherche sur la biologie des populations d'oiseaux (CRBPO), unité scientifique du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN), établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel placé sous la tutelle conjointe des ministres chargés de l'enseignement supérieur, de l'environnement et de la recherche.

Article 2 : Nature de la dérogation ministérielle

En vue de réaliser les suivis de populations nécessaires au Programme national de recherches ornithologiques (PNRO), le directeur du CRBPO est autorisé à faire capturer temporairement, éventuellement en faisant usage de sources sonores et lumineuses, sur l'ensemble du territoire national, à l'exclusion des zones cœurs des parcs nationaux, et relâcher sur place les spécimens des espèces d'oiseaux protégés concernés par ce programme.

La capture temporaire des spécimens peut donner lieu à des opérations de marquage (bagues MNHN, bagues couleurs, autres marques colorées/codées (alaire, nasale, collier)), à des poses de technologies embarquées (entre autres radio-émetteurs, balises GPS et Argos, photomètres géo-localisateurs, autres enregistreurs (température notamment)) ainsi qu'à des prélèvements de plumes et de matériel biologique (sang, frottis).

Les dispositions du présent arrêté s'appliquent sous réserve du respect par le CRBPO de la réglementation relative à l'expérimentation animale, et dans le respect des prescriptions réglementaires en vigueur relatives aux actes vétérinaires et à l'exercice de la médecine vétérinaire sur le territoire national.

Le directeur du CRBPO est également autorisé à transporter sur l'ensemble du territoire national, détenir, utiliser et, le cas échéant, détruire ces prélèvements de plumes et de matériel biologique.

Article 3 : Conditions de la dérogation ministérielle

Les conditions suivantes doivent être respectées pour l'application de la présente dérogation ministérielle :

- pour les espèces bénéficiant d'un plan national d'actions (PNA), le directeur du CRBPO veillera à tenir compte des orientations stratégiques et des programmes d'actions inscrits dans les PNA conduits en faveur de ces espèces. Pour ces mêmes espèces, le directeur du CRBPO veillera à recueillir systématiquement l'avis du coordinateur technique du PNA avant toute opération. Il tiendra également informé la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) coordinatrice du PNA correspondant ;
- le directeur du CRBPO désigne les personnes physiques procédant aux opérations décrites à l'article 2. Ces personnes physiques se voient attribuées par le directeur du CRBPO une carte ou une attestation faisant référence à la présente dérogation ministérielle. Les personnes ainsi désignées doivent obligatoirement suivre une formation spécifique pour être autorisées à effectuer des prélèvements de plumes et de matériel biologique ainsi que pour procéder à la pose de technologies embarquées. Les informations relatives à ces formations particulières devront figurer sur les cartes ou les attestations délivrées par le directeur du CRBPO ;
- les opérations de capture, de marquage, de prélèvements de plumes, de prises de sang, de frottis s'effectuent selon les protocoles du CRBPO. Chaque personne physique désignée par le directeur du CRBPO s'engage à respecter le règlement intérieur de cette unité scientifique du MNHN ;
- en cas d'opérations menées au sein du territoire d'un parc national (à l'exclusion des zones cœurs), d'une réserve naturelle, d'un site Natura 2000 ou d'une réserve nationale de chasse et de faune sauvage, un bilan est présenté au gestionnaire de ce territoire ;
- les cartes ou les attestations délivrées par le directeur du CRBPO précisent les zones du territoire national sur lesquelles la personne désignée peut procéder à des captures de spécimens d'oiseaux. Lorsque cela s'avère nécessaire, pour certaines de ces zones, l'attribution de la carte ou de l'attestation est soumise à une formation spécifique ;
- le règlement intérieur du CRBPO est modifié pour prendre en compte ces conditions ;
- un bilan des conditions de mise en œuvre de cette dérogation ministérielle est transmis à la Direction de l'eau et de la biodiversité le 31 décembre de chaque année.

Article 4 : Durée de la dérogation

La présente dérogation ministérielle est délivrée jusqu'au 31 décembre 2017.

Article 5 : Droits de recours

Les droits des tiers sont et demeurent expressément réservés.

Le présent arrêté peut faire l'objet d'un recours par le bénéficiaire, dans un délai de deux mois à compter de sa notification, devant la juridiction compétente.

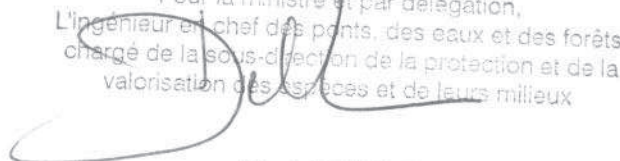
Article 6 : Exécution

Le Directeur de l'eau et de la biodiversité est chargé de l'application du présent arrêté, qui sera publié au recueil des actes administratifs de la préfecture de chaque département concerné.

Fait le 06 MAR. 2013

La Ministre de l'Ecologie,
du Développement Durable
et de l'Energie

Pour la ministre et par délégation,
L'ingénieur en chef des ponts, des eaux et des forêts
chargé de la sous-direction de la protection et de la
valorisation des espèces et de leurs milieux



Paul DELDUC



PRÉFET DE PARIS

ARRETE n° DRIEE-2013058.0005

Autorisant le Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (CRBPO) à procéder à des captures à des fins scientifiques ou à des captures pour des programmes de conservation et de restauration des oiseaux dont la chasse est autorisée

**Le Préfet de la Région d'Ile-de-France
Préfet de Paris
Commandeur de la Légion d'Honneur,
Commandeur de l'Ordre National du Mérite,**

- VU** Le code général des collectivités territoriales notamment les articles L.2512-17 et L.2521-3 ;
- VU** Le code de l'environnement, notamment les articles L.421-1, R.413-24 à R.413-50 ;
- VU** Le code rural et de la pêche maritime ;
- VU** Le décret n°2004-374 du 29 avril 2004 modifié relatif aux pouvoirs des préfets, à l'organisation et à l'action des services de l'Etat dans les régions et départements ;
- VU** Le décret du 19 décembre 2012 portant nomination de Monsieur Jean DAUBIGNY, préfet de la région Ile-de-France, préfet de Paris ;
- VU** L'arrêté du 25 octobre 1982 relatif à l'élevage, la garde et la détention des animaux ;
- VU** L'arrêté du 26 juin 1987 modifié fixant la liste des espèces de gibier dont la chasse est autorisée ;
- VU** L'arrêté du 17 février 1989 fixant la liste des espèces de gibier dont la chasse est autorisée sur le territoire du département de la Guadeloupe ;
- VU** L'arrêté du 17 février 1989 fixant la liste des espèces de gibier dont la chasse est autorisée sur le territoire du département de la Martinique ;
- VU** L'arrêté du 10 août 2004 fixant les conditions d'autorisation de détention d'animaux de certaines espèces non domestiques dans les établissements d'élevage, de vente, de location, de transit ou de présentation au public d'animaux d'espèces non domestiques ;
- VU** L'arrêté du 7 juillet 2006 modifié portant sur l'introduction dans le milieu naturel de grand gibier ou de lapins et sur le prélèvement dans le milieu naturel d'animaux vivants d'espèces dont la chasse est autorisée ;
- VU** L'arrêté du 17 mars 2008 modifiant l'arrêté du 7 juillet 2006 ;
- VU** L'avis de la fédération nationale des chasseurs en date du 5 décembre 2012 ;
- VU** Les compléments fournis par le CRBPO en date du 10 janvier 2013 (avis du comité éthique sur la saisine et étude sur l'évaluation des captures au filet) ;
- Sur** proposition du directeur régional et interdépartemental de l'environnement et de l'énergie d'Ile-de-France,

ARRETE

ARTICLE PREMIER

Dans le cadre des programmes de recherche et de suivi de populations d'oiseaux et sans préjudice d'autres réglementations, le centre de recherches sur la biologie des populations d'oiseaux (CRBPO) est autorisé à procéder à la capture à des fins scientifiques, ainsi qu'aux transport, prises de sang, anesthésie, marquage, pose d'appareils d'enregistrement et/ou de localisation, prélèvement de poils ou de plumes sur toutes les espèces chassables d'oiseaux vivants ou morts sur l'ensemble du territoire national, métropole et outre-mer.

ARTICLE 2

Pour les opérations d'identification et de transport d'animaux morts ou vivants liés à l'article 1, le directeur du CRBPO désigne, outre ses agents, les personnes auxquelles il confie la conduite des opérations de terrain. Ces personnes devront posséder les compétences en zoologie nécessaires à leur bonne réalisation. Il attribue à chacune un document administratif faisant référence à la présente autorisation et sur lequel sont précisés les départements et les espèces sur lesquels le titulaire de l'autorisation est habilité à intervenir.

ARTICLE 3

Les oiseaux peuvent être capturés par tous moyens appropriés.

ARTICLE 4

Le présent arrêté est valable pour une durée de cinq années et prendra effet dès sa publication.

ARTICLE 5

Le préfet, secrétaire général de la préfecture de la région d'Ile de France, préfecture de Paris, les directeurs départementaux des territoires et le directeur du CRBPO sont chargés de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au recueil des actes administratifs de la préfecture de la région d'Ile de France, préfecture de Paris, accessible à l'adresse suivante : www.ile-de-france.gouv.fr

ARTICLE 6

Le présent arrêté peut faire l'objet d'un recours contentieux devant le tribunal administratif de Paris dans un délai de deux mois à compter de sa publication.

Paris, le

27 FEV. 2013

Pour le préfet de la région d'Ile de France,
préfet de Paris, et par délégation
le préfet, secrétaire général de la préfecture de la région d'Ile de France,
préfecture de Paris

Bertrand MUNCH



JORF n°0004 du 6 janvier 2015 page 192
texte n° 4

ARRETE

Arrêté du 18 décembre 2014 fixant les conditions et limites dans lesquelles des dérogations à l'interdiction de capture de spécimens d'espèces animales protégées peuvent être accordées par les préfets pour certaines opérations pour lesquelles la capture est suivie d'un relâcher immédiat sur place

NOR: DEVL1414192A

ELI:

<http://legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2014/12/18/DEVL1414192A/jo/texte>

La ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et le ministre de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, porte-parole du Gouvernement,
Vu le code de l'environnement, notamment ses articles L. 411-1, L. 411-2, R. 411-1 à R. 411-14 et R. 412-11 ;
Vu l'arrêté du 19 février 2007 modifié fixant les conditions de demande et d'instruction des dérogations définies au 4° de l'article L. 411-2 du code de l'environnement portant sur des espèces de faune et de flore sauvages protégées ;
Vu l'avis du Conseil national de la protection de la nature,
Arrêtent :

Article 1

Le présent arrêté fixe les conditions et limites dans lesquelles des dérogations à l'interdiction de capture de spécimens d'espèces animales protégées peuvent être accordées par les préfets sans consultation du Conseil national de la protection de la nature.

Il s'applique lorsque les conditions suivantes sont satisfaites :

1° La capture est suivie d'un relâcher immédiat sur place ; et

2° Les opérations sont conduites :

- a) Par un établissement public ayant une activité de recherche, pour la réalisation d'inventaires de populations d'espèces sauvages dans le cadre d'études scientifiques ; ou
- b) Pour la réalisation d'inventaires de populations d'espèces sauvages dans le cadre de l'évaluation préalable et du suivi des impacts sur la biodiversité de projets de travaux, d'ouvrages et d'aménagements ; ou
- c) Pour la réalisation d'inventaires de populations d'espèces sauvages dans le cadre de l'élaboration ou du suivi de plans, de schémas, de programmes ou d'autres documents de planification nécessitant l'acquisition de connaissances ou visant à la préservation du patrimoine naturel prévus par des dispositions du code de l'environnement.

Le présent arrêté ne s'applique pas aux opérations régies par les articles R. 411-7 et R. 411-8 du code de l'environnement.

Article 2

Dans les cas décrits au a du 2° de l'article 1er, le programme scientifique dans le cadre duquel sont pratiquées les opérations doit s'inscrire dans la stratégie de recherche de l'établissement public dont relève le responsable dudit programme et bénéficier d'un avis favorable de l'instance habilitée à se prononcer sur la validité des programmes de recherches au sein de cet établissement public.

Dans les cas décrits au b du 2° de l'article 1er, les protocoles d'inventaires sont établis par des personnes morales ou physiques dûment mandatées par les responsables des projets de travaux, d'ouvrages et d'aménagements, pour la réalisation de tels inventaires.

Dans les cas décrits au c du 2° de l'article 1er, les protocoles d'inventaires sont établis par des personnes morales ou physiques dûment mandatées par l'autorité désignée par le code de l'environnement pour élaborer le plan, le schéma, le programme ou le document de planification considéré.

Article 3

Les opérations de capture doivent être strictement limitées à ce qui est nécessaire pour atteindre l'objectif

recherché.

Le demandeur doit démontrer qu'aucune autre méthode satisfaisante qui éviterait une intervention sur les animaux ne peut se substituer aux opérations de capture.

Dans les cas décrits au b et au c du 2^o de l'article 1er, le protocole d'inventaire doit permettre de qualifier correctement le niveau des populations et l'importance de celles-ci au regard de l'état de conservation des espèces concernées en tenant compte de leur biologie et de leurs cycles biologiques.

Article 4

Les personnes réalisant les opérations de capture, marquage éventuel et relâcher immédiat sur place doivent justifier qu'elles ont suivi une formation adaptée aux espèces concernées par les opérations, dispensée par une ou plusieurs personnes dont la compétence pour la capture, le marquage lorsque celui-ci est pratiqué et le relâcher immédiat de spécimens des espèces ou des groupes d'espèces considérés a été vérifiée par le service chargé de l'instruction de la demande de dérogation, en considération notamment de titres universitaires, d'agréments ou d'habilitations administratifs.

Cette formation comprend :

- un enseignement théorique sur les sujets suivants :
 - anatomie, biologie et comportement ;
 - contention, manipulation, procédés d'identification et de marquage ;
 - sécurité des personnes ;
 - conservation des espèces menacées ;
 - réglementation et déontologie ;
- un apprentissage pratique aux techniques de capture, de marquage lorsque celui-ci est pratiqué et de relâcher d'animaux dans le milieu naturel.

La durée de la formation doit permettre d'acquérir une parfaite maîtrise de la manipulation et du marquage lorsque celui-ci est pratiqué, des animaux capturés et relâchés afin d'éviter toute blessure et toute mortalité. Les personnes réalisant les opérations fournissent à l'appui de leur demande les éléments permettant d'apprécier le respect des conditions des précédents alinéas.

Article 5

Les captures doivent être réalisées selon des modalités et à l'aide de moyens n'occasionnant aucune blessure ni mutilation aux animaux capturés.

Le marquage éventuel des animaux doit être réalisé selon des techniques et à l'aide de matériels limitant le stress, n'occasionnant ni de blessure ni de mutilation. Les matériels de marquage doivent être adaptés à la taille et au mode de vie des animaux afin de ne pas perturber ces derniers après leur relâcher.

Pour les oiseaux, le marquage doit être réalisé conformément aux prescriptions fixées en annexe au présent arrêté.

Article 6

Les périodes des opérations de capture, de marquage éventuel et de relâcher sur place ne doivent pas entraîner de perturbation dans le cycle biologique des espèces concernées.

Article 7

Lorsque dans sa demande, le bénéficiaire de la dérogation a déclaré vouloir mettre à disposition ses données d'inventaire, il doit mettre ses données d'observation d'espèces à disposition des directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement et du Muséum national d'histoire naturelle dans les conditions définies par le système d'information sur la nature et les paysages, notamment en ce qui concerne les règles de dépôt, de formats de données et de fichiers applicables aux métadonnées et données élémentaires d'échange relatives aux occurrences d'observation d'espèces.

Article 8

La dérogation précise :

- les espèces ou groupes d'espèces pour lesquels est autorisée la capture suivie de relâcher immédiat sur place des spécimens ;
- le nombre et le sexe lorsque celui-ci est déterminable, de spécimens dont la capture et le marquage éventuel est autorisée pour les espèces qui sont réputées avoir de faibles effectifs dans l'aire de déplacement naturel des noyaux de populations concernés ;
- les modes et moyens utilisés pour la capture, le marquage lorsque celui-ci est pratiqué et le relâcher ;

- une pression d'inventaire maximale exprimée en temps passé sur le terrain et en nombre de personnes autorisées à procéder simultanément aux opérations.

Article 9

Lorsque la dérogation est accordée pour une seule opération d'inventaire, le bénéficiaire adresse au préfet, dans les trois mois après la fin de l'opération, un rapport sur la mise en œuvre de la dérogation. Ce rapport comprend :

- les dates et les lieux par commune des opérations ;
- le nombre de spécimens capturés de chaque espèce, le sexe lorsque ce dernier est déterminable, les lieux de capture-relâcher et, s'il y a lieu, le mode de marquage utilisé ;
- le nombre d'animaux morts au cours des opérations ;
- le nombre d'animaux non visés dans la dérogation et néanmoins pris dans les matériels de capture au cours des opérations.

Lorsque la dérogation a été accordée pour la réalisation de plusieurs opérations d'inventaires et pour une durée supérieure à un an, le bénéficiaire adresse au préfet chaque année avant le 31 mars un rapport sur la mise en œuvre de la dérogation au cours de l'année précédente. Ce rapport précise :

- le nombre d'opérations conduites au cours de l'année sous couvert de la dérogation ;
- les dates et les lieux par commune des opérations ;
- les espèces ou groupes d'espèces dont la présence a été identifiée ;
- pour les espèces qui sont réputées avoir de faibles effectifs dans l'aire de déplacement naturel des noyaux de populations concernés, le nombre de spécimens capturés de chaque espèce, le sexe lorsque ce dernier est déterminable et, s'il y a lieu, le mode de marquage utilisé ;
- le nombre d'animaux morts au cours des opérations ;
- le nombre d'animaux non visés dans la dérogation et néanmoins pris dans les matériels de capture au cours des opérations.

Article 10

Le présent arrêté s'applique sans préjudice des dispositions de l'article R. 412-11 du code de l'environnement et des textes pris pour son application.

Article 11

Le directeur général de l'aménagement, du logement et de la nature et la directrice générale des politiques agricole, agroalimentaire et des territoires sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

► Annexe

ANNEXE PROCÉDÉS DE MARQUAGE DES OISEAUX

Pour permettre un suivi homogène et coordonné des spécimens marqués lors d'opérations d'inventaires, les oiseaux doivent être marqués à l'aide des procédés décrits ci-après.

1. Procédés de marquage des oiseaux par bagues métalliques numérotées

Les oiseaux sont marqués à l'aide d'une bague métallique gravée d'un identifiant unique portant l'intitulé « MUSEUM PARIS » ou « CRBPO ». Les bagues métalliques sont distribuées par le Centre de recherche sur la biologie des populations d'oiseaux (CRBPO) du Muséum national d'histoire naturelle, en lien avec la coordination scientifique et administrative européenne EURING. Le CRBPO assure l'unicité des codes inscrits sur les bagues.

La bague métallique numérotée est mise en place sur le tarse ou le tibia en fonction des espèces. La bague doit être fermée à l'aide d'une pince adéquate, de manière à ne pas former de rupture ou de jour. La forme, le diamètre, la hauteur, l'épaisseur et le métal de la bague sont fixés en fonction de l'espèce et du sexe auxquels la bague est destinée. Les oiseaux ne sont bagués qu'à partir du moment où le tarse est de taille adulte.

Une seule bague métallique numérotée est posée par individu.

Les bagues ne doivent pas être enlevées, sauf si la bague d'origine :

- est très amincie, risquant de se détacher au cours des semaines ou mois suivants ;
- est en grande partie illisible ou effacée, son prélèvement devenant nécessaire pour être lue par des moyens techniques, physiques ou chimiques spéciaux ;
- blesse l'oiseau.

La bague d'origine est alors transmise au CRBPO, et remplacée par une bague nouvelle.

2. Procédés de marquage des oiseaux par bagues de couleur ou codées

Les oiseaux peuvent être marqués à l'aide d'une bague de couleur ou codée lorsque la morphologie et le comportement permettent l'identification individuelle à distance, et que le programme scientifique dans lequel s'inscrit cette opération le justifie.

La conception, le matériau et la technique d'impression du codage doivent garantir leur résistance à l'usure et assurer la permanence des codes qui y sont portées, compte tenu de la longévité, du mode et du milieu de vie des oiseaux qui en sont munis.

La bague de couleur ou codée peut être posée sur des oiseaux déjà équipées d'une bague métallique à identifiant unique (« MUSEUM PARIS » ou « CRBPO » pour la France).

La bague de couleur ou codée est mise en place sur le tarse ou le tibia en fonction des espèces. La forme, le diamètre, la hauteur et l'épaisseur de la bague sont fixés en fonction de l'espèce ou du groupe d'espèces d'oiseaux auxquels la bague est destinée. Les oiseaux ne sont bagués qu'à partir du moment où le tarse est de taille adulte.

Pour les espèces migratrices, le code de couleur utilisé doit être unique à l'échelle de l'aire de distribution de l'espèce, et défini en accord avec les éventuels coordinateurs de programmes existants à l'échelle internationale, pour ne pas créer de doublons.

3. Procédés de marquage des oiseaux par marques alaires, nasales, ou colliers

Les oiseaux peuvent être marqués à l'aide d'une marque alaire, nasale, ou d'un collier lorsque la morphologie et le comportement permettent une identification individuelle à distance, et que le programme scientifique dans lequel s'inscrit cette opération le justifie.

La conception, le matériau et la technique d'impression du marquage doivent garantir leur résistance à l'usure et assurer la permanence des codes qui y sont portées, compte tenu de la longévité, du mode et du milieu de vie des oiseaux qui en sont munis.

La marque peut être posée sur des oiseaux déjà équipées d'une bague métallique à identifiant unique (« MUSEUM PARIS » ou « CRBPO » pour la France).

Le type de marquage utilisé (marque alaire, nasale, ou collier) sont fixés en fonction de l'espèce, du mode et du milieu de vie des oiseaux auxquels le marquage est destiné.

Pour les espèces migratrices, le code utilisé doit être unique à l'échelle de l'aire de distribution de l'espèce, et défini en accord avec les éventuels coordinateurs de programmes existants à l'échelle internationale, pour ne pas créer de doublons.

Fait le 18 décembre 2014.

La ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie,

Pour la ministre et par délégation :

Le directeur de l'eau et de la biodiversité,

L. Roy

Le ministre de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, porte-parole du Gouvernement,

Pour le ministre et par délégation :

Le chef du service de la stratégie agroalimentaire et du développement durable,

E. Giry

MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE



ARRETE N° 13-14J

Le directeur général,

Vu le code de l'éducation ;

Vu le décret n°2001-916 du 3 octobre 2001 relatif au Muséum national d'histoire naturelle ;

Vu le décret du 17 décembre 2010 portant nomination du directeur général du Muséum national d'histoire naturelle ;

Sur proposition du directeur du département Ecologie et gestion de la biodiversité,

Arrête

Article 1^{er} :

Monsieur **Frédéric JIGUET** est nommé directeur du Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (CRBPO).

Article 2 :

Le directeur général des services est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au *Recueil des actes du Muséum* et notifié à l'intéressé.

Fait à Paris, le 26 février 2013


Thomas Grenon





**Comité Cuvier d'éthique
en matière d'expérimentation animale**



Muséum National d'Histoire Naturelle

1801 SORBONNE UNIVERSITÉS

DÉCISIONS ET AVIS ÉTHIQUE DU COMITÉ CUVIER

Cadre réservé au comité d'éthique : N° 68

Date de saisine : 16/11/2012 Réunion du 6/12/2012
Titre : **Capture et baguage des oiseaux sauvages en France**
Responsable : Frédéric JIGUET

N° attribué par le comité d'éthique (et n° de version si besoin) : **68-003**

Espèce concernée : Toutes les espèces d'oiseaux en France.

Avis : ☒ **Favorable** ☐ Non favorable en l'état

Commentaires :

Avis favorable pour les procédures décrites dans la saisine (capture, baguage et recapture, frottis et prélèvements de plumes et technologies embarquées externes). Mais toutes autres procédures invasives visant à effectuer des prélèvements de sang, de tissus, d'organes ou d'injections de substances ou de matériels étrangers devront faire l'objet d'une demande de saisines spécifiques.

Retour d'informations requis sur le(s) point(s) :

Proposition de reclassement d'une ou plusieurs procédures expérimentales selon leur degré de gravité

oui ☐
non ☒

Procédures reclassées et proposition de reclassement :

- procédure n° 3
- reclassement : de légère à modérée

Le projet nécessitera t'il une appréciation rétrospective* :

oui ☐
non ☒

Si la réponse est oui, à quel moment celle-ci doit intervenir ?

- ☐ obligatoire si le projet utilise des primates non humains
- ☐ obligatoire si le projet implique au moins une procédure de classe sévère
- ☐ non obligatoire si le projet comprend uniquement des procédures de classe « légère » ou « sans réveil »
- ☐ laissée à l'appréciation du comité si le projet comprend au moins une procédure de classe « modérée ».

*Date et signature du
président du Comité
d'Ethique appliqué à
l'Expérimentation
Animale du Muséum
National d'Histoire
Naturelle de Paris*

*Ce présent Avis est
valable pendant 5 ans :
09 Déc 2017*

Date : 10/12/2012

Signature : A de LUZE

A de LUZE
**Comité
Cuvier**

.....
Phone: 33 (0)1 40 79 36 08
Fax: 33 (0)1 40 79 36 18
port: 33 (0)6 64 78 06 69
cometh.cuvier@mnhn.fr

REGLEMENT INTERIEUR DU CRBPO RELATIF A L'AUTORISATION DE CAPTURE D'OISEAUX POUR BAGUAGE ET MARQUAGE

Articles généraux

Article 1

Par dérogation à la Loi sur la Protection de la Nature et aux dispositions réglementaires qui l'accompagnent, et conformément à la législation française sur le bien-être et l'expérimentation animale, la capture et le marquage d'oiseaux sauvages à des fins d'études et de recherche est permise en tous temps sur autorisation officielle délivrée par le CRBPO, autorité compétente désignée par le Ministère chargé de la Protection de la Nature (MPN). Cette activité est dénommée ci-après 'bagueage'. Le bagueage des oiseaux est une technique au service de la recherche scientifique. Les informations acquises dans le cadre de cette activité se doivent d'être valorisées d'un point de vue scientifique.

Article 2

Toute personne baguant des oiseaux sauvages à des fins scientifiques doit obligatoirement être titulaire d'une autorisation officielle de capture conformément à l'article 1 du présent règlement. Cette autorisation de capture sera dénommée ci-après 'permis de bagueage'. Elle est délivrée par le CRBPO. Elle est strictement personnelle. La capacité de baguer des oiseaux ne peut être déléguée par le bagueur titulaire à une tierce personne, sauf en sa présence et sous sa responsabilité, dans le cadre de formation ou d'assistance.

Article 3

L'attribution du permis de bagueage et l'apposition de la signature du bagueur implique l'acceptation formelle du présent règlement. Le permis de bagueage est délivré annuellement, et porte mention du millésime. Chaque permis, pour être valable, doit être obligatoirement revêtu de la signature du titulaire.

Article 4

La possession du permis de bagueage n'autorise pas les manipulations d'oiseaux ne relevant pas de la stricte pratique du bagueage (comme les pratiques relevant de l'expérimentation animale, incluant notamment les prélèvements sanguins, des manipulations portant atteinte à l'intégrité des individus, manipulations de nichée, translocation des individus capturés, mise en captivité, même temporaire, à l'exclusion des conditions mentionnées dans l'article 17). De tels travaux, pour être pratiqués par un titulaire de permis de bagueage, doivent faire l'objet d'autorisations spéciales accordées par le MPN et la validation de la procédure par un comité d'éthique. Le CRBPO doit recevoir une copie des éventuels avis favorables reçus pour effectuer ces manipulations hors du cadre des programmes autorisés par le CRBPO.

Article 5

Dans le cadre de ses activités de bagueage, le bagueur n'est pas autorisé à prélever, utiliser ou tuer des oiseaux (même ayant un statut 'nuisible', 'chassable' ou 'introduite'), sauf dans des conditions particulières autorisées par le MPN. Le bagueur n'est pas autorisé à transporter des oiseaux qu'il capture sur des trajets autres que ceux nécessaires à ses opérations de bagueage, sans bénéficier d'autorisations spéciales accordées par le MPN.

Conditions d'attribution du permis de baguage

Article 6

Le permis de baguage est accordé aux personnes reconnues pour leur capacité et leur aptitude à pratiquer cette activité. Le permis de baguage s'acquiert à l'occasion de stages spécialisés de qualification à la pratique du baguage, organisés par ou sous la tutelle du CRBPO. Le permis de baguage ne peut être attribué qu'aux personnes ayant atteint l'âge de la majorité légale de 18 ans.

Renouvellement annuel du permis

Article 7

Le bagueur doit chaque année faire procéder à la validation de son permis par le CRBPO ou l'autorité reconnue, partenaire du CRBPO, dont il dépend, selon les instructions qui lui sont communiquées.

Article 8

Le bagueur a l'obligation de rendre compte sous la forme de documents appropriés des travaux qu'il accomplit. Il remet au CRBPO aussi fréquemment que possible, et au moins une fois par an, ses états de baguage. Il dépose chaque année, le bilan de ses activités selon les instructions que lui fournit le CRBPO.

Conditions d'exercice du baguage

Article 9

Les activités de baguage sur les oiseaux sont conduites en conformité avec les programmes définis par le CRBPO ou agréés par lui (dits 'programmes personnels'), regroupés sous l'appellation *Programme National de Recherches Ornithologiques* (PNRO).

Article 10

Le baguage ne peut être pratiqué sur des terrains privés ou publics sans l'accord des propriétaires, de leurs éventuels ayants droit et des gestionnaires de ces sites.

Article 11

Le baguage dans les espaces réservés (Parcs nationaux à l'exclusion des zones cœurs, Réserves naturelles, sites Natura 2000, Réserves nationales de chasse et de faune sauvage) ne pourra être pratiqué que s'il s'inscrit dans le cadre des plans d'études, de recherches ou de gestion de ces espaces. Le CRBPO devra se voir communiquer 1) une copie de l'autorisation spéciale accordée par le responsable de cet espace, 2) une justification indiquant que le programme d'étude impliquant le baguage s'inscrit bien dans le cadre du plan de gestion ou d'étude de l'espace réservé. Le bagueur devra présenter un bilan annuel de ses activités de baguage dans tout espace réservé au gestionnaire de ce territoire.

Article 12

Pour toute action de baguage envisagée en zone cœur de Parc National (tous les programmes, pas seulement les programmes personnels), le bagueur doit obtenir une autorisation écrite de la part de la direction scientifique du parc national concerné. En cas de validation, le CRBPO devra se voir communiquer une copie de cette autorisation, et le bagueur s'engage à fournir à la direction du Parc National un bilan annuel de ses activités de baguage en zone cœur, dont le contenu sera discuté avec le Parc National.

Article 13

Le bagueur a la possibilité de se faire assister par des aides ne possédant pas de permis de baguage du CRBPO ou par des personnes en formation agissant sous sa responsabilité. En revanche, il lui est strictement interdit d'utiliser la technique du baguage à des fins de démonstration ou au titre d'une quelconque propagande. Les actions visant à médiatiser l'activité de recherche par le baguage ne seront rendues possibles qu'après demande écrite auprès du CRBPO qui devra répondre dans un délai d'un mois. En l'absence de réponse, le CRBPO sera réputé d'accord. Le bagueur veillera alors à n'accepter à ses côtés qu'un nombre de personnes limité à cinq. Cette disposition ne s'applique pas dans le cadre des stages agréés de formation ou de qualification au baguage.

Organisation du baguage en France

Article 14

Le territoire national a été divisé en 'délégations régionales', avec à leur tête un délégué régional. Ce dernier est désigné par le CRBPO après résultat d'un vote à la majorité des bagueurs (spécialistes et généralistes ayant un permis valide pour l'année) de la zone géographique concernée. La liste de ces électeurs est fournie par le CRBPO. Tout bagueur généraliste issu de cette liste peut être candidat. Le mandat du délégué régional est de quatre ans. Chaque délégué régional a en charge le relai local des consignes nationales du CRBPO, la représentation de l'ensemble des collaborateurs de sa délégation auprès du CRBPO, notamment à la réunion annuelle des délégués régionaux, la promotion de la formation de nouveaux bagueurs, l'animation et l'encadrement de l'activité scientifique des bagueurs, la transmission des résultats des travaux d'études et de recherche et l'aide technique aux bagueurs. L'interlocuteur privilégié du bagueur est son délégué régional.

Conditions de capture des oiseaux sauvages

Article 15

Le titulaire d'un permis de baguage se doit d'être respectueux des oiseaux en s'interdisant d'utiliser des moyens et des engins de capture traumatisants ou risquant d'être blessants ou mortels, et mettant en œuvre les techniques disponibles et autorisées minimisant le stress infligé aux oiseaux capturés, en respect de la transcription dans le droit français de la Directive Européenne 2010/63/UE du 22/9/2010 sur le bien-être animal.

Article 16

Le titulaire d'un permis de baguage surveille attentivement ses dispositifs de capture ; il veille en particulier à ne pas espacer ses visites de contrôle de plus d'une demi-heure et doit raccourcir ce délai lorsque les conditions locales peuvent affecter négativement la survie des oiseaux captifs. Dans le cas où des nasses sont utilisées (anatidés, limicoles), le délai entre visites des installations de capture peut être alors plus important et ajusté aux circonstances de piégeage.

Article 17

Le titulaire d'un permis de baguage prend soin de relâcher le plus rapidement possible les oiseaux capturés. Il veille à libérer les oiseaux à proximité immédiate du lieu de capture. Lors d'opérations spéciales de capture mettant en œuvre des engins particuliers

comme les filets projetés, les nasses, les systèmes fondés sur la repasse de chants ou de cris, la quantité d'oiseaux susceptibles d'être capturés pouvant être importante, les délais de remise en liberté des oiseaux peuvent atteindre plusieurs heures (p. ex. opérations de captures massives au crépuscule). Les oiseaux sont alors conservés dans les meilleures conditions de confort et de sécurité pour être impérativement relâchés dès le lendemain matin. En aucun cas, le délai de rétention des oiseaux capturés au cours de ces séances spéciales ne doit excéder 12 heures.

Article 18

Sauf cas très particuliers soumis à l'approbation du CRBPO et des autorités compétentes, le bagueur n'est pas autorisé à détenir, transporter et utiliser des oiseaux servant d'appelants vivants pour faciliter les captures d'espèces d'oiseaux sauvages, qu'il s'agisse d'espèces chassables, protégées ou déclarées nuisibles.

Article 19

L'utilisation de leurres acoustiques est possible uniquement dans le cadre des protocoles définis par le CRBPO ou ayant reçu son agrément. Sauf mention contraire dans le protocole de suivi validé par le CRBPO, les leurres acoustiques ne sont pas autorisés la nuit (du coucher du jour à une heure avant le lever du jour) durant les périodes de migration.

Article 20

Le bagueur n'est pas autorisé à recourir à des substances chimiques, narcotiques en particulier, dans le but de faciliter la capture des oiseaux, sauf dans des cas très particuliers qui sont soumis à examen et autorisation par le CRBPO et les autorités compétentes.

Conditions d'attribution et d'utilisation des bagues

Article 21

Le CRBPO fournit aux bagueurs les bagues métalliques frappées d'un numéro d'identifiant unique (et portant l'intitulé 'MUSEUM PARIS', 'OIS. MUS. PARIS' ou 'CRBPO') nécessaires à leurs activités autant que de besoin et dans la mesure de ses possibilités techniques, matérielles et pécuniaires. L'utilisation de ces bagues n'est autorisée que par les collaborateurs ou les partenaires du CRBPO dûment autorisés, dans le territoire géographique indiqué sur leurs permis. Le titulaire d'un permis de baguage accrédité par le CRBPO n'est en aucun cas autorisé à utiliser en France métropolitaine et dans les Départements et Territoires d'Outre-Mer des bagues métalliques autres que celles que lui remet le CRBPO, exception faite des marques colorées utilisées en complément au baguage ordinaire. Au moins une bague délivrée par le CRBPO doit être posée sur les oiseaux capturés.

Article 22

Les marquages individuels supplémentaires (tels que bagues de couleur et tout autre marque lisible à distance, marquages électroniques) doivent recueillir l'agrément préalable du CRBPO. Un compte rendu précis de leur utilisation et des résultats doit lui être fourni. Les marquages supplémentaires autorisés sont indiqués sur le permis de capture.

Article 23

En cas de contrôle d'un oiseau déjà bagué (bague française ou étrangère), la pose d'une autre bague est interdite, excepté lorsque la bague d'origine est 1) très amincie, risquant de se détacher au cours des semaines ou mois suivants, 2) en grande partie illisible ou

effacée, son prélèvement devenant nécessaire pour être lue par des moyens techniques spéciaux, 3) blessante pour l'oiseau. La bague d'origine est alors transmise au CRBPO, remplacée par une bague nouvelle et la correspondance entre les deux bagues est transmise au CRBPO.

Article 24

Les bagueurs français ne peuvent en aucun cas utiliser des bagues du CRBPO sur le territoire d'un pays étranger doté d'un centre national de baguage. Dans les autres pays, une consultation du CRBPO est indispensable pour définir les démarches et les règles à observer.

Propriété des données d'oiseaux bagués

Article 25

Une donnée de baguage, contrôle, ou reprise est un ensemble d'informations concernant un oiseau qui a été bagué. (i) Une donnée de baguage comprend: le matricule de bague, les compléments éventuels au baguage (marquage coloré, marquages électroniques), l'espèce, la date et la localité de baguage, les circonstances du baguage, et les informations complémentaires éventuelles concernant l'oiseau (sexe, âge, mesures biométriques, état physiologique). (ii) Un contrôle est un acte de recapture physique, visuelle ou électronique d'un oiseau vivant déjà bagué, soit par le bagueur lui-même, soit par une autre personne au sein du même programme personnel (il s'agit alors d'un auto-contrôle), soit par un autre bagueur/personne (il s'agit alors d'un allo-contrôle). (iii) Une reprise concerne un oiseau bagué retrouvé mort. Une donnée de reprise comporte l'ensemble des informations concernant cet oiseau.

Article 26

Toutes les données liées au baguage doivent être déposées auprès du CRBPO pour être incluses dans la base informatique nationale. Ces données incluent l'ensemble des données de baguage, l'intégralité des contrôles (y compris visuels ou électroniques) et de reprises d'oiseaux bagués. Le CRBPO a la responsabilité de documenter et valider les allo-contrôles et reprises d'oiseaux bagués sur mention du matricule de bague métallique. Il en informe le bagueur, l'auteur du contrôle ou de la reprise et la centrale nationale de baguage existante si la donnée concerne un autre pays que la France. Le CRBPO se charge de la protection des données.

Article 27

La propriété des données issues des opérations de baguage (baguages, contrôles, reprises) s'exerçant dans le cadre du PNRO (y compris des programmes personnels n'ayant pas demandé la privatisation des données) est commune à l'inventeur (bagueur, informateur) et au CRBPO. Le CRBPO dispose de ces données pour développer toute analyse, étude ou recherche qu'il juge opportune, ou pour les transmettre à des tiers sur demande justifiée. Si parmi les données concernées, plus de 10% d'entre elles appartiennent au même bagueur, le CRBPO devra proposer à ce dernier d'être co-auteur des publications en découlant. Toute publication doit, en outre, mentionner les noms des bagueurs propriétaires des données, dans la mesure du possible. Le bagueur est encouragé à la valorisation scientifique de ses propres données. Tous les binômes de données baguage-reprise, et baguage-contrôle à plus de 50 km du lieu de baguage seront systématiquement transmis à la banque de données d'EURING, sans consultation préalable. Le CRBPO ne peut être tenu responsable de la diffusion ou l'utilisation de ces données par EURING.

Article 28

La propriété des données résultant des travaux menés dans le cadre d'un programme personnel, agréé par le CRBPO, est réservée à son responsable, dans la mesure où il a souhaité leur privatisation et où il s'engage à leur valorisation. Ces données sont dites 'privées'. Le CRBPO peut faire état des nombres d'oiseaux bagués, de contrôles et de reprises dans ses bilans et comptes-rendus annuels. Les données de reprise ou allo-contrôle renseignées auprès de l'observateur par le CRBPO (c'est-à-dire qu'elles ont été transmises directement par des observateurs au CRBPO, avec mention du matricule de la bague métallique, et sans l'intervention du responsable du programme personnel) sont dites 'publiques' du fait de l'intervention d'au moins deux acteurs externes au programme personnel (l'observateur et le CRBPO). Toutes les données générées par un programme personnel deviennent publiques cinq ans après la clôture de ce programme personnel. Un éventuel renouvellement de cinq ans de privatisation de ces données peut être demandé au CRBPO par le responsable du programme personnel, dans la 5^e année après l'arrêt du programme personnel. Les termes de l'article 27 s'appliquent à toutes les données dites 'publiques' issues des programmes personnels.

Article 29

Les délégués régionaux voulant réaliser une étude à partir des données de leur région doivent recueillir l'accord de tous les bagueurs propriétaires des données concernées. Ils ne peuvent en aucune manière rétrocéder ces données sans l'accord de l'intégralité des propriétaires des données.

Conditions de suspension du permis de baguage

Article 30

A la demande du bagueur, ou par décision prise en concertation avec le CRBPO, celui-ci peut être appelé à suspendre son activité pendant une ou plusieurs années. Dans ce cas, il restitue la totalité des bagues non utilisées au CRBPO. Les filets attribués gratuitement au bagueur par le CRBPO devront lui être retournés en l'état.

Article 31

Si cette suspension d'activité ne dépasse pas cinq années, le permis de baguage est réattribué sur simple demande auprès du CRBPO. Au-delà de cinq années d'arrêt, il sera obligatoire de suivre au moins une session de recyclage dont les modalités seront définies en accord et en concertation avec le CRBPO.

Conditions de retrait du permis de baguage

Article 32

Le bagueur titulaire peut être radié, voire poursuivi devant les tribunaux pour infraction aux lois et règlements relatifs à la protection de la nature et des oiseaux en particulier.

Article 33

Le bagueur peut être radié lorsqu'il ne respecte pas de manière manifeste et prolongée le règlement intérieur du CRBPO.

Article 34

Dans les cas définis aux deux articles précédents, les faits qui sont reprochés au bagueur sont examinés par un Conseil de Discipline qui prend sa décision à la majorité simple de ses membres. Le Conseil de Discipline du CRBPO est constitué pour convocation au cas par cas, à l'initiative du directeur du CRBPO. Il est constitué: (i) du directeur du CRBPO ou de son représentant, (ii) d'une personne désignée par le directeur parmi le personnel du CRBPO, (iii) de deux représentants des délégués régionaux élus à la

majorité simple par le collège des délégués régionaux (à l'exclusion du délégué régional de la région concernée), et (iv) du délégué régional de la région concernée, s'il y en a un. Le mandat des élus est limité au litige à traiter. Le délégué régional de la région concernée ne participe pas au(x) vote(s) de la décision du Conseil de Discipline.

Fait à Paris, le 23/02/2016, le Directeur du CRBPO



Delineating large-scale migratory connectivity of reed warblers using integrated multistate models

Petr Procházka^{1*}, Steffen Hahn², Simon Rolland³, Henk van der Jeugd⁴, Tibor Csörgő⁵, Frédéric Jiguet³, Tomasz Mokwa⁶, Felix Liechti², Didier Vangeluwe⁷ and Fränzi Korner-Nievergelt²

¹Institute of Vertebrate Biology, Academy of Sciences of the Czech Republic, Květná 8, CZ-60365 Brno, Czech Republic,

²Department of Bird Migration, Swiss Ornithological Institute, Seerose 1, CH-6204 Sempach, Switzerland, ³MNHN, Centre d'Ecologie et de Sciences de la Conservation, 55 rue Buffon, CP51 75005 Paris, France,

⁴Dutch Centre for Avian Migration and Demography NIOO-KNAW, Postbus 50, NL-6700 AB Wageningen, The Netherlands,

⁵Department of Anatomy, Cell- and Developmental Biology, Eötvös Loránd University, Pázmány Péter sétány 1/c, H-1117 Budapest, Hungary, ⁶Museum and Institute of Zoology, Ornithological Station, Polish Academy of Sciences, Nadwiślańska 108, 80–680 Gdańsk, Poland, ⁷Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Brussels, Belgium

¹Institute of Vertebrate Biology, Academy of Sciences of the Czech Republic, Květná 8, CZ-60365 Brno, Czech Republic.

E-mail: prochazka@ivb.cz

ABSTRACT

Aim Assessing the extent of large-scale migratory connectivity is crucial for understanding the evolution of migratory systems and effective species conservation. It has been, however, difficult to elucidate the annual whereabouts of migratory populations of small animals across the annual cycle. Here, we use the reed warbler (*Acrocephalus scirpaceus*) as one of the most frequently ringed passerines in Europe to demonstrate how ring re-encounter and geolocator data can be used to effectively quantify range-wide distribution of different populations.

Location Birds were ringed across Europe and re-encountered in Europe, Africa and the Middle East.

Methods We employed multistate models which quantify range-wide distribution of different breeding populations while accounting for the spatial and temporal heterogeneity in the re-encounter probabilities and differential age-specific survival during migratory and non-migratory periods. In addition, we integrated geolocator and breeding abundance data as well as human population density to provide a realistic picture of the year-round distribution of the reed warbler, a trans-Saharan migrant.

Results Our modelling approach revealed frequent use of the western Mediterranean flyway for the majority of western European populations, but a higher absolute number of reed warblers used the eastern flyway. Further, many populations used different stopover areas during post- and pre-breeding migration, resulting in an anticlockwise loop migration pattern.

Main conclusions The integrative modelling framework helped us to depict the range-wide migration pattern more realistically than raw ring re-encounter data would allow.

Keywords

Acrocephalus scirpaceus, band encounter data, bird migration, loop migration, migratory connectivity, ring recovery data, ring recovery model, species distribution, survival.

*Correspondence: Petr Procházka, Institute of Vertebrate Biology, Academy of Sciences of the Czech Republic, Květná 8, CZ-60365 Brno, Czech Republic.
E-mail: prochazka@ivb.cz

INTRODUCTION

Numbers of many long-distance migratory species have dropped considerably over several decades (Robbins *et al.*, 1989; Vickery *et al.*, 2014). To be able to effectively protect migratory animals, it is necessary to describe large-scale patterns of migratory connectivity, that is to which extent

different populations are spatio-temporally linked across the annual cycle (Webster *et al.*, 2002; Bauer *et al.*, 2016). This is indispensable as the degree of migratory connectivity largely affects demographic processes and population dynamics of migrants (Kamp *et al.*, 2015). In species with strong migratory connectivity (Hahn *et al.*, 2013; Hallworth *et al.*, 2015), individuals from a given breeding population use

geographically restricted non-breeding grounds. Such breeding populations can be therefore more sensitive to local unfavourable non-breeding conditions which may directly affect their survival or carry over to the subsequent stages of the annual cycle (Harrison *et al.*, 2011). In contrast, in species with weak migratory connectivity (Kristensen *et al.*, 2013; Stanley *et al.*, 2015), populations mix extensively across the non-breeding grounds, and thus, the effect of localized adverse conditions is more diffuse.

In addition, migratory populations affect the ecosystems on non-breeding grounds by participating in local ecological communities (Bauer & Hoyer, 2014). Migratory individuals can play various roles as predators, prey or vectors of parasites, transporters of nutrients or propagules and thereby substantially impact local ecosystems. These mechanisms connect ecosystems over large distances. To understand such large-scale ecological processes, it is important to quantify how many individuals and what biomass is moving annually between which ecosystems (Dingle, 1996; Hahn *et al.*, 2009).

Despite an urgent need for a more detailed knowledge about annual whereabouts of migratory populations, tracing highly mobile and often small organisms (<30 g) has proven difficult (Bridge *et al.*, 2011), because individual populations of such species spend different periods of the year in different regions of the world. Re-encounter data of vertebrates marked individually have proven to be a useful source of geographically precise information about year-round movements and distribution of migratory species (Bairlein, 2003; Fleming & Eby, 2003). However, due to intrinsic spatio-temporal heterogeneity in marking and re-encounter probabilities (Perdeck, 1977; Fiedler *et al.*, 2004), it is necessary to account for this bias in the data to get a more realistic picture about the location of non-breeding sites (see, e.g., Korner-Nievergelt *et al.*, 2012; Thorup *et al.*, 2014). Other approaches, such as stable isotope analysis or light-level geolocation, have been adopted to describe the patterns of migratory connectivity (e.g. Boulet & Norris, 2006; Hahn *et al.*, 2013; Pekarsky *et al.*, 2015). These methods provide valuable but often limited information; for example, stable isotopes have low spatial resolution and geolocation only samples individuals that survive and return to the capture place after migration.

Here, we employ multistate models which enable researchers to quantify the continent-wide distributions of different populations during different seasons of the year while accounting for the spatial and temporal heterogeneity of ring re-encounter probabilities (Korner-Nievergelt *et al.*, 2012, 2014). For a large proportion of European ring re-encounter data, the number of marked individuals is unknown and has, therefore, hitherto not been analyzed using mark-recapture models. Here, we build on a framework which integrates information from data subsets both with and without known numbers of ringed birds, as well as re-encounters of dead and live birds. We further include information derived from geolocator tracking, allow for season-specific survival of different age classes, introduce

human population density as a covariate for recovery probability in the model and use the size of reed warbler populations to demonstrate the overall importance of different areas for European breeding populations.

The main aim of this study was to show that formal integration of different data sources can provide a large-scale view on migratory movements of a species and identify regions important for specific populations. To achieve this goal, we quantified large-scale migratory connectivity in a Palaearctic–African long-distance migrant, the reed warbler (*Acrocephalus scirpaceus*) across its entire annual cycle using ring re-encounter and geolocator data. Under quantification of migratory connectivity, we here understand the measurements of the proportions of individuals from a specific breeding area migrating to specific non-breeding areas.

The reed warbler is an ideal model species for the study of migratory connectivity, because it ranks among the most frequently ringed migrants in Europe with numerous ring re-encounters (see Methods). In addition, the species shows a prominent migratory divide in central Europe (Zink, 1973; Procházka *et al.*, 2013) and some populations perform loop migration patterns (Schlenker, 1988; Spina & Volponi, 2008; Ożarowska *et al.*, 2011; Zduniak *et al.*, 2013). Based on previous knowledge (Procházka *et al.*, 2008), we expected that the west–east breeding distribution will roughly translate onto the sub-Saharan non-breeding grounds and that spatial distribution during post- and pre-breeding migration will differ for various populations. Despite several previous studies describing regional patterns of reed warbler migration (e.g. Fransson & Stolt, 2005; Andueza *et al.*, 2013; and above), we here explore cross-continental patterns of migratory connectivity of the species within a framework through which the limitations of ring re-encounter data can be overcome.

METHODS

Data sources

Ring re-encounter data

Bird ringing in Europe is coordinated by national ringing schemes which send re-encounter data to the EURING database. An individual bird will produce an entry in the EURING database provided it is marked with a ring, the ring has been re-encountered and the information reported to the national ringing scheme and the ringing scheme has submitted the data to EURING. Hereafter, we use ‘recovery’ as a dead re-encounter of a marked bird, ‘recapture’ as a live re-encounter of a marked bird and ‘re-encounter’ as a collective term for both (Thomson *et al.*, 2009).

The re-encounter data were checked for reliability to remove various types of errors, including those with missing marking or re-encounter data, incorrect country codes and duplicate data. Any obviously erroneous records that could not be unambiguously corrected as well as birds found far

offshore were excluded from further analyses. We further excluded all short-distance re-encounters within 10 km from the place of marking, as local recaptures have been reported inconsistently between different ringers and as there is generally a higher reporting probability of marked birds in the broader surroundings of a ringing station. Inclusion of such re-encounters may lead to overestimation of re-encounter probabilities in the model. We also removed re-encounters with unknown condition as the information whether the bird was re-encountered dead or alive is important for our model (see below). The final dataset comprised 51,612 re-encounters of 47,938 reed warbler individuals reported during 1933–2014 (Table S1 in Supporting Information).

As detailed information about all marked birds is not sent to EURING but the number of individuals that are marked but not subsequently re-encountered is crucial for the estimation of (and correction for) re-encounter probability, we requested numbers of ringed reed warblers summarized per age class, month and year from all EURING ringing schemes. Of these, 16 schemes kindly provided such data for those years which were electronically available.

Geolocator data

Light-level geolocator (SOI-GDL2, Swiss Ornithological Institute, Sempach) data from the non-breeding period concerning 15 individuals from two breeding populations (Germany

$n = 6$, Czech Republic $n = 9$) were available from an ongoing study (P. Procházka *et al.*, in prep.). For all individuals, we removed outlier twilight events outside one interquartile range using the `loessFilter` function, and used the same values of probability threshold (0.8) and minimum staging period (5 days) for the `changeLight` function in the `GEOLIGHT` package (Lisovski & Hahn, 2012) to determine stationary periods. Periods of substantial shading during mid-winter that resulted in unusually short day lengths were discarded from the analyses. Geographical positions of the stationary periods during the non-breeding phase were calculated using sun-elevation angles derived from Hill–Ekstrom calibration (Lisovski *et al.*, 2012). When this approach did not yield sensible sun-elevation angles, we used in-habitat calibration in the breeding areas. We assigned each bird to a corresponding re-encounter area based on the median position during the stationary non-breeding period (Table 1).

Reed warbler population sizes and human population density

To assess the numbers of individuals that use different flyways, we corrected our model estimates using mean reed warbler population sizes available for each European country (BirdLife International, 2004) summed for each breeding population. Hence, we expressed the absolute contribution of each population to the range-wide distribution in each re-encounter season.

Table 1 Sample sizes for the 13 data subsets of re-encounters referring to birds of known age and breeding origin used for modelling. Number of re-encounters shown for individual re-encounter areas (1 = western sub-Saharan West Africa, 2 = eastern sub-Saharan West Africa, 3 = sub-Saharan Central and East Africa, 4 = north-west Africa, 5 = north-east Africa, 6 = Middle East, 7 = south-eastern Europe, 8 = southern Europe, 9 = south-western Europe, 10 = rest of Europe).

		Re-encounters in individual re-encounter areas										
Group	Individuals	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ
Known number of ringed birds												
Recoveries	n = 127											
Nestlings		0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	8
Juveniles		2	1	0	5	4	0	0	0	16	60	88
Adults		0	1	0	1	0	0	1	0	5	23	31
Recaptures	n = 4880											
Nestlings		1	0	0	1	0	0	0	0	14	224	240
Juveniles		0	1	0	7	3	15	47	2	203	3046	3324
Adults		4	0	0	5	0	6	16	1	213	1071	1316
Unknown number of ringed birds												
Recoveries	n = 518											
Nestlings		1	2	0	4	0	0	0	0	28	53	88
Juveniles		3	3	2	22	3	2	4	1	52	169	261
Adults		3	7	0	26	2	1	0	0	36	94	169
Recaptures	n = 6997											
Nestlings		4	0	0	1	0	0	1	0	14	680	700
Juveniles		13	1	2	14	0	3	12	2	216	3471	3734
Adults		19	0	0	16	1	0	4	8	257	2258	2563
Geolocators												
Adults	n = 15	8	5	2	0	0	0	0	0	0	0	15
Σ		58	21	6	102	13	27	85	14	1055	11,156	12,537

As the recovery probability may be influenced by human population density (Korner-Nievergelt *et al.*, 2010), we also extracted human population data (http://simple.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_population_density). We weighted each value by the corresponding country area, averaged these values within each re-encounter area and used them as a covariate for recovery probability in our model.

The modelling approach

We used multistate models to integrate geolocator data, dead and live re-encounters, data with known and unknown numbers of marked individuals and birds marked at different age classes.

Delineation of regions and groups of birds

The annual cycle was divided into four *re-encounter seasons* based on Cramp (1992): (1) pre-breeding migration (March–May), (2) breeding (June–July), (3) post-breeding migration (August–October), and (4) non-breeding period (November–February). The range-wide distribution during different seasons was estimated based on the whole dataset, but we report only results for those individuals marked during the breeding season (June–July; 12,522 re-encounters of 11,604 birds; Table 1) to ensure the breeding (or natal) origin of the birds re-encountered. The vast majority of the birds were recaptured by ringers and released alive (Table 1), and therefore, we used a combined live-and-dead re-encounter model.

We divided Europe into nine areas representing *marking locations* and the species' range into ten regions representing *re-encounter areas* in the model (Table 2). To delineate the areas, we used current knowledge about the reed warbler distribution (Dowsett-Lemaire & Dowsett, 1987) and discretized the regions mostly according to countries' borders. This was necessary as we used country-specific information in the model (human population density, reed warbler population size) and we expected that recovery probability could differ among countries (see fig. 2 in Korner-Nievergelt *et al.*, 2010). By doing so, we attempted to respect the model assumptions that re-encounter probability is homogeneous within a given re-encounter region but can differ among re-encounter regions and seasons.

Survival

We estimated survival across the annual cycle as model parameters within the multistate model (see Appendix S1). Separate survival was estimated for three age classes: nestlings, first-calendar-year birds (hereafter juveniles) and older than first-calendar birds (hereafter adults). Birds of unknown age were assumed to be adults when marked during spring, while those marked during breeding and autumn as juveniles.

Integration of different data sources

Geolocator data were combined with subsets of ring re-encounter data within an integrated migratory connectivity

Table 2 Notations, definitions and parameter names.

Data	
$G_{i,k}$	Numbers of birds from population i tagged with geolocators during breeding that migrated to re-encounter area k for the non-breeding period.
$R_{i,j,q,k}$	Numbers of birds from location i marked with metal rings during season j that are re-encountered in area k during the period q .
$O_{i,j,q,k}$	Observation, umbrella term for $G_{i,k}$ or $R_{i,j,q,k}$.
Indices	
i	Marking location; 1 = Iberia, 2 = British Isles, 3 = western Europe, 4 = central Europe, 5 = Italy, Malta and Corsica, 6 = Scandinavia, 7 = eastern Europe (Poland, Baltic States, Finland, Russia, Belarus and Ukraine), 8 = south-eastern Europe, 9 = Austria and Czech Republic (migratory divide).
j	Marking season; 1 = pre-breeding migration (March–May), 2 = breeding (June–July), 3 = post-breeding migration (August–October). Note that we call groups of birds marked at the same location i during the breeding season ($j = 2$) a 'population'.
q	Re-encounter season; 1 = pre-breeding migration (March–May), 2 = breeding (June–July), 3 = post-breeding migration (August–October), 4 = non-breeding (November–February); note that, for simplicity, we use the term 'non-breeding season' for the non-breeding stationary (wintering) period, that is excluding the two migration seasons.
k	Re-encounter area; 1 = western sub-Saharan West Africa, 2 = eastern sub-Saharan West Africa, 3 = sub-Saharan Central and East Africa, 4 = north-west Africa, 5 = north-east Africa, 6 = Middle East, 7 = south-eastern Europe, 8 = southern Europe, 9 = south-western Europe, 10 = rest of Europe.
Parameters	
$m_{i,j,q,k}$	Proportions of birds from the group or population of birds marked at location i during season j that are in re-encounter area k during season q .
$r_{q,k}$	Recovery probability – probability that a marked bird that died in area k during season q is found and its ring reported to a ringing scheme.
$p_{age,q,k}$	Recapture probability – probability that a bird that has been marked in an age class age and that is using area k during season q is recaptured or re-sighted alive at least once during its life.
$S_{age,period}$	Monthly survival probability dependent on age (nestling, first calendar year, adult) and period (non-migratory vs. migratory season).

model. Separate likelihoods were formulated for each of 13 datasets (1 geolocator dataset and 12 re-encounter datasets, see below), while all models shared the connectivity parameters $m_{i,j,q,k}$ (Table 2). The connectivity parameters measure for each group of birds marked at location i in season j the proportions that occurred in 10 different re-encounter areas ($k = 1, \dots, 10$) during different seasons ($q = 1, \dots, 4$). For a given group of birds (i, j), during a given season (q), the $m_{i,j,q,k=1, \dots, 10}$ sum to 1, $\sum_{k=1}^{10} m_{i,j,q,k} = 1$. We assumed that the 13 datasets were samples of the same super-population. That is, we assumed that the proportions $m_{i,j,q,k}$ were independent of whether the birds were marked with metal rings or tagged with geolocators, independent of whether they were marked as nestlings, juveniles or adults, independent of whether the number of ringed individuals was known or not, and independent of whether the birds were re-encountered alive or dead. Note that $m_{i,j,q=1, \dots, 4, k=1, \dots, 10}$ is a characteristic of the group of birds (i, j), or of populations, not a characteristic of an individual bird. We call groups of birds marked during the breeding season ($j = 2$) at the same location i a 'population'. The product of all 13 likelihood functions was used to obtain the joint posterior distribution of the model parameters using Markov chain Monte Carlo simulations as implemented in JAGS (<http://mcmc-jags.sourceforge.net/>). For the JAGS code of the model, see Appendix S2.

Model structure

The 13 likelihood functions were all product multinomial likelihoods of the form:

$$\prod_i^9 \prod_j^3 \prod_q^4 \text{Multinom}(\mathbf{O}_{i,j,q,k=1, \dots, K} | \mathbf{u}_{i,j,q,k=1, \dots, K}, M_{i,j}),$$

where $O_{i,j,q,k}$ is the number of individuals from the group (i, j) observed in area k during season q . $M_{i,j}$ is the total number of birds in group (i, j), and $\mathbf{u}_{i,j,q,k=1, \dots, K}$ is a vector of probabilities, with $K = 10$ for the geolocator data and the ring re-encounter data with unknown number of marked birds and $K = 11$ for the data with known number of marked birds. The probability $u_{i,j,q,k}$ is the probability that a bird marked in location i during season j is observed in area k during season q . For the ring re-encounter data with known number of marked birds, the last probability was the probability that a marked bird is never found again. These probabilities were parameterized differently for each of the 13 datasets. Thereby, we aimed at explicitly specifying the data-generating process which includes a biological and an observation process. The biological process was the same for all datasets, namely the result of the movements of individuals between different areas, that is the bird distribution among the 10 areas during a specific season q , $\mathbf{m}_{i,j,q,k=1, \dots, 10}$. We call the four-dimensional parameter $\mathbf{m}$ connectivity parameter (Table 2).

The probability $u_{1, \dots, 10}$ for the ring re-encounter data with unknown number of marked birds was derived from

the first 10 elements of the $u_{1, \dots, 11}$ for the ring re-encounter data with known number of marked birds and scaled so that they summed to one. This vector therefore represented the expected distribution of re-encounters given estimated $\mathbf{m}$ and $\mathbf{r}$ from the data with known number of marked birds.

The observation process differed between the 13 datasets; for example, for obtaining a dead recovery of a bird, the bird first had to die, it had to be found and its ring had to be reported, whereas for a live-recapture, the bird had to survive and be captured. Therefore, survival, recapture probability and recovery probability were used to parameterize the probabilities $u_{i,j,q,k}$. For example, the probability that a bird ringed during the breeding season ($j = 2$) in Britain ($i = 2$) is found dead in north-western Africa ($k = 4$) during the non-breeding period ($q = 4$), $u_{2,2,4,4}$ was set as the product of the probability that the bird moved from Britain to north-western Africa, $m_{2,2,4,4}$, that it survived from the mid-breeding season to the start of the non-breeding period (1 month non-migratory, 3-month migration), $S_{ad,nm} S_{ad,m}^3$, that it died during the non-breeding period ($1 - S_{ad,nm}^4$) and that it was found and its ring reported, $r_{4,4}$.

For the alive recapture data, we specified separate probability vectors for each age class, for example the probability of recapturing a bird ringed as a nestling in a specific area was $m_{i,j,q,k} * p_{\text{nestlings},q,k}$, where $p_{\text{nestlings},q,k}$ is the probability that a bird ringed as a nestling that is using area k during season q is recaptured at least once in that area. We describe the models separately for each dataset in Appendix S1.

For prior distributions, model fitting and assessment of convergence and model fit, see Appendix S1.

All analyses were conducted in R 3.2.2 (R Core Team, 2014).

RESULTS

Most ring re-encounters of reed warblers marked in western, central, northern and north-eastern Europe came from the western Mediterranean flyway during migration, whereas those marked in south-eastern Europe were re-encountered along the eastern Mediterranean flyway. This pattern suggests a migratory divide in central-south-eastern Europe. During the non-breeding season, however, the re-encounter locations seem to rather spread along the east-west axis across West Africa (Fig. 1).

Survival estimates

Monthly survival during migration was higher for adults (mean $\pm$ SD: 0.922 ± 0.004) than for juveniles (0.698 ± 0.011), whereas monthly survival during non-migration periods was similar for all age categories (adults: 0.976 ± 0.004 , juveniles: 0.977 ± 0.005 , nestlings: 0.982 ± 0.009); note that the estimates for juveniles and nestlings are not precise because the time resolution of four seasons is too coarse to distinguish between nestling, post-fledging and

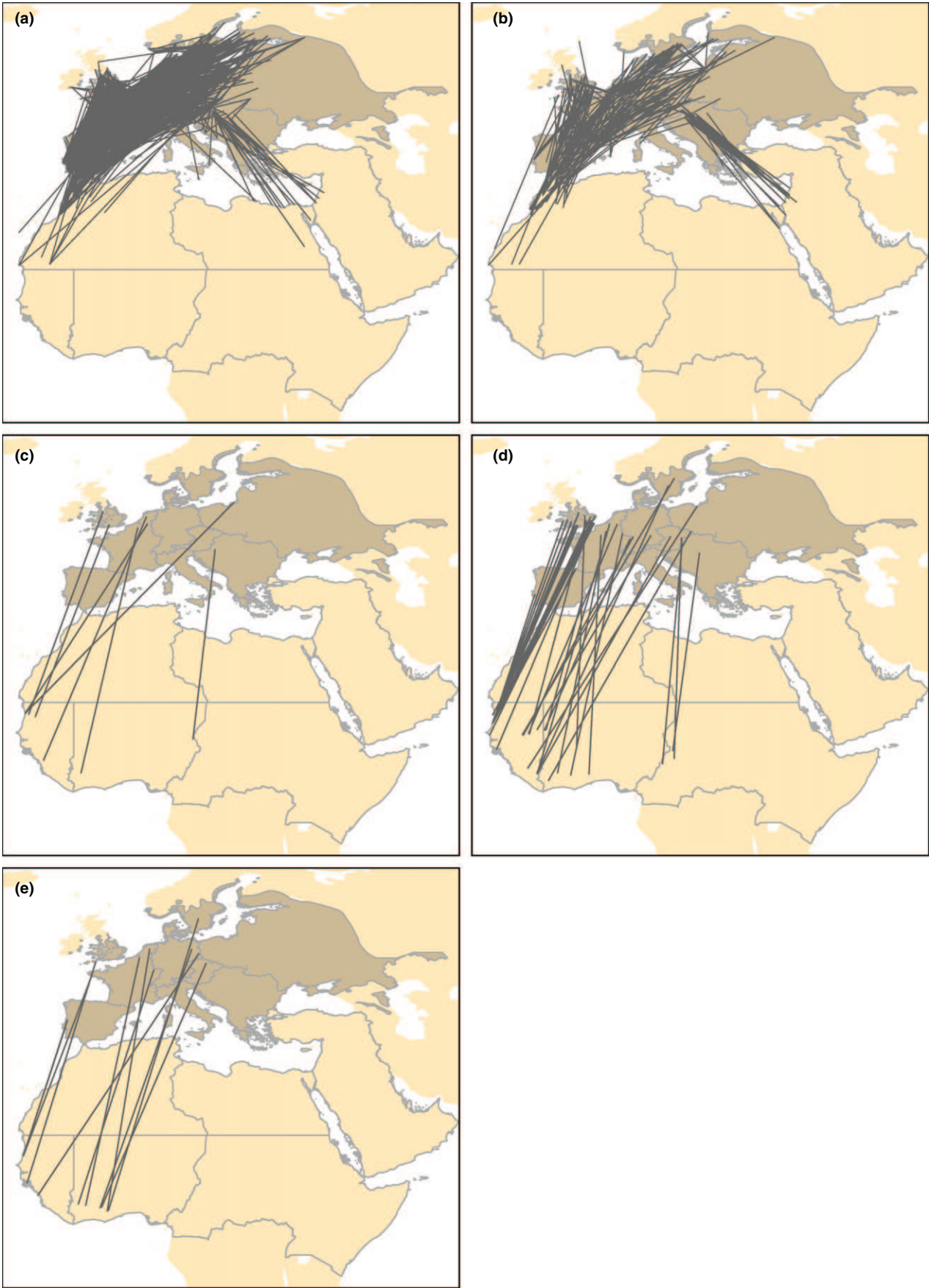


Figure 1 Raw ring re-encounter data of reed warblers marked during breeding in nine European locations (dark shaded areas) and re-encountered (a) north of 20° N during the post-breeding migration ($n = 1870$), (b) north of 20° N during the pre-breeding migration ($n = 276$), (c) south of 20° N during the post-breeding migration ($n = 7$), (d) south of 20° N during the pre-breeding migration ($n = 50$) and (e) south of 20° N during the non-breeding period ($n = 12$). Lines connect European marking sites with re-encounter sites and do not necessarily reflect actual migration trajectories taken by the birds. Shown are only re-encounters > 400 km from the marking place. Polygons of three northern populations (British Isles, Scandinavia and eastern Europe) were clipped by the species' breeding range (BirdLife International & NatureServe, 2014).

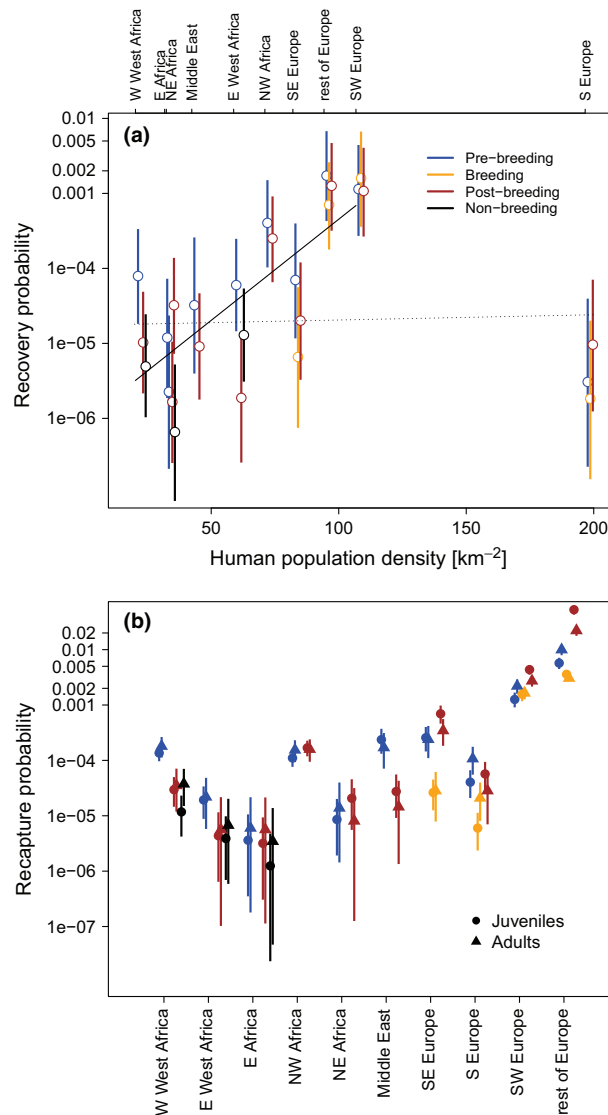


Figure 2 (a) Mean ($\pm$ SE) recovery probabilities in relation to human population density in the re-encounter area. Dotted line shows the relationship for all re-encounter areas and full line for re-encounter areas except for southern Europe. (b) Mean ($\pm$ SE) recapture probabilities for juveniles and adults in the 10 re-encounter areas during the four re-encounter seasons (for colours see Fig. 2a).

subsequent periods before migration. Estimated annual survival was higher for adults (0.530 ± 0.019) than for juveniles (0.232 ± 0.012).

Re-encounter probabilities

Re-encounter probabilities varied in space and time, which justifies the use of our model that accounted for the spatio-temporal heterogeneity in the data. The highest recovery probability (birds found dead) was in south-western, western, central and northern Europe. Considerably lower values were obtained for south-eastern and especially for southern Europe, which were lower than those from north-west Africa and roughly comparable to those from the Middle East and tropical West Africa (Fig. 2a). Overall, recovery probability did not show a clear relationship with human population density (estimate: 0.002, 95% CrI: -0.005 to 0.008). However, the lack of a correlation was due to an outlier among the re-encounter regions (exceptionally high human population density and very low recovery probabilities in southern Europe). After excluding southern Europe, a positive relationship between recovery probability and human population density appeared (estimate: 0.062, 95% CrI: 0.029 to 0.095).

Similarly, recapture probabilities (birds reported alive) were high across Europe (except for southern Europe) and lowest in north-east and sub-Saharan Africa (Fig. 2b). Recapture probabilities from sub-Saharan Africa tended to decrease from west to east. In addition, recapture probabilities during both migration periods tended to be generally higher than those from the two non-migration periods. Recapture probabilities also differed between the two migration seasons, especially in the Middle East and western West Africa where recapture probabilities were higher in the pre-breeding compared to the post-breeding season (Fig. 2b).

The use of re-encounter areas

During post-breeding migration, eastern breeding populations tended to use the eastern flyway to a greater extent than the western flyway; the reverse was true for western breeding populations (Fig. 3). Flyway use during pre-breeding and post-breeding migration north of the Sahara was similar for some populations (Fig. 3a,f). However, several western European populations and the south-eastern European population undertook anticlockwise loop migration (Fig. 3b–d,h), using more eastern routes during the pre-breeding migration compared to post-breeding migration.

The numbers of re-encounters in sub-Saharan Africa were rather low, and hence, the estimates for the non-breeding

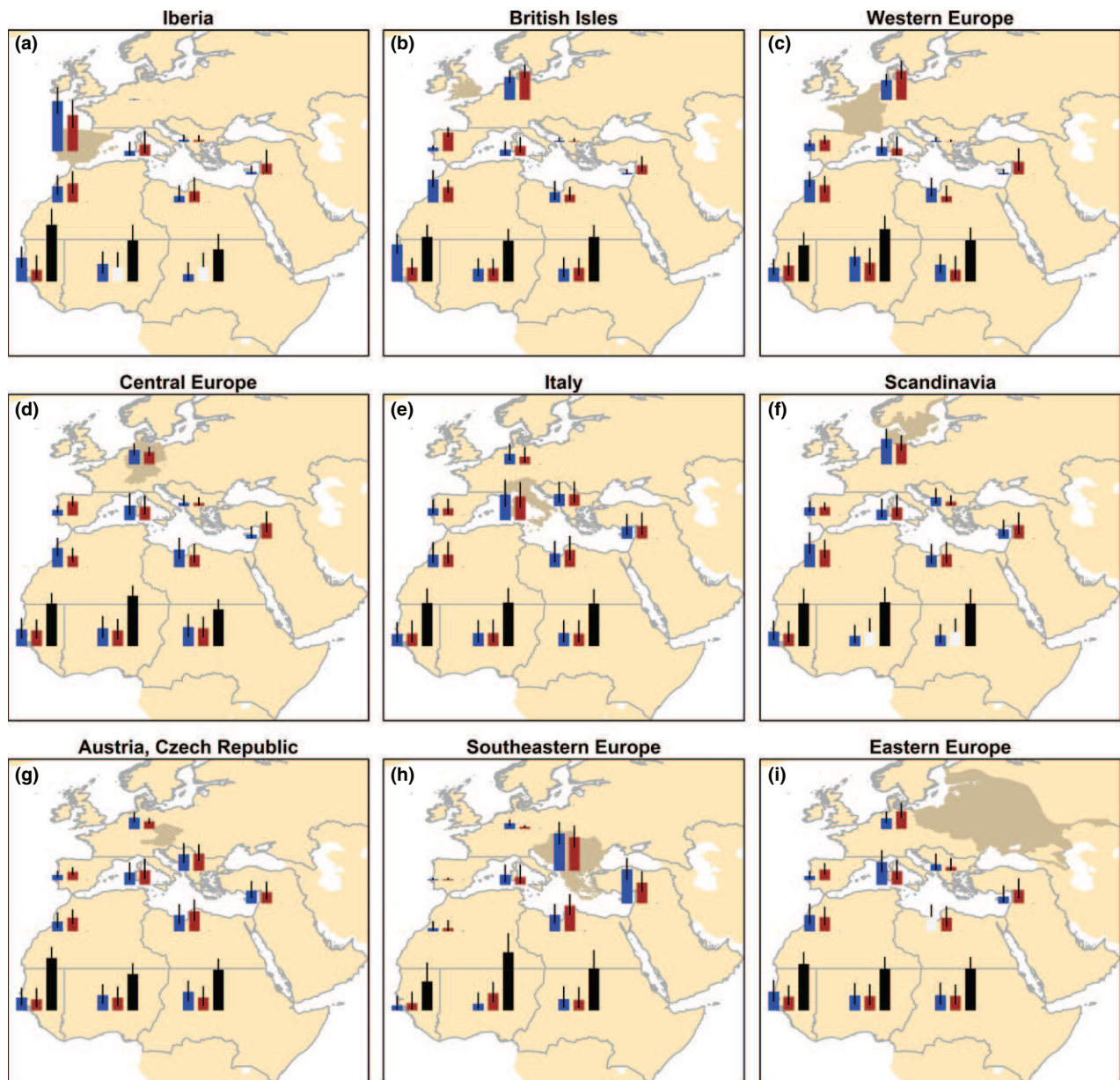


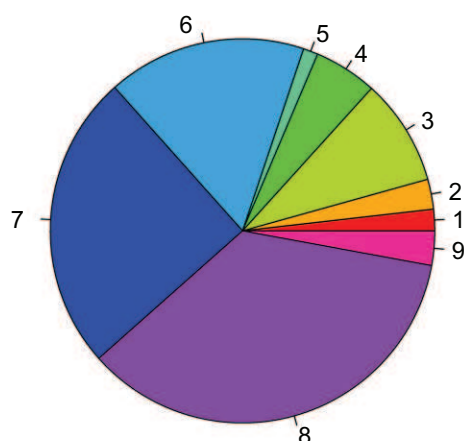
Figure 3 Estimated proportions of reed warblers marked during breeding in nine marking locations (dark shaded areas in the maps; each panel represents one breeding population) in ten re-encounter areas (delimited by dark grey borders) during pre-breeding (blue columns), post-breeding (brown) and non-breeding (black columns) re-encounter seasons. Error bars represent 95% credible intervals. Estimates for those groups of birds with a median overlap between the prior and the posterior of more than 80% are overlaid in light grey.

grounds must be considered with care. The estimated proportions of birds in the three non-breeding areas (Fig. 3) are weighted averages between the prior (the mean of which is 0.333) and the data. The higher the sample size, the closer the estimates were to the data. Consequently, due to few sub-Saharan re-encounters of birds marked during breeding (Table 1), the non-breeding distribution of the populations was quite homogeneous. However, Iberian birds seemed to prefer western West Africa (Fig. 3a); western and central European birds, eastern West Africa (Fig. 3c,d); and south-eastern European birds, eastern West Africa and Central/

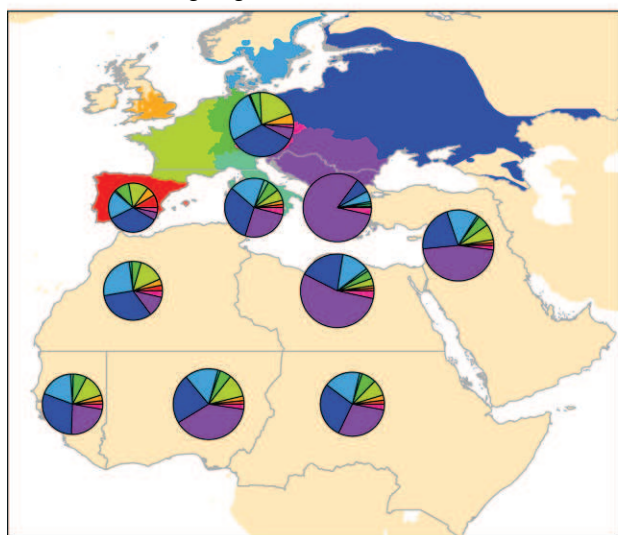
Eastern Africa (Fig. 3h). The populations from Austria and the Czech Republic tended to divide into one part staying in West Africa and the other part in Central/Eastern Africa (Fig. 3g).

Taking the population sizes into account, we found that larger numbers of reed warblers followed the eastern flyway than the western flyway. During post-breeding migration, most individuals moved through south-eastern and southern Europe and north-east Africa, whereas during pre-breeding migration, the majority of birds migrated through the Middle East, south-eastern and southern Europe (Fig. 4).

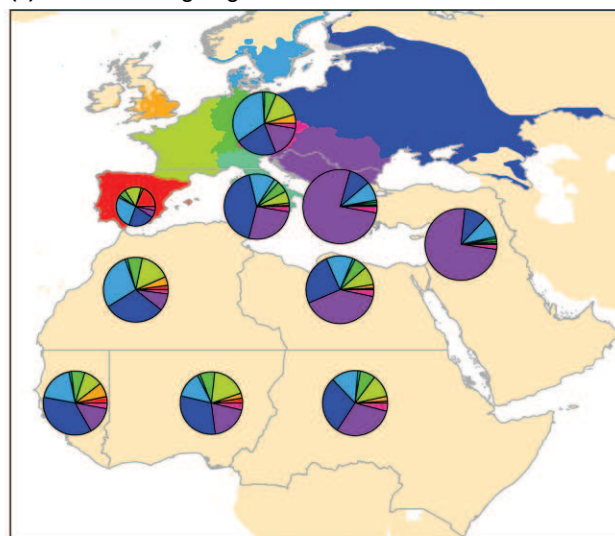
(a) Population sizes



(b) Post-breeding migration



(c) Pre-breeding migration



(d) Non-breeding period

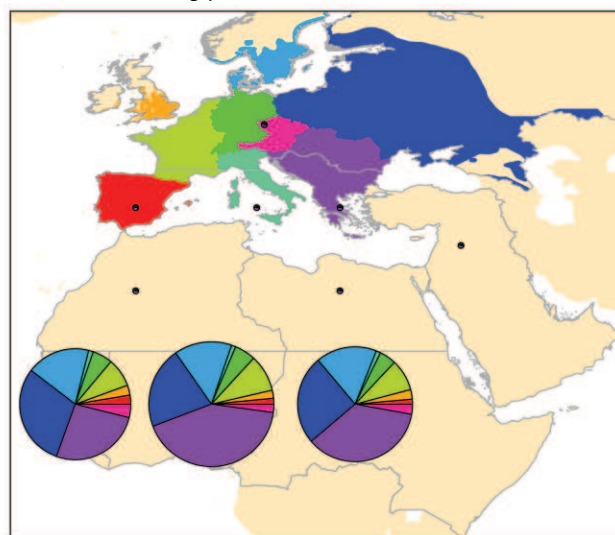


Figure 4 Proportions of individuals from the nine European breeding populations (a) at marking locations (for numeric codes of populations see Table 2), (b) during post-breeding migration, (c) during pre-breeding migration and (d) in sub-Saharan non-breeding grounds. Colours represent breeding populations, and the diameter of the pie charts is proportional to the breeding population sizes at the marking locations.

DISCUSSION

By integrating data from ring re-encounters and geolocators across the European breeding range, we uncovered migratory connectivity of different reed warbler populations linking Europe with Africa, which has important conservation implications for these birds and ecologically similar species.

The use of re-encounter areas

Our results show that different reed warbler populations differ in their range-wide distribution during migration and the non-breeding period (Fig. 3). The majority of the populations predominantly reach the non-breeding grounds via

north-west Africa. In contrast, the eastern Mediterranean flyway is used mainly by south-east European breeders and partly by birds breeding in the region of the migratory divide (Austria, Czech Republic). When we considered the absolute numbers of individuals using each flyway, the eastern flyway appeared much more important in terms of the number of birds using this migratory pathway (Fig. 4), which would not be evident from raw re-encounter data (Fig. 1). This is simply because south-eastern Europe hosts a large breeding population of reed warblers (BirdLife International, 2004).

In addition, the model shows that the use of post- and pre-breeding sites differs for many populations. While the south-west-migrating populations pass mainly through Iberia

during the post-breeding season, many of those breeding more to the east return often through Italy to their breeding grounds. The south-east-migrating populations enter Africa via Egypt and Libya but use a more eastern route through the Middle East in spring. This anticlockwise loop migration has been already shown for several other species (Tøttrup *et al.*, 2012; Finch *et al.*, 2015; Koleček *et al.*, 2016). The pre-breeding detour through the Middle East is most likely connected with increased food availability and favourable wind conditions in spring (Alerstam, 1990; Pearson & Lack, 1992).

While we found strong support that breeding populations differ in their use of areas during migration, the evidence for clear population segregation in the non-breeding areas was rather limited. Thus, we might tentatively conclude that the different breeding populations use the three non-breeding areas to quite a similar extent, bearing in mind that this is likely a result of the coarse delineation of sub-Saharan re-encounter areas and the relatively low number of stationary non-breeding re-encounters. Also, our model results do not contain information on how strongly the different populations mix *within* each of these areas. According to the raw re-encounter data (Fig. 1), we may, however, conclude that at least the south-eastern population stays more to the east within sub-Saharan Africa.

Ecologically similar species, such as the great reed warbler *Acrocephalus arundinaceus* (Koleček *et al.*, 2016), sedge warbler *Acrocephalus schoenobaenus* (Zwarts *et al.*, 2009) and Savi's warbler *Locustella luscinioides* (Neto *et al.*, 2012), show similar patterns of parallel migration and partial segregation on the non-breeding grounds along the west–east axis. These species, however, differ in their migratory strategies and the routes taken. By integrating all available information on annual whereabouts and survival into a flexible multistate modelling framework as exemplified here, we can finally start to understand how different migratory populations mix during the non-breeding period and what consequences this may have for the demography of migratory species.

Re-encounter probabilities

Not surprisingly, re-encounter probabilities were considerably low in tropical Africa and high in Europe (except for southern Europe). Moreover, re-encounter probabilities from Africa tended to decrease from west to east as found also in some other species (Korner-Nievergelt *et al.*, 2012). Interestingly, both recovery and recapture probabilities were unexpectedly low in southern Europe compared with other European re-encounter areas. This suggests that although southern Europe is regularly used by many reed warbler populations from central and north-eastern Europe, especially in spring (Spina & Volponi, 2008; Fig. 4), the chance of a reed warbler being reported from this region is generally low (Fig. 2a). After omitting southern Europe, we found a positive correlation between recovery probability and human population density. Such relationship has been supposed by

many researchers, but it has been quantified only by a few studies (e.g. Korner-Nievergelt *et al.*, 2010). Future ring re-encounter studies may improve if human population density, different socio-economic indices, hunting pressure and other factors are used. In this way, we may enhance the predictions of year-round distribution also in species with only little re-encounter data. Nevertheless, care should be taken as in our case, the effect of using human population density as predictor for recovery probability may not have been so strong as expected because only a small part of the data were dead recoveries and the overall correlation (including southern Europe) was weak.

Survival estimates

There is accumulating evidence that non-breeding conditions can have substantial impact on demography of migratory species (Calvert *et al.*, 2009; Harrison *et al.*, 2011). Unfortunately, our knowledge of season-specific survival in long-distance migrants is still strongly limited due to difficulties of estimating mortality outside the breeding grounds. Here, we found evidence that in adult reed warblers, monthly survival estimates are reduced by 5% during the migratory periods compared to the stationary periods. These estimates conform to results of previous studies that found lower survival during migration compared with stationary periods (Silllett & Holmes, 2002; Klaassen *et al.*, 2014; Lok *et al.*, 2015). In some species, however, survival during migration may not be substantially lower than during non-migratory seasons (Gruebler *et al.*, 2014).

In line with the widely supported fact that juveniles generally experience higher mortality than adults (reviewed by Calvert *et al.*, 2009), monthly survival during migration was much lower for juvenile than for adult reed warblers (0.70 vs. 0.93). However, because our primary interest was migratory connectivity, our data selection and model structure were not optimal for survival estimation, particularly juvenile survival. First, we did not include local recaptures that contain important information about survival, particularly in the first weeks of a reed warbler's life. Second, the temporal resolution of our model (only four re-encounter occasions per year) was too coarse to reliably measure monthly survival of juveniles during their first months after fledging to the onset of migration. To reliably estimate survival during nestling, post-fledging and subsequent periods before migration, a finer temporal resolution would be needed. Consequently, we cannot clearly differentiate whether the lower survival estimates for juveniles were caused by higher mortality during migration or non-migration periods. In barn swallows (*Hirundo rustica*), the main mortality occurs during the 3-week post-fledging period; thereafter, survival of adults and juveniles is comparable during the non-breeding and migration periods (Gruebler *et al.*, 2014). Whether the major demographic bottleneck in the reed warbler similarly happens during post-fledging still remains to be ascertained.

Benefits of integrated multistate models

Recovery and recapture probabilities varied largely across the reed warbler range, which corroborates our approach of accounting for the spatial bias in the data. The approach we adopted provides a flexible modelling framework capable of reducing the bias inherent in ring re-encounter data. Moreover, by incorporating the species' population sizes into our model, we were able to measure the composition of the non-breeding populations while taking into account that the numbers of marked individuals differ between the areas. By correcting the results for population sizes, we were thus able to assess the actual numbers of individuals that use the different flyways. In the case of the reed warbler, an analysis based solely on raw re-encounter data would likely overemphasize the use of the western flyway compared to the eastern flyway and the importance of West Africa compared to Central/East Africa (Fig. 1).

For the first time, we integrated ring re-encounter and geolocator data in a multistate model. More than 100 years of ringing have resulted in only 12 non-breeding sub-Saharan recoveries of reed warblers with known age and breeding origin. Therefore, the 15 geolocator-tagged birds have significantly contributed to these 12 re-encounters. Including geographical information from geolocators or other sources of information about location of birds throughout the year can effectively improve the spatial resolution with which we are able to study migratory connectivity. This can be especially effective in tropical regions where the chance for re-encountering a marked bird is extremely small (Robinson *et al.*, 2009; this study).

Potential limitations of the study

For the estimation of the non-breeding distribution, our data contained 12 ring re-encounters and 15 geolocator-tagged birds. The latter birds originated from two different populations only. Therefore, the presented non-breeding distribution has high uncertainty. However, these data represent the only currently available information about migratory connectivity of the reed warbler. In contrast, during the migratory periods, the sample size is so high that robust conclusions about the flyway use can be drawn. The estimated flyway use may potentially be biased if birds from different populations experience different re-encounter probabilities within the same re-encounter area, for example because they use different sub-areas within the area or re-encounter probability is spatially variable within the area. To reduce this danger, we tried to delineate the re-encounter areas as small and politically as homogeneous as possible. Further, we assessed by posterior predictive model checking whether the model can reliably predict the observed number of re-encounters. The model predictions did not critically deviate from the observed re-encounter data, except for the breeding distribution (Appendix S3). Because the distributions during the different seasons are estimated independently of each other and

we did not find any serious deviation between model prediction and data during migration and non-breeding period, we are confident to draw the presented conclusions.

CONCLUSION

The integrated multistate model revealed the importance of the eastern Mediterranean flyway for the copious population from south-eastern Europe, which was not apparent from raw re-encounter data. Moreover, the loop migration pattern evident from our analysis suggests that particular populations may face different threats during post- and pre-breeding migration. To be able to safeguard populations of migratory birds, it is immensely necessary to protect habitats serving as stopovers as these represent essential stepping stones to overcome major ecological barriers (such as the Sahara desert) on their journeys to and from their non-breeding grounds (Merken *et al.*, 2015). We advocate integration of various sources of information (ring re-encounter and geolocator data, bird abundance, factors affecting re-encounter rates) to better understand the links between breeding and non-breeding populations which represent crucial prerequisites for effective protection of migratory species (Martin *et al.*, 2007).

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to EURING, which made the re-encounter data available and to many ringers and ringing scheme staff who have gathered and prepared the data. The following people kindly provided numbers of monthly marked reed warblers: J. Cepák, J. Clark, A. Crabtree, A. Crespo Diaz, K. Erciyas Yavuz, M. Ghislain, P.-Y. Henry, A. Iraeta Zabala, K. Kaisal, Z. Karcza, U. Köppen, J. Kralj, J. Laesser, A. T. Mjös, A. Leal Nebot, R. Patapavičius, M. Repel, D. Stankovic, J. Valkama. Additional thanks go to: A. Gavrilov, W. C. Mullié, A. Zuljevic, D. Djapic, O. Szekeres, N. Spremo, J. Gergelj, A. Agoston, I. Hulo, K. Barna, M. Sciban, B. Hardi, J. Sihelnik, D. Rajkovic, F. Marton, M. Jankovic, D. Fabijan. Comments by T. Finch, D. Strubbe and two anonymous referees improved the text. Supported by the Czech Science Foundation (13-06451S).

REFERENCES

- Alerstam, T. (1990) *Bird migration*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Andueza, M., Barba, E., Arroyo, J.L., Feliu, J., Greño, J.L., Jubete, F., Lozano, L., Monrós, J.S., Moreno-Opo, R., Neto, J.M., Onrubia, A., Tenreiro, P., Valkenburg, T., Zumalacárregui, C., González, C., Herrero, A. & Arizaga, J. (2013) Connectivity in reed warblers *Acrocephalus scirpaceus* between breeding grounds in Europe and autumn stopover sites in Iberia. *Ardea*, **101**, 133–140.
- Bairlein, F. (2003) The study of bird migrations – some future perspectives. *Bird Study*, **50**, 243–253.

- Bauer, S. & Hoyer, B.J. (2014) Migratory animals couple biodiversity and ecosystem functioning worldwide. *Science*, **344**, 1242552.
- Bauer, S., Lisovski, S. & Hahn, S. (2016) Timing is crucial for consequences of migratory connectivity. *Oikos*, **125**, 605–612.
- BirdLife International (2004) *Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status*. BirdLife International, Cambridge, UK.
- BirdLife International & NatureServe (2014) *Bird species distribution maps of the world*. BirdLife International, Cambridge, UK and NatureServe, Arlington, USA.
- Boulet, M. & Norris, D.R. (2006) The past and present of migratory connectivity. *Ornithological Monographs*, **61**, 1–13.
- Bridge, E.S., Thorup, K., Bowlin, M.S., Chilson, P.B., Diehl, R.H., Fléron, R.W., Hartl, P., Kays, R., Kelly, J.F., Robinson, W.D. & Wikelski, M. (2011) Technology on the move: recent and forthcoming innovations for tracking migratory birds. *BioScience*, **61**, 689–698.
- Calvert, A.M., Walde, S.J. & Taylor, P.D. (2009) Nonbreeding-season drivers of population dynamics in seasonal migrants: conservation parallels across taxa. *Avian Conservation and Ecology*, **4**, 5.
- Cramp, S., ed. (1992) *The birds of the Western Palearctic, volume 6: warblers*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Dingle, H. (1996) *Migration: the biology of life on the move*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Dowsett-Lemaire, F. & Dowsett, R.J. (1987) European reed and marsh warblers in Africa: migration patterns, moult and habitat. *Ostrich*, **58**, 65–85.
- Fiedler, W., Bairlein, F. & Köppen, U. (2004) Using large-scale data from ringed birds for the investigation of effects of climate change on migrating birds: pitfalls and prospects. *Advances in Ecological Research*, **35**, 49–67.
- Finch, T., Saunders, P., Avilés, J.M., Bermejo, A., Cattri, I., de la Puente, J., Emmenegger, T., Mardega, I., Mayet, P., Parejo, D., Račinskis, E., Rodríguez-Ruiz, J., Sackl, P., Schwartz, T., Tiefenbach, M., Valera, F., Hewson, C., Franco, A. & Butler, S.J. (2015) A pan-European, multipopulation assessment of migratory connectivity in a near-threatened migrant bird. *Diversity and Distributions*, **21**, 1051–1062.
- Fleming, T.H. & Eby, P. (2003) Ecology of bat migration. *Bat ecology* (ed. by T.H. Kunz and M.B. Fenton), pp. 156–208. University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Fransson, T. & Stolt, B.O. (2005) Migration routes of North European reed warblers *Acrocephalus scirpaceus*. *Ornis Svecica*, **15**, 153–160.
- Gruebler, M.U., Korner-Nievergelt, F. & Naef-Daenzer, B. (2014) Equal nonbreeding period survival in adults and juveniles of a long-distant migrant bird. *Ecology and Evolution*, **4**, 756–765.
- Hahn, S., Bauer, S. & Liechti, F. (2009) The natural link between Europe and Africa – 2.1 billion birds on migration. *Oikos*, **118**, 624–626.
- Hahn, S., Amrhein, V., Zehndindijev, P. & Liechti, F. (2013) Strong migratory connectivity and seasonally shifting isotopic niches in geographically separated populations of a long-distance migrating songbird. *Oecologia*, **173**, 1217–1225.
- Hallworth, M.T., Sillett, T.S., Van Wilgenburg, S.L., Hobson, K.A. & Marra, P.P. (2015) Migratory connectivity of a Neotropical migratory songbird revealed by archival light-level geolocators. *Ecological Applications*, **25**, 336–347.
- Harrison, X.A., Blount, J.D., Inger, R., Norris, D.R. & Bearhop, S. (2011) Carry-over effects as drivers of fitness differences in animals. *Journal of Animal Ecology*, **80**, 4–18.
- Kamp, J., Oppel, S., Ananin, A.A., Durnev, Y.A., Gashev, S.N., Hölzel, N., Mishchenko, A.L., Pessa, J., Smirenski, S.M., Strelnikov, E.G., Timonen, S., Wolanska, K. & Chan, S. (2015) Global population collapse in a superabundant migratory bird and illegal trapping in China. *Conservation Biology*, **29**, 1684–1694.
- Klaassen, R.H.G., Hake, M., Strandberg, R., Koks, B., Trierweiler, C., Exo, K.M., Bairlein, F. & Alerstam, T. (2014) When and where does mortality occur in migratory birds? Direct evidence from long-term satellite tracking of raptors. *Journal of Animal Ecology*, **83**, 176–184.
- Koleček, J., Procházka, P., El-Arabany, N., Tarka, M., Ilieva, M., Hahn, S., Honza, M., de la Puente, J., Bermejo, A., Gürsoy, A., Bensch, S., Zehndindijev, P., Hasselquist, D. & Hansson, B. (2016) Cross-continental migratory connectivity and spatiotemporal migratory patterns in the great reed warbler. *Journal of Avian Biology*, **47**. doi:10.1111/jav.00929.
- Korner-Nievergelt, F., Sauter, A., Atkinson, P.W., Guélat, J., Kania, W., Kéry, M., Köppen, U., Robinson, R.A., Schaub, M., Thorup, K., van der Jeugd, H. & van Noordwijk, A.J. (2010) Improving the analysis of movement data from marked individuals through explicit estimation of observer heterogeneity. *Journal of Avian Biology*, **41**, 8–17.
- Korner-Nievergelt, F., Liechti, F. & Hahn, S. (2012) Migratory connectivity derived from sparse ring reencounter data with unknown numbers of ringed birds. *Journal of Ornithology*, **153**, 771–782.
- Korner-Nievergelt, F., Liechti, F. & Thorup, K. (2014) A bird distribution model for ring recovery data: where do the European robins go? *Ecology and Evolution*, **4**, 720–731.
- Kristensen, M.W., Tøttrup, A.P. & Thorup, K. (2013) Migration of the common redstart (*Phoenicurus phoenicurus*): a Eurasian songbird wintering in highly seasonal conditions in the West African Sahel. *The Auk*, **130**, 258–264.
- Lisovski, S. & Hahn, S. (2012) GeoLight – processing and analysing light-based geolocator data in R. *Methods in Ecology and Evolution*, **3**, 1055–1059.
- Lisovski, S., Hewson, C.M., Klaassen, R.H.G., Korner-Nievergelt, F., Kristensen, M.W. & Hahn, S. (2012) Geolocation by light: accuracy and precision affected by environmental factors. *Methods in Ecology and Evolution*, **3**, 603–612.
- Lok, T., Overdijk, O. & Piersma, T. (2015) The cost of migration: spoonbills suffer higher mortality during

- trans-Saharan spring migrations only. *Biology Letters*, **11**, 20140944.
- Martin, T.G., Chadès, I., Arcese, P., Marra, P.P., Possingham, H.P. & Norris, D.R. (2007) Optimal conservation of migratory species. *PLoS ONE*, **2**, e751.
- Merken, R., Deboelpaep, E., Teunen, J., Saura, S. & Koedam, N. (2015) Wetland suitability and connectivity for trans-Saharan migratory waterbirds. *PLoS ONE*, **10**, e0135445.
- Neto, J.M., Arroyo, J.L., Bargain, B., Monrós, J.S., Mátrai, N., Procházka, P. & Zehntindjiev, P. (2012) Phylogeography of a habitat specialist with high dispersal capability: the Savi's Warbler *Locustella luscinioides*. *PLoS ONE*, **7**, e0038497.
- Ożarowska, A., Stepniewska, K. & Ibrahim, W.A.L. (2011) Autumn and spring migration of the Reed Warbler *Acrocephalus scirpaceus* in Egypt – some interesting aspects and questions. *Ostrich*, **82**, 49–56.
- Pearson, D.J. & Lack, P.C. (1992) Migration patterns and habitat use by passerine and near-passerine migrant birds in eastern Africa. *Ibis*, **134**(Suppl. 1), 89–98.
- Pekarsky, S., Angert, A., Haese, B., Werner, M., Hobson, K.A. & Nathan, R. (2015) Enriching the isotopic toolbox for migratory connectivity analysis: a new approach for migratory species breeding in remote or unexplored areas. *Diversity and Distributions*, **21**, 416–427.
- Perdeck, A.C. (1977) The analysis of ringing data: pitfalls and prospects. *Die Vogelwarte*, **29**, 33–44.
- Procházka, P., Hobson, K.A., Karcza, Z. & Kralj, J. (2008) Birds of a feather winter together: migratory connectivity in the reed warbler *Acrocephalus scirpaceus*. *Journal of Ornithology*, **149**, 141–150.
- Procházka, P., Van Wilgenburg, S.L., Neto, J.M., Yosef, R. & Hobson, K.A. (2013) Using stable hydrogen isotopes ($\delta^2\text{H}$) and ring recoveries to trace natal origins in a Eurasian passerine with a migratory divide. *Journal of Avian Biology*, **44**, 541–550.
- R Core Team (2014) *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Robbins, C.S., Sauer, J.R., Greenberg, R.S. & Droege, S. (1989) Population declines in North American birds that migrate to the Neotropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, **86**, 7658–7662.
- Robinson, R.A., Grantham, M.J. & Clark, J.A. (2009) Declining rates of ring recovery in British birds. *Ringling and Migration*, **24**, 266–272.
- Schlenker, R. (1988) Zum Zug der Neusiedlersee-Population des Teichrohrsängers (*Acrocephalus scirpaceus*) nach Ringfunden. *Die Vogelwarte*, **34**, 337–343.
- Sillett, T.S. & Holmes, R.T. (2002) Variation in survivorship of a migratory songbird throughout its annual cycle. *Journal of Animal Ecology*, **71**, 296–308.
- Spina, F. & Volponi, S. (2008) *Atlante della migrazione degli uccelli in Italia*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma.
- Stanley, C.Q., McKinnon, E.A., Fraser, K.C., Macpherson, M.P., Casbourn, G., Friesen, L., Marra, P.P., Studds, C., Ryder, T.B., Diggs, N.E. & Stutchbury, B.J. (2015) Connectivity of wood thrush breeding, wintering, and migration sites based on range-wide tracking. *Conservation Biology*, **29**, 164–174.
- Thomson, D.L., Conroy, M.J., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Cooch, E.G., Francis, C.M., Lebreton, J.-D., Lindberg, M.S., Morgan, B.J.T., Otis, D.L. & White, G.C. (2009) Standardising terminology and notation for the analysis of demographic processes in marked populations. *Modeling demographic processes in marked populations, series: Environmental and ecological statistics* (ed. by D.L. Thomson, E.G. Cooch and M.J. Conroy), pp. 1099–1106. Springer, Berlin.
- Thorup, K., Korner-Nievergelt, F., Cohen, E.B. & Baillie, S.R. (2014) Large-scale spatial analysis of ringing and re-encounter data to infer movement patterns: a review including methodological perspectives. *Methods in Ecology and Evolution*, **5**, 1337–1350.
- Tøttrup, A.P., Klaassen, R.H.G., Strandberg, R., Thorup, K., Kristensen, M.W., Jørgensen, P.S., Fox, J., Afanasyev, V., Rahbek, C. & Alerstam, T. (2012) The annual cycle of a trans-equatorial Eurasian-African passerine migrant: different spatio-temporal strategies for autumn and spring migration. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **279**, 1008–1016.
- Vickery, J.A., Ewing, S.R., Smith, K.W., Pain, D.J., Bairlein, F., Škorpilová, J. & Gregory, R.D. (2014) The decline of Afro-Palaearctic migrants and an assessment of potential causes. *Ibis*, **156**, 1–22.
- Webster, M.S., Marra, P.P., Haig, S.M., Bensch, S. & Holmes, R.T. (2002) Links between worlds: unraveling migratory connectivity. *Trends in Ecology and Evolution*, **17**, 76–83.
- Zduniak, P., Yosef, R. & Meyrom, K. (2013) A comparison of passerine migration in southern and northern Israel. *Journal of Arid Environments*, **90**, 22–28.
- Zink, G. (1973) *Der Zug europäischer Singvögel: ein Atlas der Wiederfunde beringter Vögel*. Vogelwarte Radolfzell, Mögglingen, Germany.
- Zwarts, L., Bijlsma, R.G., van der Kamp, J. & Wymenga, E. (2009) *Living on the edge: wetlands and birds in a changing Sahel*. KNNV Publishing, Zeist, The Netherlands.

SUPPORTING INFORMATION

Additional Supporting Information may be found in the online version of this article:

Table S1 Sample sizes for the data subsets used for modelling of survival.

Appendix S1 Detailed description of the different models, prior distributions, and assessment of convergence and model fit.

Appendix S2 JAGS code of the model.

Appendix S3 Assessment of model fit by posterior predictive checking.

BIOSKETCH

Petr Procházka's main scientific interests centre on avian brood parasitism and bird migration. He seeks to understand co-evolutionary adaptations of brood parasites and their hosts, and the consequences of migratory

connectivity for the population ecology of migratory birds.

Author contributions: P.P., F.K.-N. and S.H. conceived the project; S.R., H.v.d.J., T.C., F.J., T.M., D.V. provided the data; P.P. and F.K.-N. analyzed the data and led the writing; all authors read and commented on the manuscript.

Editor: Diederik Strubbe

RESEARCH ARTICLE

Mercury contamination, a potential threat to the globally endangered aquatic warbler *Acrocephalus paludicola*

Aneta Dorota Pacyna¹ · Carlos Zumalacárregui Martínez^{2,3} · David Miguélez^{3,4} · Frédéric Jiguet⁵ · Żaneta Polkowska¹ · Katarzyna Wojczulanis-Jakubas⁶

Received: 2 March 2017 / Accepted: 12 September 2017
© The Author(s) 2017. This article is an open access publication

Abstract Mercury (Hg) contamination is considered a global concern for humans and wildlife, and although the number of studies dealing with that issue continues to increase, some taxonomic groups such as small passerine birds are largely understudied. In this paper, concentration of mercury in the aquatic warbler (*Acrocephalus paludicola*) feathers, a globally threatened passerine species, was examined. The concentration differences between two ages and sexes were investigated. The comparison of feathers taken on autumn migrants of two age categories act as a comparison of the species' exposure within the two different areas (European breeding or African wintering grounds). The average Hg concentration for all sampled individuals [$2.32 \mu\text{g/g dw}$ (range $0.38\text{--}12.76$)] is relatively high, compared with values found in other passerine species. An age difference was found, with first-year

individuals displaying higher mercury concentrations than adults. This indicates that birds are exposed to mercury pollution during the breeding season, i.e., in the continental floodplains of eastern Europe. The average Hg concentration in feathers grown on the breeding grounds was $3.88 \pm 2.59 \mu\text{g/g dw}$, closer to the critical value of $5 \mu\text{g/g dw}$, which is considered to impair the health of individuals. The findings suggest that mercury pollution may constitute a threat so far neglected for the endangered aquatic warbler.

Keywords Conservation · Feathers · Passerine · Mercury · Warbler

Introduction

Mercury (Hg) is a widespread contaminant released into the environment by both natural processes like volcanic eruptions, rock weathering, atmospheric transport, re-deposition (Fitzgerald 1989), and anthropogenic activities (i.e., burning of coal, emissions from multiple industrial processes, incineration, and goods manufacturing), with significant predominance of the latter (Burger and Gochfeld 1997; Selin and Selin 2006). Since mercury potent toxicity may present a threat to humans and wildlife (Seewagen 2010), it constitutes a great global concern when released into the natural environments as a pollutant. Post 1970 international policy has assured the continuous interest in the amount of released mercury (Selin and Selin 2006), resulting in conventions such as The Minamata Convention on Mercury established in 2013 (Evers et al. 2016). Mercury is among the most extensively studied of all environmental pollutants in wildlife and laboratory animals (Burger and Gochfeld 1997; Seewagen 2010). However, while a good recognition of usual and anomalous patterns is necessary for a comprehensive understanding of

Responsible editor: Philippe Garrigues

✉ Aneta Dorota Pacyna
an.pacyna90@gmail.com

¹ Faculty of Chemistry, Department of Analytical Chemistry, Gdansk University of Technology, 11/12 Narutowicza St., 80-233 Gdańsk, Poland

² Fundación Global Nature, Corro Postigo, 1, 34337 Fuentes de Nava, Palencia, Spain

³ Iberian Ringing Group (GIA-León), C/ Daoiz y Velarde, 49 Bajo, 24006 León, Spain

⁴ Department of Biodiversity and Environmental Management, University of León, Campus de Vegazana s/n, 24071 León, Spain

⁵ Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation, UMR 7204 MNHN-CNRS-UPMC-Sorbonne Universités, CP 135, 43 Rue Buffon, 75005 Paris, France

⁶ Faculty of Biology, Department of Vertebrate Ecology and Zoology, University of Gdańsk, ul. Wita Stwosza 59, 80-308 Gdańsk, Poland

potential threats faced by wild populations, our knowledge of mercury distribution varies greatly across habitats and animal taxonomic groups.

Birds are clearly sensitive to mercury contamination. Many direct effects of mercury burden have been recognized in behavior, neurology, physiology, and reproduction (Seewagen 2010). The majority of research, however, has focused on select groups (e.g., predators and species associated with aquatic environments) (Seewagen 2010). These groups are expected to be at a greater risk of exposure and accumulation—predators due to position in the food chain and aquatic species due to overall high mercury concentration in its prey (Stewart et al. 1999). Passerines are understudied subjects of eco-toxicological studies (Janssens et al. 2002; Seewagen 2010). However, the group is not beyond the risk of mercury contamination. A few reports on mercury concentrations in passerines indicate that the risk is not necessarily negligible (Table 1).

Owing to the fact that feathers represent the main route for mercury excretion in birds (Ochoa-Acuña et al. 2002; Frias et al. 2012), it is possible to determine mercury concentration in a relatively non-invasive way. This is particularly important for studying endangered species, as even small body feathers may be sampled and analyzed (Burger and Gochfeld 1997; Jaspers et al. 2004; Adout et al. 2007). Another advantage of feather samples is linked to the process and timetable which they are produced and replaced by birds. Trace elements are excreted into feathers during its growth, when the feather is fully grown its connections with blood vessels disappear, so that the feather becomes isolated from any further element uptake (Jaspers et al. 2004). This means that the feather represents a source of information about mercury presence in blood during the time of the feather growth (Jaspers et al. 2004). Birds replace their feathers according to species-specific schedules, with most migratory species molting particular feathers at different life stages and/or in different geographical areas. Appropriate feathers may then serve as a source of information about a bird's environment during identified life-time stages.

Male and female birds are usually exposed to contamination at a similar extent, although adult females may transfer contaminants to eggs and therefore can have lower mercury concentrations compared to males (Burger et al. 2008). For this reason, it is important to consider the sex of birds, to fully comprehend a variation in the pollutant concentration. Numerous studies performed on monomorphic species neglect the sex issue due to technical problems with establishing the birds' sex. Nevertheless, owing to the modern molecular techniques (based on a small amount of DNA) and/or discriminant functions (based on morphological measurements), the sex of birds can be efficiently established and can be considered in further analyses.

In this study, we aim to determine levels of mercury contamination in the aquatic warbler (*Acrocephalus paludicola*),

based on feathers sampled from individuals captured along their migration flyway in late summer (autumn migration). The aquatic warbler is a small bird of particular conservation status, being the only globally threatened passerine species to breed in continental Europe (Salewski et al. 2013; Miguélez et al. 2014). Its population size and range have declined by ~ 90% over the last century, mainly due to habitat loss (Julliard et al. 2006; Flade and Lachmann 2008). Although the current population size is considered relatively stable with 22,000–32,000 adults (Briedis and Keiřs 2016), the species is listed as vulnerable to extinction on the IUCN Red List (Birdlife International 2016). Habitat loss is undoubtedly the prime threat to the species, not only on breeding grounds but also on stopover migration sites and on wintering grounds (Birdlife International 2016). However, soil contamination by heavy metals (including mercury) could also threaten the fate of this species inhabiting floodplains in central and eastern Europe (St. Louis et al. 1994; Evers et al. 2012). Wetlands are a known hotspot for methylmercury, as their biogeochemical conditions tend to promote iron and sulfate-reducing microbes to convert inorganic mercury to methylmercury, a more toxic form than inorganic mercury (Ullrich et al. 2001; Ackerman et al. 2016). Litterfall could also represent a significant source of mercury, accounting for a high Hg (dry) deposition (Wang et al. 2016). Methylmercury accumulates in leaves and litterfall in terrestrial forests and wetlands and can be easily incorporated into the food chain. Consumed by herbivorous and detritivorous invertebrates, they present food sources for multiple bird species (Risch et al. 2017).

Since the aquatic warbler is a long-distance migrant, breeding in continental Europe and wintering in sub-Saharan west Africa (Julliard et al. 2006; Newton 2008; Jiguet et al. 2011; Salewski et al. 2013; Miguélez et al. 2014), it may be exposed to pollution across a large geographical area. Molt occurs once annually on the wintering grounds in Africa. In autumn, during migration, first-year individuals (i.e., birds hatched the same year and in full juvenile plumage, hereafter called immatures) possess only feathers grown in the nest on the breeding grounds. Older individuals (>1 year old; hereafter called adults) possess feathers grown the previous winter on the wintering grounds. The comparison of mercury contamination in feathers between these two age categories can then be considered as a comparison of the species exposure to mercury on the European (breeding) vs. African (wintering). This assumes that first-generation and older feathers have the same capacity to accumulate mercury.

Materials and methods

Study site The birds were captured during their autumn migration (August to early September) at three stopover sites in **Genêts** (Mont Saint-Michel Bay, western France; 48° 41' N,

Table 1 Mercury concentration [$\mu\text{g/g dw}$] in wild passerines from Europe and Asia

Species	Number	Age class	Feather type	Hg concentr. mean $\pm$ SE and/or range	Study years	Study period	Study site	References
Great tit (<i>Parus major</i>)	185	First years, adults	Tail	1.83–3.13 ^a 0.24–0.84 ^b	1997–1998	November–May	Belgium	Janssens et al. 2001
Great tits (<i>Parus major</i>)	386	Nestlings	Tail	0.12–1.86 ^a 0.21 $\pm$ 0.06 ^b	1999	Breeding season	Belgium	Janssens et al. 2002
Great tit (<i>Parus major</i>)	80	Nestlings	Tail	0.07 $\pm$ 0.02 ^a 0.01 $\pm$ 0.009 ^b	2000	Breeding season	Belgium	Dauwe et al. 2004
Great tit (<i>Parus major</i>)	28	Adults	Tail	<LOD–3.15	2002	November–December	Belgium	Jaspers et al. 2004
Great tit (<i>Parus major</i>)	70	Nestlings	Tail	0.43 $\pm$ 0.13	2009	Summer	Portugal	Costa et al. 2013
Great tit (<i>Parus major</i>)	13	Adults	Tail	0.51 $\pm$ 0.46	2009	Summer	Portugal	Costa et al. 2013
Yellow wagtail (<i>Motacilla flava</i>)	5	Adults	Wing	2.1*	2006	January–August	Italy	Leonzio et al. 2009
Cetti's warbler (<i>Cettia cetti</i>)	10	Adults	Wing	1.5*	2006	January–August	Italy	Leonzio et al. 2009
Italian sparrow (<i>Passer italiae</i>)	9	Adults	Wing	0.2*	2006	January–August	Italy	Leonzio et al. 2009
Eurasian tree sparrow (<i>Passer montanus</i>)	10	Adults	Wing	0.1*	2006	January–August	Italy	Leonzio et al. 2009
Reed bunting (<i>Emberiza schoeniclus</i>)	10	Adults	Wing	0.9*	2006	January–August	Italy	Leonzio et al. 2009
White-eared bulbul (<i>Pycnonotus leucotis</i>)	3	Unknown	Tail	0.17 $\pm$ 0.005	2005	April–October	Iran	Zolfaghari et al. 2009
Common blackbird (<i>Turdus merula</i>)	3	Unknown	Tail	1.08 $\pm$ 0.005	2005	April–October	Iran	Zolfaghari et al. 2009
Eurasian magpie (<i>Pica pica</i>)	2	Unknown	Tail	0.15 $\pm$ 0.005	2005	April–October	Iran	Zolfaghari et al. 2009
Rook (<i>Corvus frugilegus</i>)	2	Unknown	Tail	0.14 $\pm$ 0.07	2005	April–October	Iran	Zolfaghari et al. 2009
Hooded crow (<i>Corvus corone cornix</i>)	19	Unknown	Random	0.09 $\pm$ 0.04 ^c 0.52 $\pm$ 0.16 ^d	Unknown	Unknown (molted feathers)	Israel	Adout et al. 2007
Feral pigeon (<i>Columba livia</i>)	50	Unknown	Random	0.04 $\pm$ 0.01 ^c 0.09 $\pm$ 0.02 ^d	Unknown	Unknown (molted feathers)	Israel	Adout et al. 2007
Aquatic warbler (<i>Acrocephalus paludicola</i>)	72	Immatures, adults	Tail	2.32 $\pm$ 2.31 (0.38–12.76)	2013	Autumn migration	Spain, France	Present study

LOD limit of detection

^a Close to pollution source

^b More distant from the pollution source (4 km or more)

^c Rural

^d Industrial area

*Value from a graph

1° 28' W, season 2013, $N = 8$), Valcavado Stream (Zotes del Páramo, northwest Spain; 42° 15' N, 5° 45' W, season 2005, $N = 17$), and La Nava (Palencia, northern Spain; 42° 3' N, 4° 45' W, seasons: 2007 and 2008, $N = 81$). Mont Saint-Michel Bay is a wide littoral zone, extending over 500 km² including 180 km² of mud flats and 40 km² of salt marsh (Laffaille et al. 2000). Valcavado stream is surrounded by areas covered with herbaceous and helophytic vegetation, temporarily flooded during summer (Miguélez et al. 2009). La Nava is a restored wetland classified as an important special protection area (Natura 2000; Muñoz-Adalia et al. 2015).

All birds captured were marked individually with a metal ring, measured (wing length) and aged according to plumage. The adults migrating in autumn, undergoing a complete molt on the wintering grounds, have a worn and abraded plumage, whereas immatures possess a new fresh plumage of only first-generation feathers (Svensson 1992). A single tail feather (occasionally two feathers) was collected from each individual to measure mercury concentration and determine sex based on molecular methods. Each feather was stored in a paper bag at ambient temperature until laboratory analyses.

Mercury concentration Each sample was processed using a standard procedure: carefully cleaned with deionized water and acetone to remove adherent external contamination (e.g., dust) and air-dried for 24 h. Mercury binds strongly to keratin functional groups and extensive washing with organic solvents such as acetone then do not significantly influence its content (Goede and de Bruin 1986, Jaspers et al. 2004). The whole, dry feather was then weighed (to the nearest 0.1 mg), cut into small parts (~ 2 mm²) using sterilized stainless scissors, and analyzed by thermal vaporization atomic absorption method (NIC MA-3000 Nippon Instruments Corporation). Samples were heat decomposed in a ceramic boat firstly heated up to 180 °C for 120 s and secondly to 850 °C also for 120 s. The mercury collector collects the atomized mercury gas in a form of gold amalgam, condensing and purifying the mercury. After heat decomposition, the mercury collection tube is heated to 650 °C to liberate the mercury gas. The absorbance at a wavelength of 253.7 nm is then measured. Oxygen flow was 0.4 L/min. The mercury concentration was determined in sample duplicate or triplicate (the amount of sample permitting), with the concentration expressed in micrograms per 1 g of dry weight of feather. Quality control includes blank samples every 8–9 subsamples run. The precision presented as the coefficient of variation of the concentrations of duplicates or triplicates of a single sample was 5.66 (range 0.00–14.69). Certified reference materials MODAS-4 Cormorant Tissue (M-3 CornTis), MODAS-3 Herring Tissue (M-3 HerTis), and MODAS-5 Cod Tissue (M-5 CodTis) were used to determine analytical accuracy and to perform method and quality control. The percentage recovery of the certified reference materials, measured on three replicates of each

sample, varied from 94 to 100%. The limit of quantification was equal to 1.62 ng/g.

Sexing DNA was extracted from the basis of the collected feathers using a kit for forensic samples (Sherlock AX; A&A Biotechnology, Gdynia, Poland). We performed molecular sexing on feather-based DNA using a standard PCR-based method, with Multiplex PCR Kit (Qiagen, Germany), using F2/R1 pair of primers following Bantock et al. (2008) protocol. These primers target introns in ATP5A1—the alpha subunit of mitochondrial ATP synthase gene which represents a highly conservative unit of the genome (Bantock et al. 2008). The sex difference in intron length in PCR products was analyzed, with both pairs of primers clearly visible when separated on agarose gel (3.5%) stained with Midori Green Advanced DNA (Nippon Genetics, Japan) and viewed in UV light.

For a few individuals, the amount of extracted DNA was not sufficient to successfully amplify the target DNA region (21%), so we applied a discriminant function to determine their sex (Jakubas et al. 2014). The discriminant function estimated separately for adults ($D_{adults} = \text{wing length} \times 0.757 - \text{bill depth} \times 5.009 - 31.889$) and immatures ($D_{immatures} = \text{wing length} \times 0.824 - 52.473$) allows for birds to be sexed with 87 and 75% probability of correct sexing for adults and immatures, respectively. Since bill depth (one of the two measurements in the function for adults) was not measured, the average bill length for adults migrating through France (3.02 mm) from Jakubas et al. (2014) was used. Three individuals remained unsexed due to missing measurements and an insufficient amount of DNA, and were excluded from the analysis.

Data analyses

Based on the duplicate and triplicate samples, the variance coefficient of mercury concentration was calculated. If the coefficient > 15%, samples were excluded from the analyses, assuming unreliable estimation of mercury concentration. Of 106 samples, only 72 were further analyzed (23 adult males, 16 adult females, 17 immature males, 16 immature females). Mercury concentration was modeled in regard to age, sex, and age × sex interaction (fixed effects) using general liner mixed model with REML method [package *lme4*, Bates et al. 2015]. Since mercury concentration was measured multiple times for each individual, bird identity was included as a random effect to address potential problem of pseudoreplication. The response variable was log-transformed prior the analysis to meet assumptions of normality among residuals. To test significance of fixed effects, Wald tests were used. All of the analyses were performed in R (v.3.3.1, R Core Team 2016).

Table 2 Mercury concentration ($\mu\text{g/g dw}$) of the aquatic warbler in regard to age and sex

Age	Sex	Number	Mean $\pm$ SD	Median	Minimum	Maximum
Immatures	Female	16	3.74 ± 1.11	3.49	1.11	9.88
Immatures	Male	17	4.02 ± 2.86	3.24	0.96	12.76
Adult	Female	16	1.31 ± 1.11	0.88	0.58	5.04
Adult	Male	23	0.84 ± 0.48	0.69	0.38	2.60

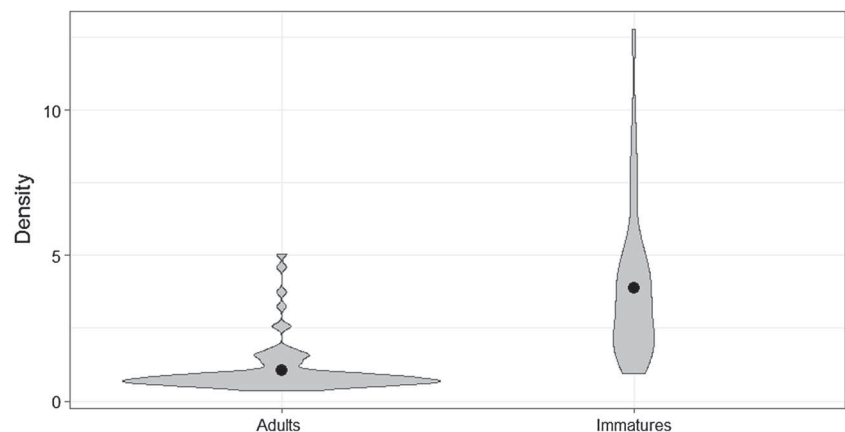
Results and discussion

A first report of mercury concentration in the aquatic warbler, feathers of 72 individuals, had an average concentration of $2.32 \mu\text{g/g dw}$ (95% CI $1.95\text{--}2.67 \mu\text{g/g dw}$; range $0.38\text{--}12.76$; Table 2). Of all explanatory variables, age was the most significant factor (LMM, $F_{1,68} = 90.57$, $p < 0.001$), with adult birds having significantly lower mercury concentration than immatures (Wald test, $t = 5.45$, $p < 0.001$; Fig. 1). The other two variables were of less important and insignificant (LMM, sex $F_{1,68} = 1.57$ $p = 0.21$; age $\times$ sex $F_{1,68} = 2.05$, $p = 0.16$).

Average value for all studied individuals were lower than the critical value of $5 \mu\text{g/g dw}$ considered to impair the health of individuals (Burger and Gochfeld 1997). It is possible that Aquatic Warblers have a defense mechanism enabling them to detoxify and/or tolerate the toxic substance in the body. Rainio et al. (2012) found that migratory insectivorous bird species have high activity levels of the hepatic ethoxyresorufin-*O*-deethylase enzyme, while the enzyme's activity is positively associated with the level of environmental contamination. Such a mechanism could evolve due to a wider range of natural toxins consumed by insectivore migratory species (Rainio et al. 2012). However, few individuals did exceed $5 \mu\text{g/g dw}$ (seven immatures and two adults, representing 12.5% of our sample), with the highest outliers at $12.7 \mu\text{g/g dw}$. Also, comparing to other passerine species (Table 1), the values recorded for the aquatic warbler are notably high. Our findings indicate that aquatic warblers are exposed to the mercury contamination, with the contamination potentially representing a previously neglected threat for this globally endangered species.

Generally, older individuals tend to have higher residual contaminant concentrations in feathers due to bio-magnification processes, with numerous empirical studies showing age-specific differences in mercury concentration (e.g., Evers et al. 1998; Barbieri et al. 2010). Interestingly, here, immatures exhibited a higher mercury burden (Fig. 1, Table 2), with an average concentration of $3.88 \pm 2.59 \mu\text{g/g dw}$ compared to $1.08 \pm 0.79 \mu\text{g/g dw}$ in adults. However, the difference should be primarily interpreted in the context of spatially differentiated growing areas of the sampled feathers. Hence, the birds would experience higher exposure to mercury contamination on the breeding grounds (where feathers of individuals aged as first-calendar year in autumn have grown) across continental eastern and central Europe than on the wintering grounds (where all individuals in their second-calendar year or older replace all their feathers once a year at the end of the winter period) in sub-Saharan western Africa. Sampled individuals were captured during their autumn migration; consequently, we are not certain of their true breeding origin. However, recent work in France revealed that most of the world's breeding population of aquatic warblers likely migrate by a western flyway over France and Spain (Jiguet et al. 2011). We can therefore consider that the sampled individuals likely originate from the largest breeding populations located in Poland, Belarus, and Ukraine. It is unclear whether the vast floodplains along main rivers, such as the Pripjat in Belarus or the Vistula in Poland, could have been contaminated by heavy metals more than the same kind of habitats in western Africa. However, this alone could explain the difference found here between European and African grown feathers and, as such,

Fig. 1 Distribution of mercury concentration [$\mu\text{g/g dw}$] in feathers of adults (feathers growing in wintering grounds in sub-Saharan West Africa) and immatures (feathers growing in continental floodplains of eastern Europe) of migrating Aquatic Warblers. Dots represent average values



highlights the issue of the potential threat to the aquatic warbler on its breeding grounds.

We expected to find some sex differences in mercury concentration in the aquatic warbler, as, in general, adult females have a possibility to transfer contaminants to eggs and therefore may have lower mercury concentrations compared to males (Burger et al. 2008). However, we did not find a statistically significant effect of sex in both age groups explaining variation in the mercury concentration. This clearly shows that the processing of mercury contamination in wild species remains far from our understanding.

Where and how exactly aquatic warblers intake mercury remains unclear. Inhabiting and foraging in habitats such as marches and fen mires across continental Europe (BirdLife International 2016), that are far from both natural and anthropogenic sources of mercury, birds are not directly exposed to the contamination. However, birds may easily intake mercury through their diet, e.g., large insects developing in aquatic habitats (Kerbiriou et al. 2011), that in turn are believed to be usually good mercury source. Wetlands are known to be important natural sources of methyl mercury, with sites of net methyl mercury production (St. Louis et al. 1994). Also, due to global circulation system, biological mercury hot spots often do not occur close to mercury emitting sources (Evers et al. 2012).

Conclusions

Our results indicate that aquatic warblers are exposed to mercury contamination, especially during the breeding season in continental Europe (average concentration for summer-grown feathers 3.88 µg/g dw, which is high compared with other passerines). The relatively high level of contamination suggests mercury pollution as a previously underestimated threat to this vulnerable species. We suggest that mercury concentrations should be measured in prey of the Aquatic Warbler at various breeding sites, to check if their food is the source of mercury contamination. We also suggest further studies on aquatic warbler populations to analyze temporal series and determine when mercury exposure may become a threat to the species. We hope our results will encourage researchers to examine the issue in other passerine species, as successful future bird conservation strategies depend on our understanding of various threats faced by endangered populations.

Acknowledgments The capture, ringing, and feather sampling of birds were conducted under the licenses required by the corresponding national authorities, following standard protocols and releasing the birds unharmed on site. Permits and rings were provided by the Ministry of Environment and the Regional Government of Castilla y León in Spain (EP/LE/201/2005, EP/CYL/199/2007, EP/CYL/163/2008) and by CRBPO, Muséum National d'Histoire Naturelle, France, for work in France. Great thanks go to all ringers and volunteers during their ringing activities. Also, many thanks to Małgorzata Chrostek for the help in

molecular sexing. We also would like to thank to Bartek Cieřlik and Małgorzata Rutkowska for the laboratory assistance and George Day for the English improvement.

Compliance with ethical standards

The authors declare that they have no conflict of interest.

Open Access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

References

- Ackerman JT, Eagles-Smith CA, Herzog MP, Hartman CA, Peterson SH, Evers DC, Jackson AK, Elliott JE, Vander Pol SS, Bryan CE (2016) Avian mercury exposure and toxicological risk across western North America: a synthesis. *Sci Total Environ* 568(15):749–769
- Adout A, Hawlena D, Maman R, Paz-Tal O, Karpas Z (2007) Determination of trace elements in pigeon and raven feathers by ICPMS. *Int J Mass Spectrom* 267:109–116
- Bantock TM, Prys-Jones RP, Lee PLM (2008) New and improved molecular sexing methods for museum bird specimens. *Mol Ecol Res* 8: 519–528
- Barbieri E, de Andrade PE, Filippini A, Souza dos Santos I, Borges Garcia CA (2010) Assessment of trace metal concentration in feathers of seabird (*Larus dominicanus*) sampled in the Florianópolis, SC, Brazilian coast. *Environ Monit Assess* 169: 631–638
- Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S (2015) Fitting linear mixed-effects models using lme4. *J Stat Soft* 67:1–48
- BirdLife International (2016) Species factsheet: *Acrocephalus paludicola*
- Briedis M, Keiřs O (2016) Extracting historical population trends using archival ringing data—an example: the globally threatened aquatic warbler. *J Ornithol* 157:419–425
- Burger J, Gochfeld M (1997) Risk, mercury levels, and birds: relating adverse laboratory effects to field biomonitoring. *Environ Res* 75: 160–172
- Burger J, Gochfeld M, Sullivan K, Irons D, McKnight A (2008) Arsenic, cadmium, chromium, lead, manganese, mercury and selenium in feathers of black-legged kittiwake (*Rissa tridactyla*) and black oystercatcher (*Haematopus bachmani*) from Prince William Sound, Alaska. *Sci Total Environ* 398:20–25
- Costa RA, Eeva T, Eira C, Vaqueiro J, Vingada JV (2013) Assessing heavy metal pollution using great tits (*Parus major*): feathers and excrements from nestlings and adults. *Environ Monit Assess* 185: 5339–5344
- Dauwe T, Janssens E, Bervoets L, Blust R, Eens M (2004) Relationships between metal concentrations in great tit nestlings and their environment and food. *Environ Pollut* 131:373–380
- Evers DC, Kaplan JD, Meyer MW, Reaman PS, Braselton WE, Major A, Burgess N, Scheuhammer AM (1998) Geographic trend in mercury measured in common loon feathers and blood. *Environ Toxicol Chem* 17:173–183
- Evers DC, Jackson AK, Tear TH, Osborne CE (2012) Hidden risk: mercury in terrestrial ecosystems of the northeast. Biodiversity research institute. Gorham, Maine. BRI Report 2012-07. 33 pages
- Evers DC, Keane SE, Basu N, Buck D (2016) Evaluating the effectiveness of the Minamata Convention on Mercury: principles and recommendations for next steps. *Sci Total Environ* 569–570:888–903

- Fitzgerald W (1989) Atmospheric and oceanic cycling of mercury. In: Riley J, Chester R (eds) Chemical oceanography. Academic Press, New York, pp 151–186
- Flade M, Lachmann L (2008) Species action plan for the aquatic warbler *Acrocephalus paludicola*. BirdLife International, European Commission, Cambridge
- Frias JE, Gil MN, Esteves JL, García Borboroglu P, Kane OJ, Smith JR, Boersma PD (2012) Mercury levels in feathers of Magellanic pen-guins. Mar Pollut Bull 64:1265–1269
- Goede AA, de Bruin M (1986) The use of bird feathers for indicating heavy metal pollution. Environ Monit Assess 7:249–256
- Jakubas D, Wojczulanis-Jakubas K, Foucher J, Dziarska-Palac J, Dugue H (2014) Age and sex differences in fuel load and biometrics of aquatic warblers *Acrocephalus paludicola* at an autumn stop-over site in the Loire estuary (NW France). Ardeola 61:15–30
- Janssens E, Dauwe T, Bervoets L, Eens M (2001) Heavy metals and selenium in feathers of great tits (*Parus major*) along a pollution gradient. Environ Toxicol Chem 20:2815–2820
- Janssens E, Dauwe T, Bervoets L, Eens M (2002) Inter- and intralut variability in heavy metals in feathers of great tit nestlings (*Parus major*) along a pollution gradient. Arch Environ Contam Toxicol 43: 323–329
- Jaspers V, Dauwe T, Pinxten R, Bervoets L, Ronny B, Eens M (2004) The importance of exogenous contamination on heavy metal levels in bird feathers. A field experiment with free-living great tits, *Parus major*. J Environ Monit 6:356–360
- Jiguet F, Chiron F, Dehorter O, Dugué H, Provost P, Musseau R, Guyot G, Latraube F, Fontanilles P, Séchet E, Laiguel J, Gruwier X, Le Nevé A (2011) How many aquatic warblers *Acrocephalus paludicola* stop over in France during the autumn migration? Acta Ornithologica 46:135–142
- Julliard R, Bargain B, Dubos A, Provost P, Jiguet F (2006) Identifying fall migration bottlenecks for the globally threatened aquatic warbler (*Acrocephalus paludicola*). Ibis 148:735–743
- Kerbirou C, Bargain B, Le Viol I, Pavoin S (2011) Diet and fuelling of the globally threatened aquatic warbler at autumn migration stop-over as compared with two congeners. Anim Conserv 14:261–270
- Laffaille P, Lefeuvre J-C, Feunteun E (2000) Impact of sheep grazing on juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax* L., in tidal salt marshes. Biol Conserv 96:271–277
- Leonzio C, Bianchi N, Gustin M, Sorace A, Ancora S (2009) Mercury, lead and copper in feathers and excreta of small passerine species in relation to foraging guilds and age of feathers. Bull Environ Contam Toxicol 83:693–697
- Miguélez D, Zumalacárregui C, Fuertes B, Astiárraga H, González-Jáñez R, Roa I, de la Calzada F (2009) Habitat, phenology and biometrics of the aquatic warbler *Acrocephalus paludicola* during autumn migration through a riverine wetland in Iberia. Ringing & Migration 24(4):277–279. <https://doi.org/10.1080/03078698.2009.9674403>
- Miguélez D, García J, Zumalacárregui C, Fuertes B (2014) Does the aquatic warbler *Acrocephalus paludicola* show differential migration by age during the autumn in the Iberian Peninsula. J Ornithol 155:829–833
- Muñoz-Adalia EJ, Jubete F, Zumalacárregui C, Baglione V (2015) Hydrological management in a restored wetland affects stopover ecology of aquatic warbler: the case of La Nava wetland, northern Spain. Ornithol Sci 14(89):89
- Newton I (2008) The migration ecology of birds. Academic Press, London
- Ochoa-acuña H, Sepúlveda MS, Gross TS (2002) Mercury in feathers from Chilean birds: influence of location, feeding strategy, and taxonomic affiliation. Mar Pollut Bull 44:340–349
- R Core Team (2016) A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Rainio MJ, Kanerva M, Wahlberg N, Nikinmaa M, Eeva T (2012) Variation of basal EROD activities in ten passerine bird species—relationships with diet and migration status. PLoS One 7(3):e33926. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033926>
- Risch MR, DeWild JF, Gay DA, Zhang L, Boyer EW, Krabbenhoft DP (2017) Atmospheric mercury deposition to forests in the eastern USA. Environ Pollut 228:8–18
- Salewski V, Flade M, Poluda A, Kiljan G, Liechti F, Lisovski S, Hahn S (2013) An unknown migration route of the ‘globally threatened’ aquatic warbler revealed by geolocators. J Ornithol 154:549–552
- Seewagen CL (2010) Threats of environmental mercury to birds: knowledge gaps and priorities for future research. Bird Conservation Int 20:112–123
- Selin NE, Selin H (2006) Global politics of mercury pollution: the need for multi-scale governance. Reciel 15 (3), ISSN 0962 8797
- St.Louis VL, Rudd JWM, Kelly CA, Beaty KG, Bloom NS, Flett RJ (1994) Importance of wetlands as sources of methyl mercury to boreal forest ecosystems. Can J Fish Aquat Sci 51(5):1065–1076
- Stewart FM, Phillips RA, Bartle JA, Craig J, Shooter D (1999) Influence of phylogeny, diet, moult schedule and sex on heavy metal concentrations in New Zealand Procellariiformes. Mar Ecol Prog Ser 178: 295–305
- Svensson L (1992) Identification guide to European passerines, 4th edn. ISBN-13: 978-9163011184
- Ullrich SM, Tanton TW, Abdrashitova SA (2001) Mercury in the aquatic environment: a review of factors affecting methylation. Crit Rev Environ Sci Technol 31:241–293
- Wang X, Bao Z, Che-Jin L, Yuan W, Feng X (2016) Assessment of global mercury deposition through litterfall. Environ Sci Technol 50(16): 8548–8557
- Zolfaghari G, Esmaili-Sari A, Ghasempouri SM, Baydokhti RR, Kiabi BH (2009) A multispecies-monitoring study about bioaccumulation of mercury in Iranian birds (Khuzestan to Persian Gulf): effect of taxonomic affiliation and trophic level. Environ Res 109:830–836