



STRATÉGIE DE MIGRATION DU BRUANT ORTOLAN

RAPPORT FINAL DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Publié le 16 Décembre 2016



Préparé par le comité scientifique de l'étude :

Frédéric Jiguet (France, CESCO, Muséum National d'Histoire Naturelle)
Raphaël Arlettaz (Suisse, Université de Bern & Swiss Ornithological Institute)
Viktor Belik (Russie, Rostov Southern Federal University)
Petra Bernardy (Allemagne, chercheur indépendant)
José Luis Copete (Espagne, projet Handbook of the Birds of the World)
Michel Alexandre Czajkowski (France, Oiseaux Migrateurs du Paléarctique Occidental)
Svein Dale (Norvège, Université Norvégienne des Sciences de la Vie)
Valery Dombrowski (Biélorussie, Académie Nationale des Sciences)
Jaanus Elts (Estonie, Université de Tartu)
Yves Ferrand (France, Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage)
Simonas Minkevicius (Lituanie, chercheur indépendant)
Markus Piha (Finlande, Museum Finlandais d'Histoire Naturelle)
Gunnar Selstam (Suède, Université de Umeå)
Michał Skierczyński (Pologne, Université de Poznan)
Jean-Philippe Sibley (France, Service du Patrimoine Naturel, MNHN)
Alexandr Sokolov (Russie, Réserve Naturelle d'Etat de Belgorie)

Observateurs du comité scientifique : Régis Hargues (FDC40), Laurent Couzi (LPO Aquitaine)

Autres collègues ayant participé aux analyses de données : Caroline Moussy (MNHN), Keith Hobson & Kevin Kardynal (Western University, Ontario, Canada), Felix Liechti (Swiss Ornithological Institute, Suisse)



L'étude rapportée ici est issue d'un cahier des charges établi par le MNHN en partenariat avec l'ONCFS



Le cahier des charges de l'étude a été développé à la demande du Ministre français en charge de l'environnement.



Cette étude a été financée par les organisations suivantes : le Conseil Général des Landes, la Région Aquitaine puis Nouvelle Aquitaine, la Fédération Départementale des Chasseurs des Landes (FDC40), l'Association Départementale des Chasses Traditionnelles à la Matole (ADCTM), le Ministère français en charge de l'environnement.



Des financements supplémentaires ont été obtenus auprès du Labex BCDiv au MNHN (CNRS), et les agents et collaborateurs du CRBPO-MNHN ont été mobilisés sur le terrain pour capturer des bruants ortolans.

REMERCIEMENTS

Il faut préciser ici que cette étude n'aurait pas été possible sans la volonté et l'énergie des représentants locaux du département des Landes, incluant les défenseurs de la ruralité et des traditions locales. Leur ténacité, leur soutien indéfectible et leurs encouragements répétés ont rendu cette étude possible, de sorte que l'on peut considérer que les résultats obtenus sont les leurs. Nos remerciements vont également à tous les collaborateurs qui ont collecté les données et les échantillons sur le terrain dans toute l'Europe, ainsi qu'aux collègues qui ont analysé une partie des données, notamment Caroline Moussy (MNHN; génétique et photomètres), Felix Liechti (Station Ornithologique Suisse ; photomètres SOI), Keith Hobson et Kevin Kardynal (Western University, Ontario, Canada; isotopes stables). Remerciements particuliers pour Vincent Graffin, et Eric Pasquet et toute l'équipe du Service de Systématique Moléculaire au MNHN.



SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	4
INTRODUCTION.....	5
I. SITES D'ÉTUDE, MATÉRIELS ET ÉCHANTILLONS.....	6
1) Sites d'étude où nous avons travaillé	
2) Plumes échantillonnées	
3) Photomètres géolocalisateurs	
II. TROIS VOIES DE MIGRATION.....	7
1) Une nette ligne de partage de migration est / ouest révélée par les photomètres.....	7
2) La ligne de partage est/ouest confirmée par les isotopes stables.....	8
3) La structuration génétique des populations précise la position de la ligne de partage.....	9
4) Résumé graphique.....	10
III. ORIGINE DES BRUANTS ORTOLANS MIGRANT PAR LE SUD-OUEST DE LA France.....	11
IV. ORIGINE DES BRUANTS ORTOLANS MIGRANT PAR LA VOIE ORIENTALE.....	12
V. TAILLES ET TENDANCES DES POPULATIONS SUR CHAQUE VOIE DE MIGRATION.....	13
1) Voie orientale.....	13
2) Voie occidentale.....	13
a) Voies occidentale et centrale.....	14
b) Effectifs et tendances des migrateurs passant par la France.....	14
c) Effectifs et tendances des migrateurs passant par le sud-ouest de la France.....	15
VI. CONCLUSIONS.....	17
Annexe 1. Rapport photomètres géolocalisateurs.....	18
Annexe 2. Rapport isotopes stables.....	36
Annexe 3. Rapport génétique.....	51
Annexe 4. Cahier des charges officiel de l'étude.....	66
Annexe 5. Article publié. Jiguet <i>et al.</i> (2016) An update of European breeding population sizes and trends of the Ortolan Bunting (<i>Emberiza hortulana</i>). <i>Ornis Fennica</i> 93: 186-196.....	86
Matériel électronique additionnel : 3 fichiers Excel (1) ESM1 - les calculs des tailles de population et de leurs tendances, (2) ESM2 - les données de géolocalisation des photomètres, (3) ESM3 - les données de reprise de bagues étrangères de la base de données du CRBPO.	

RÉSUMÉ

Durant cinq années, nous avons mené un programme de recherches pour identifier les voies de migration des bruants ortolans (*Emberiza hortulana*) nichant en Europe. Les objectifs étaient de déterminer les effectifs utilisant chaque voie de migration et leurs tendances d'évolution récentes, d'identifier les sites de halte migratoire et d'hivernage. Il s'agissait aussi de déterminer l'origine des bruants ortolans migrant par les Landes, avec une attention particulière pour les populations nichant en Russie. Grâce à des données de photomètres géolocalisateurs, de génétique et d'isotopes stables, nous avons mettre en évidence deux principales voies de migration (orientale et occidentale) utilisées par les ortolans européens, les photomètres révélant même l'existence d'une troisième voie de migration (centre-européenne).

La voie orientale est utilisée par les populations nichant en Russie et dans tous les pays situés à l'Est d'une ligne de partage reliant la Biélorussie à la Serbie. Cette voie orientale est empruntée par environ 4.283.250 couples (intervalle 2.907.250 à 6.310.500 couples), représentant 90% de la population européenne, avec une tendance récente au déclin, estimé entre -10% et -20% (de 2000 à 2014). Ces oiseaux hivernent sur les hauts plateaux éthiopiens et érythréens. Ils nichent surtout en Russie, Turquie, Roumanie, Bulgarie et Azerbaïdjan.

La voie occidentale est utilisée par les populations nichant à l'ouest de la ligne de partage située dans le centre de l'Europe. Ces oiseaux hivernent en Afrique de l'Ouest, de la Sierra Leone au sud de la Mauritanie et du Mali, surtout en Guinée. Cette voie est empruntée par environ 468.700 couples (354.622 à 619.479), représentant 10% de la population nicheuse européenne. La tendance récente est au déclin, estimé entre -10% et -20% (de 2000 à 2014). Les principaux sites de halte migratoire sont situés en Espagne et dans le nord du Maroc, les Landes étant survolées par une partie de ces oiseaux. En effet, deux routes de migration peuvent être séparées sur cette voie occidentale. Plus une population nicheuse est occidentale, plus sa route de migration est atlantique. Les nicheurs plus orientaux (comme presque tous les ortolans finlandais et baltes) suivent une route continentale puis méditerranéenne, survolant l'Est de la Pologne pour rejoindre le nord de l'Italie, suivant ensuite les côtes méditerranéennes françaises puis espagnoles ; ils ne visitent pas le sud-ouest de la France. Les nicheurs occidentaux (la plupart des suédois, tous les allemands et probablement tous les norvégiens) empruntent une route atlantique, entrant en France du Nord à l'Alsace et passant à l'ouest des Pyrénées, passant par le sud-ouest de la France.

Nous estimons que 81.000 couples (entre 46.000 et 116.000) empruntent cette route atlantique, selon différents scénarios sur les proportions de certaines populations nationales utilisant les routes continentale et atlantique, respectivement. Parmi ceux-ci, environ 75% proviennent de Pologne. La tendance récente de ces populations est au déclin, estimé entre -20% et -30% (de 2000 à 2014). Ce qui signifie qu'actuellement, cet ensemble de populations diminue en moyenne d'environ 1.500 couples chaque année (3,000 individus matures au printemps). Les ortolans nichant en Russie n'utilisent pas la voie de migration occidentale, seulement la voie orientale.

Enfin, une part indéterminée des populations nichant à l'ouest de la ligne de partage de migration empruntent une troisième voie, centrale, atteignant l'Afrique par la Tunisie ou la Libye, probablement pour hiverner au Nigéria. Des individus nichant en Pologne et en Finlande utilisent cette voie centrale, qui pourrait être la voie normale pour les ortolans nichant en Italie, Slovénie, Croatie et Bosnie, mais aussi en Slovaquie, Autriche et Hongrie. Cette troisième voie de migration étant empruntée par une partie des populations finlandaises et polonaises, la proportion réelle de ces oiseaux empruntant la route atlantique de la voie occidentale est probablement plus faible que retenu dans le scénario médian de cette étude, impactant alors les estimations de taille de population passant par le sud-ouest de la France.



INTRODUCTION

Dans le contexte du statut de protection du Bruant ortolan, inscrit à l'Annexe I de la Directive Oiseaux, et faisant l'objet d'une chasse traditionnelle durant sa migration d'automne dans le sud-ouest de la France, le Ministère en charge de l'environnement a demandé au Muséum National d'Histoire Naturelle, aidé par l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, d'établir le cahier des charges d'une étude permettant d'identifier la stratégie de migration de l'espèce à l'échelle du continent. Ce cahier des charges a été validé en préfecture des Landes en 2013 par toutes les parties prenantes, incluant fédération et associations de chasseurs, et associations de protection de la nature, dont le partenaire français de BirdLife International.

Les principaux objectifs de l'étude étaient les suivants :

- Identifier les principales voies de migration et les zones d'hivernage des populations nichant en Europe ;
- déterminer l'origine, le nombre et la tendance temporelle récente des bruants ortolans migrant par le sud-ouest de la France ;
- identifier les principaux sites de halte migratoire en automne et au printemps sur chaque voie de migration ;
- déterminer l'importance des populations d'ortolan nichant en Russie parmi les migrateurs visitant le sud-ouest de la France.

Pour obtenir les éléments de réponse, nous avons utilisé trois techniques principales : les photomètres géolocalisateurs, les isotopes stables et la génétique. Le travail de terrain a été mené dans de nombreux pays sur des populations nicheuses (Espagne, France, Serbie, Grèce, Russie, Biélorussie, Finlande, Suède, Norvège, Estonie, Lituanie, Pologne, Allemagne) ou sur des sites de migration (France, Koweït, Israël).

Les photomètres sont de petits appareils électroniques, pesant moins de 0,8 grammes et attachés sur le dos des oiseaux avec un harnais. Ils enregistrent l'intensité lumineuse, et s'ils sont récupérés, les données permettent de recalculer la position approximative du photomètre, donc de l'oiseau, à partir de la durée du jour et de la nuit, et de l'heure du zénith, dépendant chacun de la latitude et de la longitude à une date donnée.

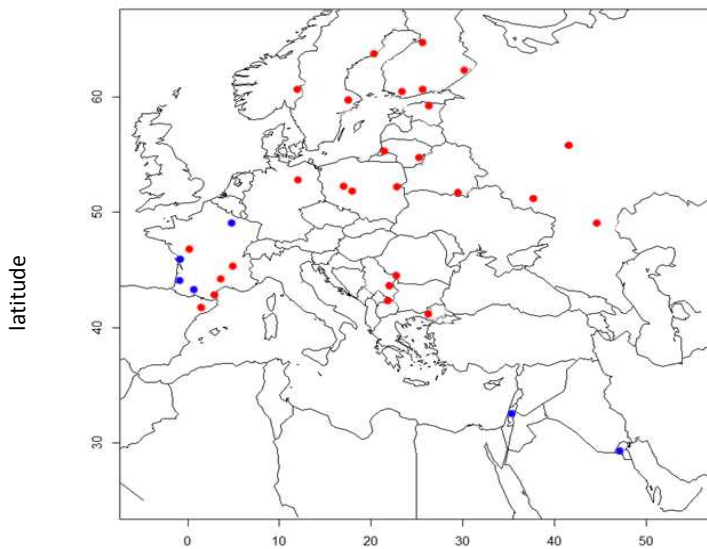
Les isotopes stables sont des variations d'un même atome avec différents nombres de neutrons (mais le même nombre de protons et d'électrons). Les plus connus sont le ^{12}C et le ^{13}C utilisés par exemple pour dater les matériaux organiques. Une plume d'oiseau présente une concentration en deutérium (isotope stable de l'hydrogène) proportionnelle à celle des eaux de pluie où elle a poussé, celle des eaux de pluie présentant une forte structuration continentale latitudinale en Europe. Etudier les concentrations en deutérium des plumes permet donc de définir des zones probabilistes où ces plumes ont poussé (dans le nid pour les jeunes ou durant une mue). En fait, on identifie les zones géographiques où les signatures isotopiques de l'environnement sont similaires à celles où les plumes ont poussé.

Enfin, en cartographiant la variabilité génétique des populations nichant sur tout le continent, de l'Espagne à l'est de la Russie européenne, et en étudiant le génotype des migrateurs capturés dans le sud-ouest de la France et au Koweït, il a été possible d'assigner ces migrateurs à des zones d'origine probabilistes.

En combinant ces trois approches complémentaires, nous avons pu identifier clairement deux voies principales de migration, orientale et occidentale, avec une ligne de partage traversant le centre de l'Europe.

I. SITES D'ÉTUDE, MATÉRIEL ET ÉCHANTILLONS

1) Sites d'étude où nous avons travaillé



En mobilisant des collaborateurs à travers toute l'Europe, nous avons pu étudier des populations nicheuses des pays suivants : Espagne, France, Allemagne, Pologne, Serbie, Grèce, Biélorussie, Lituanie, Estonie, Finlande, Suède, Norvège et Russie (trois sites russes : Belgorod près de l'Ukraine, Volgograd près du Kazakhstan, et Vladimir au nord-est de Moscou). La carte ci-contre montre les sites où des ortolans ont été capturés sur les zones de reproduction (points rouges) ou au cours de la migration (points bleus).

2) Plumes échantillonnées

Sur chaque ortolan capturé sur les sites de reproduction, nous avons prélevé quelques plumes du corps et une rectrice. Les couvertures du corps sont muées deux fois par an : une fois sur les sites de reproduction avant la migration d'automne, et une fois sur les zones d'hivernage avant la migration printanière (pour acquérir le plumage nuptial). Ainsi, les plumes du corps des adultes territoriaux ont été muées sur les sites d'hivernage, et auront donc des signatures isotopiques de ces zones africaines. La rectrice (plume de la queue) fournit du matériel génétique sur la hampe, et porte la signature isotopique de l'endroit où elle a poussé. Nous avons donc prélevé une rectrice sur chaque ortolan capturé en migration d'automne, pour obtenir du matériel génétique (hampe) et la signature isotopique de l'endroit où la plume a poussé, au nid (pour les jeunes de l'année) ou sur le site de reproduction avant la migration (pour les adultes). Nous avons aussi prélevé quelques plumes du corps sur les ortolans migrateurs capturés au printemps au Koweït et en Israël.

3) Photomètres géolocalisateurs

Seuls des mâles territoriaux ont été équipés de photomètres, car le matériel doit être récupéré pour avoir les données – et les mâles territoriaux ont une plus forte probabilité de revenir défendre un territoire l'année suivante au même endroit. Nous avons utilisé les photomètres Intigeo P65C2-7 (pesant 0.74g) de la société anglaise Migrate Technology, mais aussi des photomètres SOI-GL05.10, (0.5g) de l'Institut Suisse d'Ornithologie à Sempach. Les photomètres ont été fixés avec un harnais.



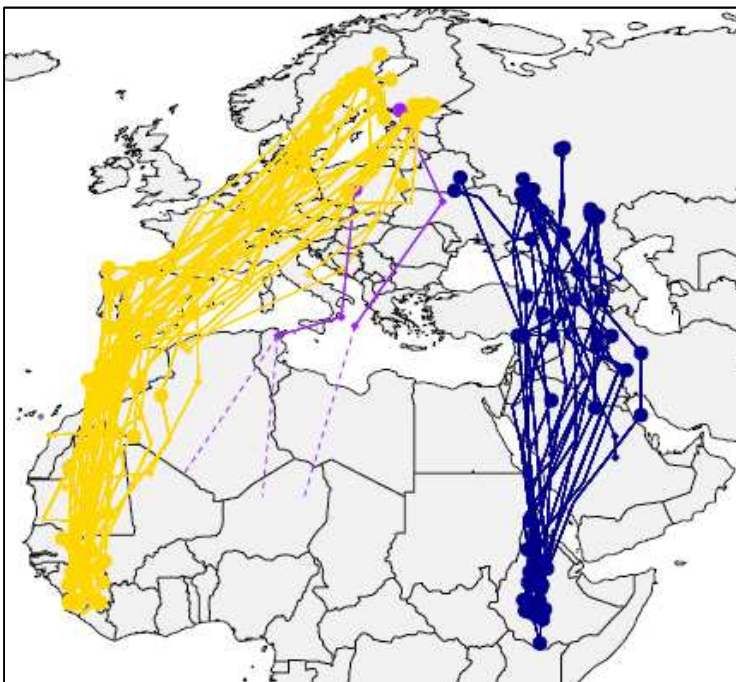
Gauche: mâle "blanc-blanc", capturé le 16 mai 2015 près de Volgograd, Russie ; on voit le photomètre sur son dos (photo F. Jiguet). Droite : le même mâle recapturé le 25 mai 2016, photomètre récupéré (photo J. Laignel).

II. TROIS VOIES DE MIGRATION

Les résultats des photomètres, de la génétique et des isotopes stables convergent pour identifier deux principales voies de migration utilisées par les populations nicheuses étudiées, alors que deux individus ont utilisé une troisième voie, probablement celle empruntée par les populations nichant dans le centre et le centre méridional de l'Europe.

1) Un nette ligne de partage de migration est/ouest révélée par les photomètres

Nous avons récupéré 13 photomètres suisses et 13 photomètres anglais qui contenaient des données, en 2014 (1), 2015 (1) et 2016 (24). Nos collègues suédois ont fourni les données de 9 photomètres anglais récupérés en 2014 et 2015, correspondant à 11 trajets de migration car 2 mâles ont été suivis pendant un an et demi. Petra Bernardy a aussi partagé les informations sur 16 ortolans équipés en Allemagne en 2014 et 2015.



La figure ci-contre présente les trajets annuels obtenus avec tous les photomètres anglais et suisses, identifiant très clairement deux voies principales de migration (en bleu et jaune) empruntées par les ortolans étudiés : une voie orientale, suivie par tous les oiseaux équipés sur les trois sites russes (Vladimir 1, Belgorod 5, Volgograd 5), and 1 individu de Biélorussie. Tous les individus utilisant cette voie orientale ont fait des haltes dans le Caucase et au Moyen-Orient en automne (de la Géorgie au nord de la Syrie et de l'Iran), s'arrêtant plus au sud au Moyen-Orient et au nord de la péninsule arabique au printemps. Ils ont tous passé l'hiver sur les hauts plateaux éthiopiens et érythréens. Aucun de ces 12 individus n'a emprunté une voie occidentale.

Les oiseaux dont les photomètres ont été posés dans les pays suivants ont emprunté la voie occidentale : Espagne (2), France (1), Lituanie (1), Pologne (1), Norvège (1), Suède (9), Finlande (6), Allemagne (16). Sur cette voie, les principales haltes migratoires ont eu lieu en Espagne et au nord du Maroc en automne. Ces oiseaux ont tous hiverné en Afrique de l'ouest, de la Sierra Leone au sud de la Mauritanie et du Mali, dans une vaste zone centrée sur la Haute Guinée.

Le long de cette voie occidentale, deux routes différentes sont empruntées en automne. Les nicheurs plus orientaux migrent au-dessus de l'est de la Pologne, du centre de l'Europe et du nord de l'Italie, avant de longer les côtes méditerranéennes françaises puis espagnoles pour gagner l'Afrique. Cette route est empruntée par tous les oiseaux suivis de Finlande utilisant la voie occidentale, et par l'individu lituanien. Pour la Suède, environ un quart des trajets correspondent à cette route méditerranéenne (3 sur 11). Les oiseaux des populations plus occidentales utilisent une route appelée ici atlantique, entrant en France par l'est et le nord, atteignant l'Espagne par l'ouest des Pyrénées, et donc survolant les Landes. Cette route concerne la plupart des trajets suédois (8 sur 11), tous les trajets allemands, et une partie inconnue mais probablement faible des oiseaux de Pologne. En effet, si 1 des 40 individus équipés de photomètre en Pologne en mai 2014 a été capturé sous une matole dans les Landes en septembre de la même année, les deux trajets obtenus avec des

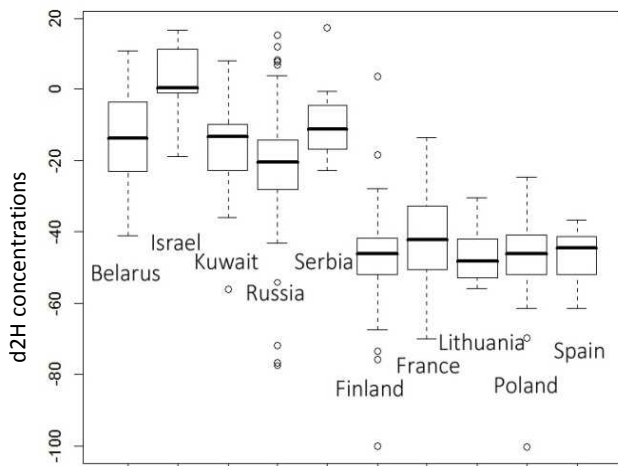
photomètres n'utilisent pas cette route atlantique. Aucun oiseau de Finlande ou des pays baltes n'a utilisé cette route atlantique.

Enfin, deux individus (l'un de Pologne, l'autre du sud-ouest de la Finlande), ont commencé leur migration d'automne le long d'une troisième voie, que nous appellerons centrale, avec des trajets enregistrés peut-être jusqu'en Libye quand le matériel a cessé de fonctionner. Ils étaient probablement en route vers les zones d'hivernage connues de l'espèce au Nigéria (voir les résultats des assignations isotopiques).

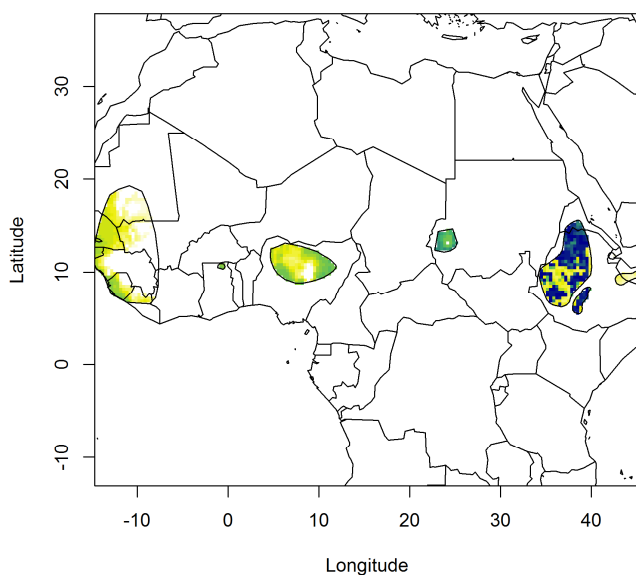
2) La ligne de partage est/ouest confirmée par les isotopes stables

L'analyse des concentrations en deutérium des plumes de corps collectées sur les sites de nidification – et qui ont donc poussé sur les sites d'hivernage – révèlent deux groupes distincts.

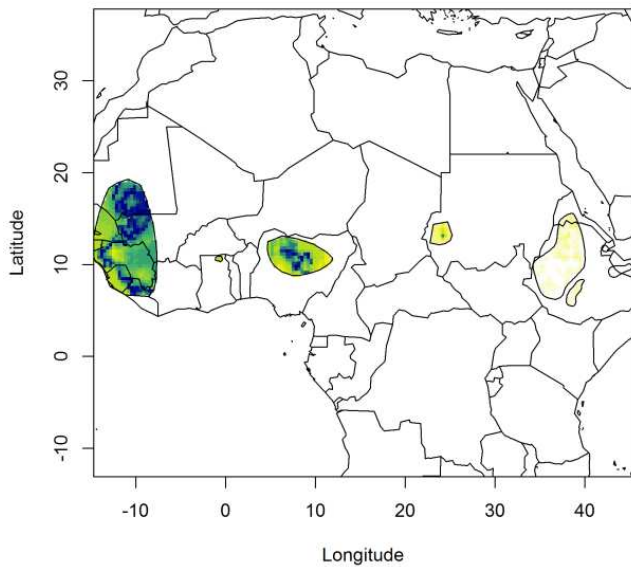
Des assignations d'origine probable, réalisées sur l'aire connue d'hivernage de l'espèce en Afrique, ont permis d'identifier les zones où ces plumes ont probablement poussé. Le premier groupe correspond à des oiseaux qui ont mué en Afrique de l'est (Éthiopie et Érythrée), le second groupe à des oiseaux qui ont mué en Afrique de l'ouest ou au nord du Nigéria. Évidemment, les oiseaux ayant mué en Afrique de l'est ont emprunté la voie de migration orientale, ceux qui ont mué en Afrique de l'ouest ont emprunté la voie occidentale. Les oiseaux utilisant la voie centrale hivernent probablement au Nigéria, où l'environnement isotopique est similaire à celui de l'Afrique de l'ouest.



Concentrations moyennes en deutérium des plumes de corps d'ortolans capturés au printemps et en reproduction, par pays. Deux groupes sont identifiables : concentrations en deutérium fortes (Biélorussie, Russie, Serbie, et migrateurs printaniers du Koweït et d'Israël), concentrations en deutérium plus faibles (Espagne, France, Pologne, Lituanie, Finlande). Test d'analyse de variance sur les deux groupes, $t=-25.4$, $df=539$, $P<0.0001$.



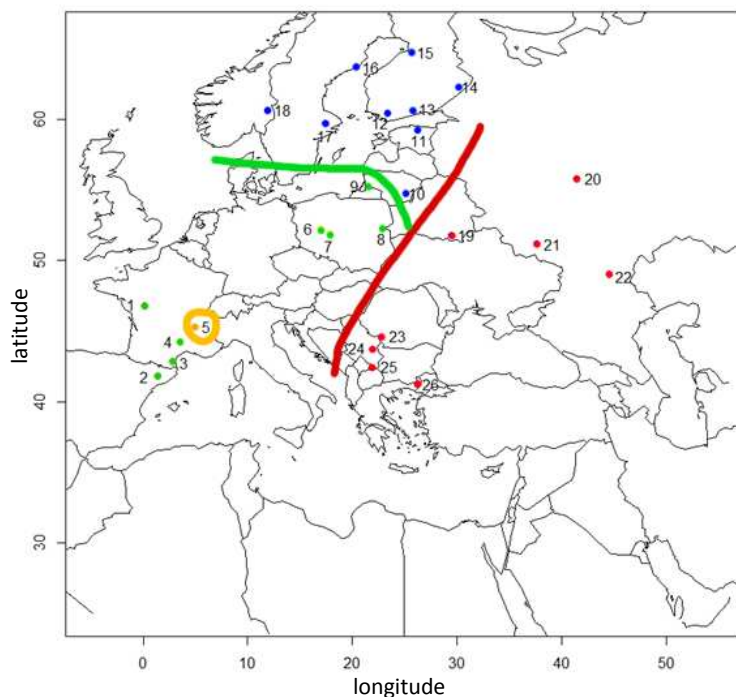
Zones probabilistes où les plumes de 297 individus de Biélorussie (43 individus), Russie (trois sites, 192 individus), Serbie (7), et les migrateurs printaniers d'Israël (10) et du Koweït (45) ont mué en hiver. Les plus fortes probabilités se situent dans la zone où les photomètres russes et biélorusses se trouvaient en hiver (Éthiopie/Érythrée). Les mêmes assignations limitées aux seuls oiseaux du nord de la Russie (13 individus) ou de Serbie sont très semblables. Pour les assignations par pays d'origine, se reporter à l'Annexe 2.



Zones probabilistes où les plumes de 238 individus de Finlande (139 individus), Lituanie (21 individus), Pologne (24), France (35) et Espagne (19) ont poussé en hiver. Les plus fortes probabilités se situent dans la zone d'hivernage où ont séjourné les photomètres posés en Allemagne, Norvège, Suède, Finlande, et Lituanie (Afrique de l'ouest), mais aussi au Nigéria. Pour les assignations par pays d'origine, se reporter à l'Annexe 2.

3) La structuration génétique des populations nicheuses précise la position de la ligne de partage

La variabilité génétique entre les populations nicheuses étudiées est faible (environ 1,3%). Dans un premier temps, cette variabilité a tout de même permis d'identifier deux groupes génétiques principaux : un dans le nord (Scandinavie, Finlande et pays baltes), et un dans le sud (de l'Espagne à la Russie) ; un troisième groupe très localisé comprend tous les oiseaux nicheurs de la Drôme, en France – une originalité inattendue qui ne peut être expliquée par une éventuelle contamination d'ADN ou des erreurs d'extraction, d'amplification ou de génotypage d'ADN. Dans un deuxième temps, des modèles statistiques bien ajustés aux données ont permis d'identifier quatre groupes distincts, séparant le précédent groupe 'sud' en deux groupes : un groupe oriental (avec les nicheurs de Serbie, Grèce, Biélorussie et Russie), et un groupe central/occidental (avec les nicheurs d'Espagne, France sauf la Drôme, Pologne, ouest de la Lituanie). Le groupe nordique comprend alors les populations nichant en Norvège, Suède, Finlande, Estonie et dans l'est de la Lituanie.



Les quatre groupes identifiés d'après la structure génétique des populations nicheuses (575 individus de 26 sites ; microsatellites, 21 loci). La ligne rouge sépare les populations attribuées aux voies de migration occidentale et orientale. La ligne verte sépare le groupe nordique du groupe occidental. Le cercle orange localise la population originale de la Drôme.

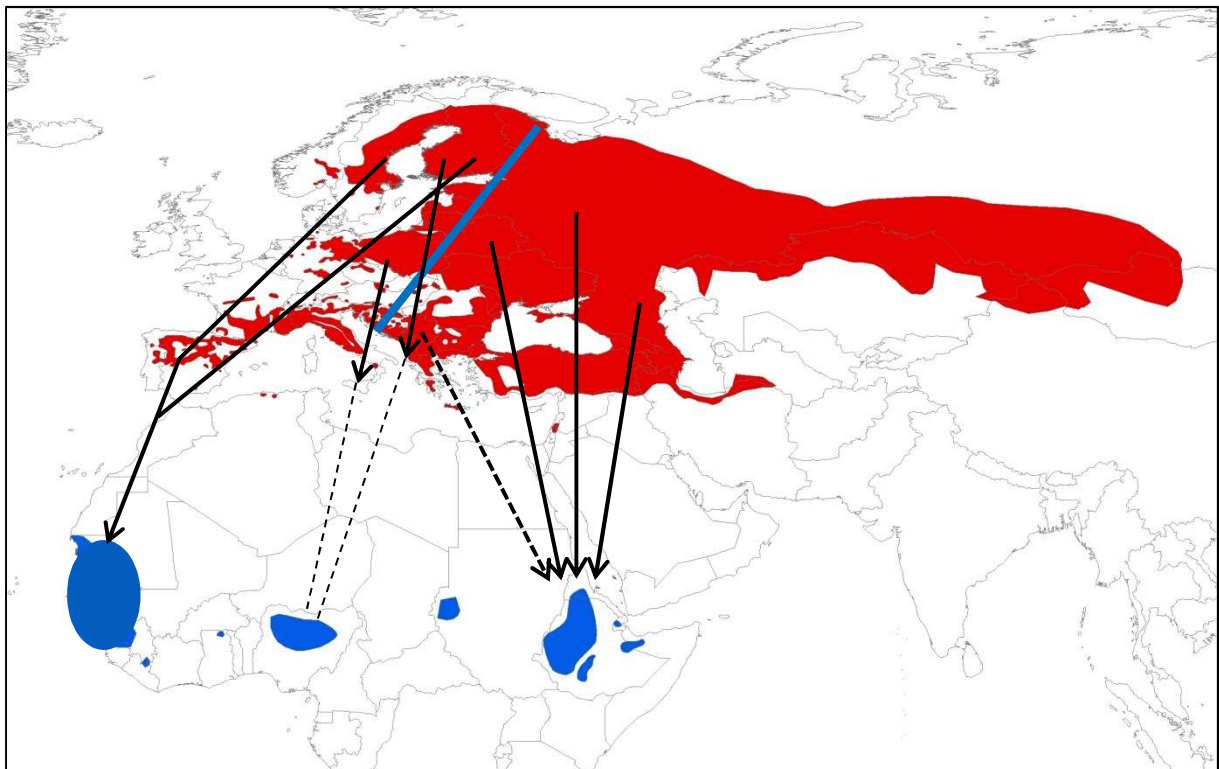
Les affinités génétiques orientales des populations nichant en Grèce et en Serbie, ainsi que les assignations isotopiques réalisées pour des individus originaires de Serbie et identifiant des zones d'hivernage en Éthiopie/Érythrée (voir Annexe 2), indiquent que ces populations utilisent la voie de migration orientale. La ligne rouge sur la carte ci-dessus représente ainsi la ligne de partage des voies de migration orientale et occidentale pour les bruants ortolans nichant en Europe.

Une donnée de reprise dans les Landes d'un Bruant ortolan bagué en Russie est considérée anecdotique (voir fichier Excel ESM1). Cet oiseau avait été bagué près de Saint Pétersbourg, une région colonisée par l'espèce au milieu du 20^e siècle depuis la Finlande (Carélie), mais ces populations russes nordiques ont subi un déclin drastique (comme en Finlande et en Estonie) et l'espèce est aujourd'hui absente de ces régions russes (voir Annexe 5). De plus, cet oiseau a été bagué à la fin du mois d'août, durant la migration d'automne, son origine réelle n'est donc pas connue. Trois autres reprises de bagues russes (deux de Leningrad, une de Kaliningrad) ont été obtenues en Italie durant la migration d'automne (oiseaux bagués en 1971 et repris en 1971, 1973 et 1973), confirmant que les populations qui nichaient auparavant au nord-ouest de la Russie migraient principalement par la route méditerranéenne de la voie occidentale, comme les nicheurs finlandais actuels. [informations de S.P. Kharitonov *vide* M.A. Czajkowski].

4) Résumé graphique

Les trois voies de migration identifiées, utilisées par les bruants ortolans européens :

- la voie orientale, avec des routes multiples convergeant vers les zones d'hivernage en Éthiopie ;
- la voie centrale, mais les trajets enregistrés n'atteignent pas les zones d'hivernage, potentiellement au Nigéria ;
- la voie occidentale, avec deux routes distinctes, l'une atlantique, l'autre continentale puis méditerranéenne.

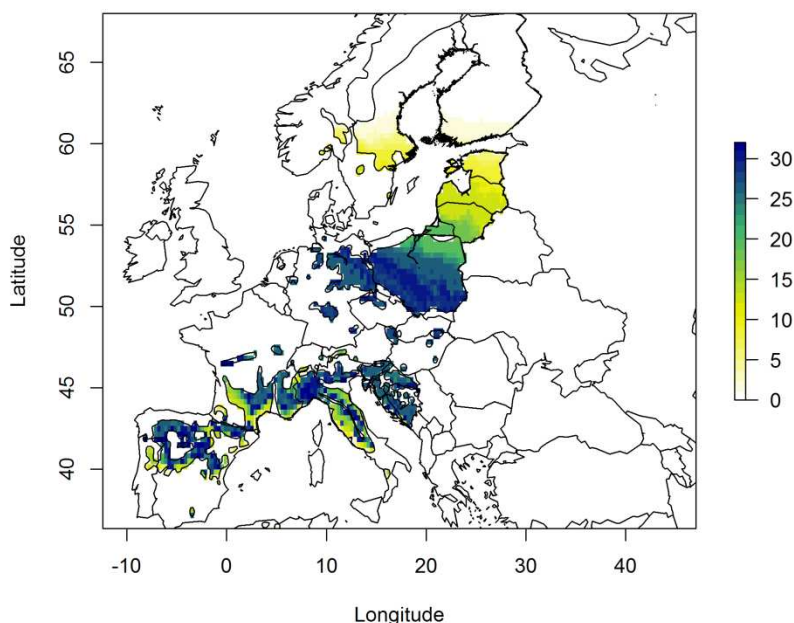


III. ORIGINE DES BRUANTS ORTOLANS MIGRANT PAR LE SUD-OUEST DE LA FRANCE

Durant les automnes (fin août et septembre) 2012, 2013, 2014 et 2015, les bagueurs du CRBPO ont tenté des captures de bruants ortolans en migration en France. Ils ont capturé, bagué, échantillonné (une rectrice pour l'ADN et les isotopes stables) puis relâché 40 individus, principalement dans les Landes et en Vendée (28), mais aussi en Gironde (5), Haute-Garonne (4), Haute Marne (2), Charente-Maritime (1) et Pas de Calais (1) (voir les ronds bleus sur la carte page 6).

Nous avons ajouté à cet échantillon les plumes de 34 individus de première année calendaire, saisis par l'ONCFS dans les Landes et bagués au centre de soins Alca Torda avant d'être relâchés. Les autres individus saisis, qui sont soit de statut inconnu soit des appelants avérés (défaut de coloration, papillomatose étendue des doigts), n'ont pas été considérés dans les analyses isotopiques ; la concentration en deutérium de leurs plumes est très faible car ils boivent non pas de l'eau de pluie mais de l'eau du robinet. Le groupe des oiseaux saisis de statut inconnu est un mélange d'oiseaux sauvages et d'appelants (avec une majorité d'appelants d'après la distribution des concentrations en deutérium de leurs plumes ; voir Annexe 2). Toutefois, lors des assignations génétiques, nous n'avons pas trouvé de différences entre les individus sauvages (40+33 ; l'amplification d'ADN n'ayant pas fonctionné pour un échantillon), les appelants avérés et les individus de statut incertain (test de chi-2, $\chi^2 = 16.6$, $p > 0.16$), de sorte que nous avons mélangés ces groupes pour obtenir des résultats plus généraux (voir Annexe 3).

Concernant les isotopes stables, les assignations d'origine probabilistes ont été effectuées sur l'aire de distribution restreinte aux pays dont les populations utilisent la voie de migration occidentale, pour éviter des interprétations erronées des cartes.



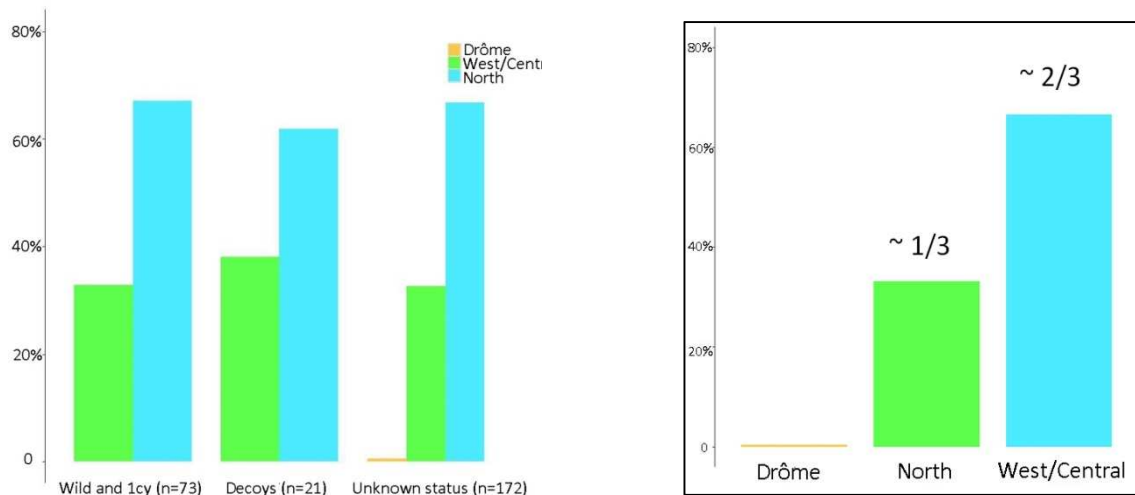
Assignations probabilistes d'origine pour 74 ortolans migrants capturés en France durant les automnes 2012-2015. Les zones les plus probables où leurs plumes ont poussé se situent en Pologne, en Allemagne et dans l'ouest de la France. Les populations nichant autour de la Mer Adriatique et en France méditerranéenne empruntent vraisemblablement la route méditerranéenne. Par comparaison, les probabilités restent très faibles pour les pays du nord (Scandinavie, Finlande, pays baltes), suggérant que ces populations nordiques ne constituent pas une part prédominante de notre échantillon (ce que confirment en partie les études génétiques). En Annexe 2 sont présentées des comparaisons de cartes

d'assignations obtenues pour les seuls oiseaux capturés par les bagueurs, pour les appelants avérés ou pour tous les individus incluant les appelants avérés et les oiseaux de statut inconnu.

L'interprétation de cette carte se fait en considérant que toute plume qui aurait poussé dans les zones de forte probabilité aurait une concentration en deutérium similaire à celle retrouvée dans la majorité de nos échantillons. Cela ne veut absolument pas dire que tous les ortolans dont les plumes ont poussé dans ces régions migrent par la France. Par exemple, les ortolans espagnols ont des signatures isotopiques très similaires mais ils ne migrent pas par la France.

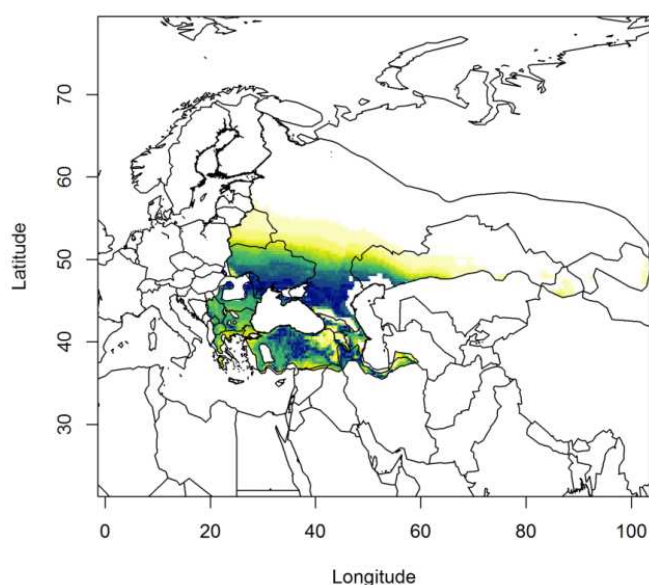
Les assignations génétiques ont été réalisées pour 266 individus, en considérant les trois groupes génétiques identifiés comme empruntant la voie occidentale. Globalement, un tiers des migrateurs sont attribués au groupe nordique (caractérisant les populations nicheuses de Scandinavie, de Finlande et des pays baltes), et deux tiers au groupe occidental (caractérisant les populations nichant surtout en Pologne, Allemagne et France). Un seul individu (saisi et de statut inconnu) a été assigné à la population drômoise.

Assignations aux trois groupes génétiques des ortolans capturés en migration d'automne en France. À gauche : en séparant les oiseaux dont on est certain que les plumes ont poussé dans la nature (à gauche), les appelants avérés (au centre, plumes poussées en captivité) et les oiseaux de statut inconnu (appelants ou adultes sauvages capturés récemment par des tendeurs puis saisis, à droite). À droite : mêmes assignations mais en mélangeant les trois groupes d'oiseaux précités.



Si l'on considère aussi le groupe génétique oriental dans le processus d'assignation, la proportion d'individus assignés au groupe oriental est équivalente à celle des individus nicheurs occidentaux assignés à ce groupe oriental dans une analyse de validation croisée réalisée pour valider les méthodes de regroupement (voir Annexe 3 pour plus de détails). Il n'y a donc pas de raison de considérer que les migrateurs utilisant la voie occidentale pourraient provenir du groupe génétique oriental – ce que confirment les photomètres et les isotopes stables.

IV. ORIGINE DES BRUANTS ORTOLANS MIGRANT PAR LA VOIE ORIENTALE



Nous avons réalisé le même type d'analyses (assignations isotopiques et génétiques) avec les échantillons collectés le long de la voie orientale en septembre 2014 (Koweït, 78 individus - isotopes des zones de reproduction et génétique) et en avril 2015 (Koweït, 45 individus, et Israël, 10 individus – génétique).

Les résultats des assignations probabilistes d'origine à partir des concentrations en deutérium des plumes (78 échantillons collectés au Koweït en automne 2014, donc des plumes ayant poussé sur les sites de

reproduction) suggèrent que les ortolans empruntant la voie de migration orientale proviennent surtout du sud de la Russie, de Roumanie et de Turquie, mais aussi de Géorgie, d'Azerbaïdjan et d'Ukraine. Les migrateurs de Biélorussie et de la plus grande partie de la Russie européenne (au-dessus de 50°N) ne constituent pas une large part des migrateurs de la voie orientale, car leurs tailles de population sont réduites. Il en est de même pour les populations encore plus orientales, asiatiques, du Kazakhstan et de Mongolie, qui soit sont petites, soit utilisent une route différente (par exemple plus orientale en survolant le Sultanat d'Oman).

Génétiquement, les migrateurs capturés le long de la voie orientale (Koweït et Israël) sont attribués principalement au groupe génétique oriental, mais aussi aux deux autres groupes génétiques (nordique et occidental) dans des proportions similaires à celles obtenues lors des tests de validation croisée opérés pour valider la définition des groupes génétiques (test de chi-2, $\chi^2=3.36$, $df=2$, $P=0.18$).

V. TAILLES ET TENDANCES DES POPULATIONS SUR CHAQUE VOIES DE MIGRATION

[Les détails des calculs effectués peuvent être retrouvés dans le fichier annexé au rapport ESM1].

1) Voie orientale

En additionnant les tailles de population nichant dans les pays européens dont les ortolans empruntent la voie orientale, nous obtenons une taille de population de 4.283.250 couples (entre 2.907.250 et 6.310.500 couples). Les pays les plus contributeurs sont la Russie, la Turquie, la Roumanie, la Bulgarie et l'Azerbaïdjan. Le nombre de couples sur toute l'Europe étant estimé à 4.754.440 couples nicheurs (entre 3.262.000 et 6.930.000 couples), la voie orientale est donc utilisée par 90% des couples européens de Bruant ortolan.

En comparant les estimations actuelles de tailles de populations nationales, et celles publiées précédemment, la tendance récente pour l'ensemble des populations utilisant la voie orientale serait une augmentation de 10.6% de 2000 à 2014. Une comparaison des sommes des valeurs minimales et maximales actuelles et précédentes donne une fourchette entre -4% et +27%. Cette population orientale pourrait être en léger déclin, ou en augmentation. Toutefois, il faut noter que cette tendance est surtout influencée par celle de la population russe, pour laquelle les mêmes comparaisons de chiffres donnent +7% (entre -14% et +33%), alors que les experts russes s'accordent pour dire que les populations russes sont en déclin, estimé entre -15% et -30%. Comme la Russie abrite les deux tiers des oiseaux européens utilisant la voie orientale, il est raisonnable de considérer que les populations empruntant la voie orientale sont en déclin, estimé entre -10% et -20%.

2) Voie occidentale

Note 1 : nous avons considéré ici que les oiseaux nichant à l'ouest de la ligne de partage de migration utilisaient tous la voie occidentale, mais certaines de ces populations empruntent certainement la voie centrale pour hiverner au Nigéria – probablement les populations nichant en Italie, dans les autres pays bordant la Mer Adriatique, en Autriche et en Hongrie, mais aussi une partie des populations de Pologne, d'Europe centrale, de Finlande. Les valeurs données ici pour la voie occidentale sont donc très conservatrices au sens où le nombre d'oiseaux empruntant réellement la voie occidentale est plus faible. Il est toutefois possible que certains nicheurs de l'ouest de la Biélorussie (500 à 1000 couples) empruntent la voie occidentale ou la voie centrale, mais nous n'en avons pas obtenu de preuve lors de cette étude, et cela concernerait de petits effectifs qui ne changeraient pas le bilan global.

Note 2 : nous avons mis à jour la taille de la population nicheuse polonaise depuis Jiguet *et al.* 2016 (Annexe 5). Deux sources différentes (le récent atlas des oiseaux nicheurs de Pologne, et une analyse de densités de populations d'ortolans conduite par Jakub Kosicki) convergent pour estimer le nombre de bruants ortolans nichant en Pologne à 154.000 couples (entre 140.000 et 171.000 couples). Les valeurs publiées précédemment, de 197.000 à 298.000 couples, étaient donc surestimées, et même les experts polonais ne peuvent expliquer leur origine. Dans nos calculs, nous avons donc considéré ces effectifs corrigés pour la Pologne. Les références à consulter sont : Kosicki & Chylarecki 2012a, Kosicki & Chylarecki 2012b, Kuczyński & Chylarecki 2012.

Kosicki J.Z., Chylarecki P. (2012a) Habitat selection of the Ortolan bunting *Emberiza hortulana* in Poland: predictions from large-scale habitat elements. *Ecological Research* 27: 347-355.

Kosicki J.Z., Chylarecki P. (2012b) Erratum to: Habitat selection of the Ortolan bunting *Emberiza hortulana* in Poland: predictions from large-scale habitat elements. *Ecological Research* 27:357.

Kuczyński L., Chylarecki P. (2012) Atlas of Common Breeding Birds in Poland: Distribution, Habitat Preferences and Population Trends. GIOŚ Warszawa.

Note 3 : Méthodes utilisées pour obtenir des estimations de tendances d'évolution des effectifs.

En premier lieu, nous avons d'abord calculé la moyenne géométrique des valeurs minimales et maximales des tailles estimées de populations nationales, et en avons fait la somme pour tous les pays. Nous avons ensuite comparé les variations de ces moyennes géométriques entre 2000 et l'année la plus récente (en général 2012 ou 2014). Nous avons fait de même pour les seules valeurs minimales, et de même pour les valeurs maximales.

En second lieu, nous avons calculé une moyenne des tendances nationales pondérées par les tailles de populations nationales (les poids étant les moyennes géométriques des valeurs minimales et maximales, ou des seules valeurs minimales, ou des seules valeurs maximales). Les tendances nationales récentes sont celles avancées par chaque pays, et ne sont pas une comparaison directe des tailles de populations actuelles et passées, mais sont souvent issues de programme de suivi d'oiseaux nicheurs similaires au STOC français (la plupart des pays ; France, Espagne, Pologne, Finlande,...), ou une comparaison de densités mesurées sur des sites échantillons (Russie,...). Les tendances ont été arrondies à l'unité près.

a) Voies occidentale et centrale

En additionnant les tailles de populations nationales de tous les pays situés à l'ouest de la ligne de partage de migration, nous obtenons une estimation de 468.701 couples nicheurs (entre 354.622 et 619.479). Ceci représente environ 10% de la population nicheuse européenne.

La tendance de ces populations depuis 2000 est :

- comparaison des moyennes géométriques : -10% (-13% pour les valeurs minimales, -6% pour les valeurs maximales) ;
- moyennes pondérées des tendances nationales : -18% (-18% pour les valeurs minimales, -17% pour les valeurs maximales).

b) Effectifs et tendances des migrateurs passant par la France

Parmi les populations nichant à l'ouest de la ligne de partage de migration, nous avons ensuite considéré que les oiseaux nichant plus au sud que la France, au Portugal, en Espagne, Italie, Andorre, Slovénie et Croatie ne migrent pas par la France. Ainsi, la population susceptible de migrer en traversant la France est estimée à 194.070 couples (165.598 à 227.435).

La tendance de ces populations depuis 2000 est :

- comparaison des moyennes géométriques : -32% (-17% pour les valeurs minimales, -45% pour les valeurs maximales) ;

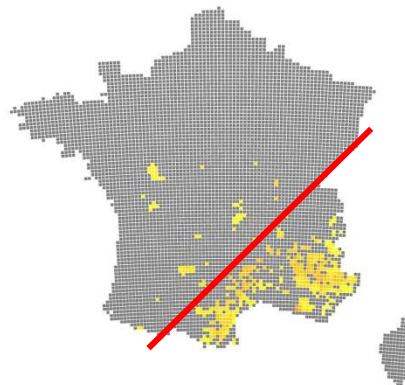
- moyennes pondérées des tendances nationales : -25% (-24% pour les valeurs minimales, -26% pour les valeurs maximales).

Etant donnée la similitude des estimations obtenues avec les deux méthodes, nous sommes confiants dans le fait que la tendance de ces populations est au déclin, compris entre -25% et -32% (un déclin d'un quart à un tiers en 12 à 14 ans).

c) Effectifs et tendances des migrateurs passant par le sud-ouest de la France

15 pays accueillent des populations nicheuses de Bruant ortolan susceptibles de migrer à travers la France. Les photomètres ont révélé que la grande majorité des nicheurs finlandais utilisent une route continentale et méditerranéenne, et ne passent pas par le sud-ouest de la France – une part inconnue emprunte même la voie centrale. En Suède, 3 des 11 trajets ont suivi cette route méditerranéenne, alors que les 16 trajets allemands utilisent la route atlantique, donc passent par les Landes (Petra Bernardy comm. pers., voir Annexe 1). En Pologne, un trajet correspond à la route méditerranéenne, un autre correspond à la voie centrale, tandis qu'un des 40 mâles équipés de photomètre en mai 2014 a été capturé par un tendeur dans les Landes en septembre 2014. Pour obtenir des estimations d'effectifs migrant par les Landes, nous proposons de considérer trois scénarios, en fonction de la part de chaque population nationale utilisant la route atlantique, l'autre part empruntant la route méditerranéenne ou la voie centrale. Typiquement, les oiseaux suivant la route atlantique entrent en France entre le département du Nord et l'Alsace, alors que les oiseaux utilisant la route méditerranéenne entrent en France – si toutefois ils y entrent – par les Alpes ou en longeant la côte depuis l'Italie. Dans les trois scénarios, nous avons considéré que la majorité de la population française utilise la route méditerranéenne, avec seulement 100 à 200 couples du centre et de l'ouest du pays utilisant la route atlantique.

Carte expliquant comment nous avons séparé la population nicheuse française entre les routes atlantique et méditerranéenne de la voie occidentale. Le fond de carte est issu du dernier atlas des oiseaux nicheurs de France (Issa N, Muller Y (coord.) 2015. Atlas des Oiseaux de France métropolitaine. Delachaux & Niestlé, Paris, France).



Les trois scénarios considèrent que les proportions suivantes des populations nationales migrent par la route atlantique :

Scénario 1: Finlande et états baltes (Estonie, Lettonie et Lituanie) 0%
Suède 60%
Pologne 20%
Allemagne, Norvège, République Tchèque, Autriche, Suisse 100%
France 100-200 couples

Ce scénario est vraisemblable si l'utilisation d'une voie centrale est répandue chez les oiseaux de Pologne, et durant les années normales, ou de forts vents d'ouest, quand tous les oiseaux de Finlande, des pays baltes et de Pologne orientale utilisent la route méditerranéenne.

Dans ce scénario 1, la taille de population susceptible de migrer par le sud-ouest de la France est estimée à 46.446 couples (entre 40.254 et 53.91).

La tendance de cette population depuis 2000 est :

- comparaison des moyennes géométriques : -11% (+8% pour les valeurs minimales, -26% pour les valeurs maximales) ;
- moyennes pondérées des tendances nationales : -17% (-17% pour les valeurs minimales, -16% pour les valeurs maximales).

Scenario 2: Finlande et états baltes (Estonie, Lettonie et Lituanie) 20%
Suède 80%
Pologne 40%
Allemagne, Norvège, République Tchèque, Autriche, Suisse 100%
France 100-200 couples

Ce scénario considère que les reprises de bagues finlandaises en France prouvent qu'une partie des oiseaux finlandais passe par les Landes, au moins certaines années, même si les oiseaux équipés de photomètres confirment que cette route n'est pas habituelle. Pour la Suède, ce scénario respecte les proportions de trajets obtenus par les photomètres, alors que pour la Pologne il considère que moins de la moitié des nicheurs utilisent la route atlantique, ce qui reste très conservateur si l'on considère les résultats obtenus dans cette étude par les photomètres.

Dans ce scénario 2, la taille de population susceptible de migrer par le sud-ouest de la France est estimée à 81.325 couples (entre 70.255 et 94.140).

La tendance de cette population depuis 2000 est :

- comparaison des moyennes géométriques : -22% (-5% pour les valeurs minimales, -35% pour les valeurs maximales) ;
- moyennes pondérées des tendances nationales : -21% (-20% pour les valeurs minimales, -21% pour les valeurs maximales).

Scenario 3: Finlande et états baltes (Estonie, Lettonie et Lituanie) 40%
Suède 100%
Pologne 60%
Allemagne, Norvège, République Tchèque, Autriche, Suisse 100%
France 100-200 couples

Ce scénario considère que certaines années exceptionnelles, de forts vents d'est pourraient obliger certaines populations à migrer par la route atlantique.

Dans ce scénario 3, la taille de population susceptible de migrer par le sud-ouest de la France est estimée à 116.289 couples (entre 100.255 et 134.888).

La tendance de cette population depuis 2000 est :

- comparaison des moyennes géométriques : -25% (-10% pour les valeurs minimales, -38% pour les valeurs maximales) ;
- moyennes pondérées des tendances nationales : -22% (-22% pour les valeurs minimales, -23% pour les valeurs maximales).

Nous proposons de considérer l'estimation moyenne obtenue avec le scénario médian (2) comme la taille moyenne de la population migrant par le sud-ouest de la France, et les estimations moyennes des scénarios 1 et 3 comme les effectifs minimaux et maximaux du domaine possible des effectifs. En conséquence, **la taille de la population de Bruant ortolan migrant par le sud-ouest de la France est estimée à 81.000 couples (entre 46.000 et 116.000)**. Dans nos calculs, environ 75% de ces oiseaux viennent de Pologne, ce pays est donc celui qui contribue le plus à la route atlantique. Les trois scénarios sont cohérents quant à l'estimation récente des tendances de ces populations, qui sont **en déclin estimé entre -20% et -30% sur les 14 dernières années (2000-2014)**.

Une autre manière d'estimer les tendances récentes de ces populations migrant par le sud-ouest de la France consiste à utiliser les taux d'assignation génétique (1/3 d'individus du groupe nordique, 2/3 d'individus du groupe occidental) pour pondérer les tendances régionales des populations nordiques et occidentales. La tendance moyenne régionale pour [Finlande, Suède, Norvège, Estonie, Lettonie et Lituanie] est un déclin de -53% depuis 2000 (tendances nationales pondérées par les effectifs

nationaux). La tendance régionale pour [France, Allemagne, Pologne, République Tchèque, Autriche] est un déclin de -19%. La moyenne pondérée obtenue pour les migrateurs passant par les Landes est alors de -30%, une valeur cohérente avec celles trouvées par les autres méthodes.

Ainsi, la tendance récente de ces populations peut être considérée comme un déclin estimé entre -20% et -30% sur la période 2000-2014. Ceci représente une diminution moyenne de 1.4% à 2.1% chaque année, ce qui représente **une diminution de la taille de population utilisant la route atlantique de 1.500 couples (3.000 individus matures au printemps) chaque année.**

VI - Conclusions

A l'aide de données de photomètres, de génétique et de concentrations en isotopes stables, nous avons pu identifier deux voies principales de migration empruntées par les bruants ortolans qui nichent en Europe. La voie orientale concerne les populations nichant en Russie, et dans tous les pays situés à l'est d'une ligne de partage allant de la Biélorussie à la Serbie (incluses). Cette voie orientale est empruntée par environ 4.283.250 couples (entre 2.907.250 et 6.310.500 couples), qui hivernent sur les hauts plateaux éthiopiens et en Erythrée. Les principaux pays contributeurs sont la Russie, la Turquie, la Roumanie, la Bulgarie et l'Azerbaïdjan. Comme la population européenne globale compte 4.754.440 couples nicheurs (3.262.000 à 6.930.000 couples), la voie orientale est utilisée par 90% des bruants ortolans européens, dont la tendance récente est un déclin estimé entre -10% et -20% (période 2000-2014). La voie de migration occidentale concerne les populations nichant à l'ouest de la ligne de partage de migration, qui hivernent en Afrique de l'ouest (de la Sierra Leone au sud de la Mauritanie et du Mali, principalement en Guinée). Elle concerne 468.701 couples nicheurs (entre 354.622 et 619.479), représentant 10% des bruants ortolans nichant en Europe. La tendance récente de ces effectifs est un déclin estimé entre -10% et -20% (2000-2014). Les principaux sites de halte migratoire sont localisés en Espagne et dans le nord du Maroc, la France étant juste survolée pendant la migration. Sur cette voie occidentale, il est possible de distinguer deux routes distinctes. Plus une population nicheuse est occidentale, plus sa route est atlantique. Les nicheurs occidentaux les plus 'orientaux' (presque tous les ortolans finlandais et baltes) empruntent une route continentale et méditerranéenne, allant de l'est de la Pologne jusqu'au nord de l'Italie, pour suivre ensuite les côtes méditerranéennes ; ils ne passent pas par le sud-ouest de la France. Les nicheurs plus 'occidentaux' (la plupart des oiseaux de Suède, tous les allemands et probablement tous les norvégiens) utilisent une route atlantique, entrant en France entre le Nord et l'Alsace et passant les Pyrénées par la côte atlantique. Nous estimons que 81.000 couples (entre 46.000 et 116.000 couples) empruntent cette route atlantique et passent donc par le sud-ouest de la France. La tendance récente (de 2000 à 2014) de ces populations est un déclin estimé entre -20% et -30%. Cela correspond à une diminution moyenne actuelle d'environ 1.500 couples (au moins 3.000 individus matures au printemps) chaque année.

Les bruants ortolans nichant en Russie n'empruntent pas la voie occidentale, seulement la voie orientale. Il existe une donnée de reprise dans les Landes d'un ortolan bagué dans l'ouest de la Russie près de Saint Pétersbourg, mais cet oiseau venait d'une région qui a été colonisée au milieu du 20^e siècle par l'espèce depuis la Finlande (par des populations utilisant la voie occidentale), alors que ces populations ont quasiment disparu durant les dernières décennies – un déclin semblable à celui noté en Finlande et dans les pays baltes.

Une part inconnue des populations nichant à l'ouest de la ligne de partage de migration emprunte une troisième voie de migration, centrale, atteignant l'Afrique depuis l'Italie ou la Grèce par la Tunisie ou la Libye, pour aller probablement hiverner au Nigéria. Des individus polonais et finlandais utilisent cette voie, qui pourrait être la voie normale empruntée par les populations nicheuses d'Italie, de Slovénie, Croatie et Bosnie, mais aussi de Slovaquie, Autriche et Hongrie.

ANNEXE 1 – RAPPORT PHOTOMÈTRES GÉOLOCALISATEURS

[Les données de localisation obtenues par photomètre sont jointes à ce rapport dans le fichier ESM2]

I - METHODES

1) Matériels

Les photomètres sont des enregistreurs d'intensité lumineuse miniatures (aussi appelés géolocalisateurs ou gls) utilisés pour suivre les déplacements d'oiseaux. Ces appareils enregistrent l'intensité de la lumière ambiante sur de très longues périodes. A partir de ces informations il est possible de connaître les régions que ces animaux ont visitées, car à une date donnée, la durée du jour et l'heure du zénith correspondent à une latitude et à une longitude données. Ce système fonctionne quand il y a alternance de jour et de nuit. La précision de la latitude estimée diminue près de l'équateur car la durée du jour y varie moins ; il en est de même au moment des équinoxes, quand les erreurs d'estimation sont importantes. Les photomètres ne transmettent pas leurs données : les appareils doivent être récupérés pour télécharger les données archivées. Il est donc nécessaire de recapter l'animal, qui devra être fidèle à son site de reproduction, d'hivernage ou de halte migratoire. La nécessaire recapture permet de réduire la taille et le poids de l'appareil, bien plus que ceux qui transmettent des signaux (radio-émetteurs) ou des données (GPS, GSM, Argos). La précision de localisation est moindre que celle d'un GPS mais est suffisante pour fournir des données de phénologie et de mouvement, et pour identifier les zones importantes de halte migratoire et d'hivernage.

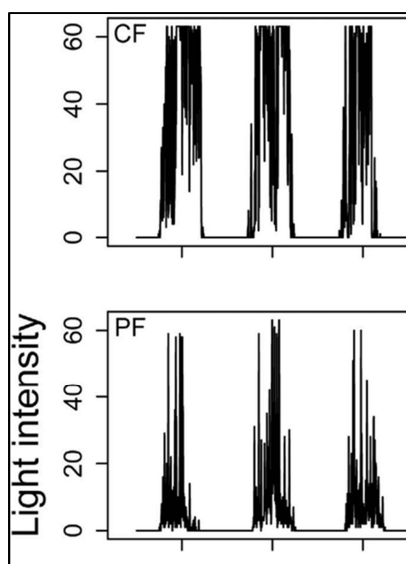


Figure 1 (à gauche). Deux exemples de luminosité enregistrés durant trois jours, avec des fluctuations durant la journée, selon les ombrages dus à l'habitat fréquenté ou au comportement de l'oiseau.

Figure 2 (à droite). En 2015, nous avons utilisé des photomètres INTIGEO P65C2-7 pesant 0.74g fournis par Migrate Technology.



La première année du programme (2013-2014), nous avons posé des photomètres SOI-GDL1.0 de la Station Suisse Ornithologique, fixés sur le dos des oiseaux avec un harnais en silicone faisant le tour des cuisses. Le système pesait 1,2 g avec le harnais, représentant 5-6% du poids d'un oiseau adulte. Nous nous sommes aperçus au printemps 2014 que les individus revenus avaient perdu leur

photomètre, probablement après avoir coupé leur harnais en silicone. Jusqu'à 2015, nous avons récupéré un photomètre en Norvège (avec quelques données hivernales), un en Suède (mais aucune donnée enregistrée) et un en France (ayant fonctionné un seul mois, en avril 2015). Au printemps 2015, nous avons posé des photomètres SOI-GDL 3.0 de la Station Ornithologique Suisse (0,65g sans harnais) et INTIGEO P65C2-7 de Migrate Technology (0,74g sans harnais). Nous avons utilisé des ficelles résistantes aux UV pour fabriquer les harnais (ficelle de réparation de filets vendue par le BTO). Les ortolans n'ont pas pu ôter ces nouveaux harnais, et au printemps 2016 nous avons récupéré 24 photomètres ayant enregistré des données de luminosité (par pays, nombre de photomètres Intigeo puis SOI) : Biélorussie (1-0), Russie (8-3), Lituanie (1-0), Finlande (3-4), Pologne (0-2), Espagne (0-2).



Bruant ortolan mâle avec un photomètre suisse SOI-GDL 1.0. Espagne, mai 2014, photo José Luis Copete.



Les photomètres sont fixés avec un harnais autour des cuisses de l'oiseau. Bruant ortolan mâle, Espagne, mai 2014, photo José Luis Copete.



Bruant ortolan mâle équipé d'un photomètre anglais Intigeo P65C2-7. Russie, mai 2015, photo Frédéric Jiguet.

De plus, des collègues de Suède avaient déployé avec succès les mêmes photomètres Intigeo, ayant déjà publié les résultats de leur suivi (*Selstam G, Sondell J, Olsson P. 2015. Wintering area and migration routes for Ortolan Buntings from Sweden determined with light-geologgers. Ornis Svecica 25:3–14*). Ils nous ont fourni les données brutes de 11 trajets de 9 individus (deux oiseaux ont été suivis durant deux migrations d'automne). Ces données ont été ré-analysées en les calibrant comme les données acquises dans cette étude.

Enfin, Petra Bernardy nous a contactés pour nous informer qu'elle avait obtenu 16 trajets migratoires d'ortolans allemands à l'aide de photomètres, qui ont tous migré par le sud-ouest de la France (probablement par les Landes) pour hiverner en Afrique de l'est (avec des haltes migratoires d'automne dans l'ouest de l'Espagne).

2) Méthodes d'analyse des données

Nous avons récupéré 13 photomètres INTIGEO (Migrate Technology, Cambridge, UK) au printemps 2016 : 1 en Biélorussie, 1 en Lituanie, 3 en Finlande et 8 en Russie (de trois sites : 1 à Vladimir, 2 à Volgograd, 5 à Belgorod). Les photomètres INTIGEO mesure l'intensité lumineuse toutes les minutes et enregistre la valeur maximale mesurée toutes les 10 minutes. Tous les photomètres récupérés contenaient des données complètes depuis leur pose sur l'oiseau. Nous avons également récupéré 14 photomètres SOI (de la Station Ornithologique Suisse de Sempach) : 1 de Biélorussie, 2 de Pologne, 2 d'Espagne, 4 de Russie (Volgograd) et 5 de Finlande. Les photomètres SOI mesurent et enregistrent l'intensité lumineuse instantanée toutes les 5 minutes, ce qui augmente les variations entre mesures. 3 photomètres SOI ne contenaient aucune donnée exploitable car ils ont arrêté de fonctionner peu de temps après la pose. Les 11 restants contenaient des enregistrements jusqu'à début août à début octobre 2015, donc seuls les débuts des trajets de migration ont pu être explorés.

Nous avons utilisé le package Geolight 2.0 sous R pour analyser toutes les données en utilisant une méthode de seuils (Lisovski and Hahn 2012). Les heures de crépuscule ont été déterminées en utilisant un niveau seuil de lumière de 2 dans R pour les photomètres INTIGEO et un seuil de 3 dans le logiciel SolarEvent Editor pour les photomètres SOI. Les anomalies occasionnelles ont été retirées manuellement. Nous avons appliqué un filtre Loess aux événements crépusculaires pour ôter les données extrêmes. Ces données hors norme ont été définies comme les données pour lesquelles les résidus d'une régression polynomiale locale sur le lever et le coucher du jour étaient plus de quatre fois supérieurs à l'interquartile pour les photomètres INTIGEO, 1,5 fois pour les photomètres SOI.

Nous avons séparé les données en périodes stationnaires, durant lesquelles un individu est vraisemblablement resté sur un même site, et les périodes de mouvement. Nous avons utilisé la fonction changelight du package Geolight pour examiner les séries temporelles de lever et de coucher du soleil, et un modèle changepoint pour identifier les points de changement dans les données. Le paramétrage incluait une durée minimale de stationnarité de trois jours, et des seuils probabilistes de lever et coucher de soleil de 0,03. Nous avons appliqué en angle d'élévation du soleil (SEA) de -6° correspondant au crépuscule civil pour calculer les latitudes et longitudes basées sur les luminosités. Une analyse de changepoint a été réalisée sur les séries temporelles de latitude et longitude avec la fonction cpt.mean du package changepoint v2.2.2 dans R, par la méthode PELT et une pénalité de 200. Nous avons retenus les périodes de stationnarité et de mouvements consensuels entre les trois méthodes, pour identifier les zones de reproduction et d'hivernage.

Les longitudes ont été estimées en utilisant les données de midi et minuit du photomètre. Les latitudes sont déduites de la durée du jour ce qui nécessite la calibration du SEA pour décrire la relation entre durée du jour et latitude. Pour les périodes durant lesquelles l'oiseau était sur une position connue, par exemple sur son territoire de reproduction, nous avons utilisé les coordonnées GPS pour estimer le SEA médian. Pour le reste de l'année, nous avons séparé les photomètres INTIGEO en deux groupes correspondant aux voies orientale et occidentale (séparation longitudinale), selon les trajets déterminés avec un SEA de -6° . Nous avons utilisé la calibration de Hill-Ekstrom pour déduire le SEA pour chaque période d'hivernage et chaque photomètre. Nous avons ensuite calculé le SEA hivernal médian pour chaque photomètre puis enfin pour tous les photomètres d'une même voie migratoire. Ces SEA étaient de $-5,5^\circ$ pour la voie orientale et de -6° pour la voie occidentale, et ont été appliqués à tous les photomètres d'une même voie et pour toutes les périodes sauf les saisons de reproduction.

Pour chaque période, nous avons estimé pour la latitude et la longitude le mode, correspondant au barycentre, and les quantiles 90%. Nous avons inclus les périodes près des équinoxes même si les estimations de latitude y sont moins fiables, car l'utilisation du mode amenuise l'impact des équinoxes et permet d'utiliser quand même les données.

Pour certaines périodes, la latitude a dû être ajustée manuellement. Ainsi, pour les phases de mouvement, prendre le mode n'a pas de sens et la latitude a été ajustée pour correspondre à la route prise entre les phases stationnaires. Quand les effets de l'équinoxe étaient forts, créant des variations latitudinales importantes, nous avons calculé un mode de latitude quand cette dernière variait peu. Dans quelques cas, aucune latitude n'a pu être estimée durant l'équinoxe et la position a alors été estimée en fonction des positions précédente et suivante, et des informations obtenues avec les autres photomètres. Dans d'autres cas, le mode était localisé en mer et la latitude a été ajustée au plus proche sur la côte.

Les données des photomètres SOI étaient de mauvaise qualité et chaque photomètre a dû être analysé séparément. Nous n'avons pas pu déterminer la calibration du SEA à partir des coordonnées GPS ou de la méthode de Hill-Ekstrom dans GeoLight. Nous avons donc testé différents SEA pour chaque photomètre and sélectionné celui qui positionnait le mode de la période de reproduction au plus proche des coordonnées GPS connues. Nous avons ensuite appliqué le même SEA aux autres périodes du même photomètre. Les latitudes de certaines périodes ont été ajustées manuellement comme décrit précédemment. Les trajets de chaque photomètre ont été tracés sous R en utilisant le package maps.

Lisovski, S. and Hahn, S. (2012), GeoLight – processing and analysing light-based geolocator data in R. *Methods Ecol Evol*, 3: 1055–1059.

II - RÉSULTATS DES PHOTOMÈTRES INTIGEO

En incluant les photomètres de Suède, nous avons pu obtenir 24 trajets pour 22 individus, qui permettent d'identifier clairement deux principales voies migratoires (Figure 1) : une voie orientale, et une voie occidentale.

Les neuf individus de Russie (de trois sites différents) et l'individu de Biélorussie ont migré vers le sud ou le sud-est, avec des haltes migratoires du Caucase jusqu'au nord de la Syrie (surtout dans l'est de la Turquie), pour aller hiverner sur les hauts plateaux éthiopiens et en Erythrée. Au

printemps, les sites de halte migratoire sont localisés plus au sud, au Moyen-Orient, peu après la traverse du désert d'Arabie (voir la Figure2).

Les 13 autres individus de Finlande, Lituanie et Suède ont emprunté une voie occidentale, avec des haltes migratoires en Espagne et au nord du Maroc, pour hiverner de la Sierra Leone au sud de la Mauritanie. La migration printanière est plus directe et rapide sur les bords de la Méditerranée. En automne, deux routes différentes sont empruntées par ces oiseaux, pour passer les Pyrénées à l'est ou à l'ouest. Tous les trajets de Finlande, le trajet de Lituanie sont ceux d'individus qui ont d'abord survolé l'est de la Pologne, le centre de l'Europe en direction de la Suisse ou du nord de l'Italie), avant de longer les côtes méditerranéennes d'Espagne pour rejoindre l'Afrique. Nous appelons cette route la route continentale méditerranéenne de la voie occidentale. 3 des 11 trajets suédois suivent la même route, mais aucun des 16 trajets allemands (d'après Petra Bernardy). Les 8 autres trajets suédois ont suivi une route dite atlantique, entrant en France par le nord-est, migrant ensuite vers les Landes pour passer les Pyrénées sur leur façade atlantique. Etant donné ce patron, avec les nicheurs plus orientaux (Finlande et pays baltes, quelques-uns de Suède) migrant par la route continentale et les nicheurs plus occidentaux (la plupart de Suède, tous ceux d'Allemagne) migrant par la route atlantique, il est raisonnable de penser que les nicheurs de Norvège empruntent aussi cette route. Un seul individu norvégien a pu être suivi par photomètre SOI mais l'appareil n'a fourni que quelques données hivernales identifiant une zone d'hivernage en Guinée.

Fig. 1. 24 trajets obtenus par 22 photomètres INTIGEO, nettement répartis selon deux voies de migration. Les ronds jaunes sont les sites de capture et de recapture, les ronds bleus les sites de halte migratoire, et les ronds violets les zones de stationnarité durant l'hiver. Les triangles noirs sont les points de changement de direction lors de phases de mouvement. Les trajets automnaux et printaniers sont dessinés.

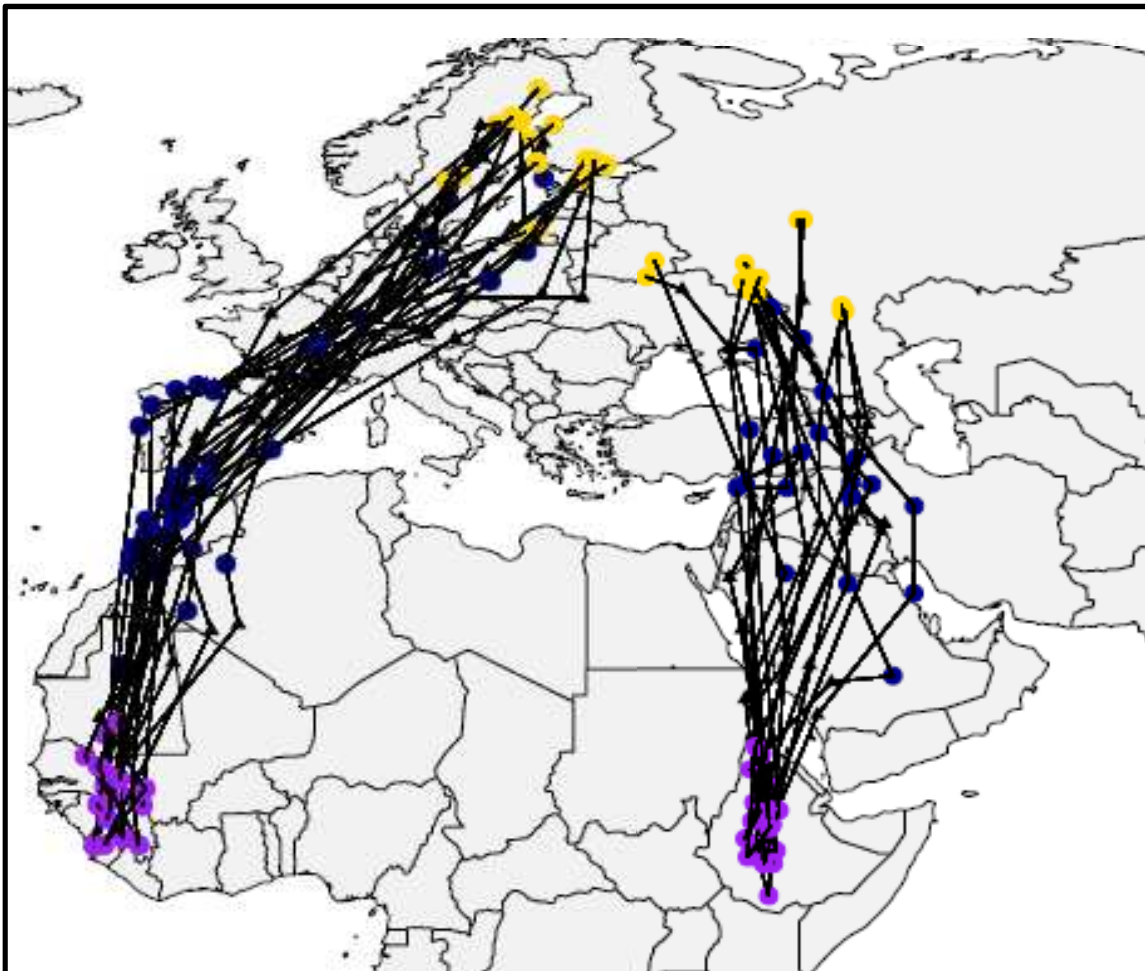


Figure 2. Détails des trajets obtenus pour les individus empruntant la voie orientale – une couleur par individu. En haut à gauche : trajets automnaux. En haut à droite : trajets printaniers. En bas à gauche : zones de stationnement hivernal, avec quantiles de 90%. En bas à droite : zoom sur l’Ethiopie et l’Érythrée pour montrer les zones de stationnement hivernal. Noter que certains individus ont fréquenté plusieurs sites.

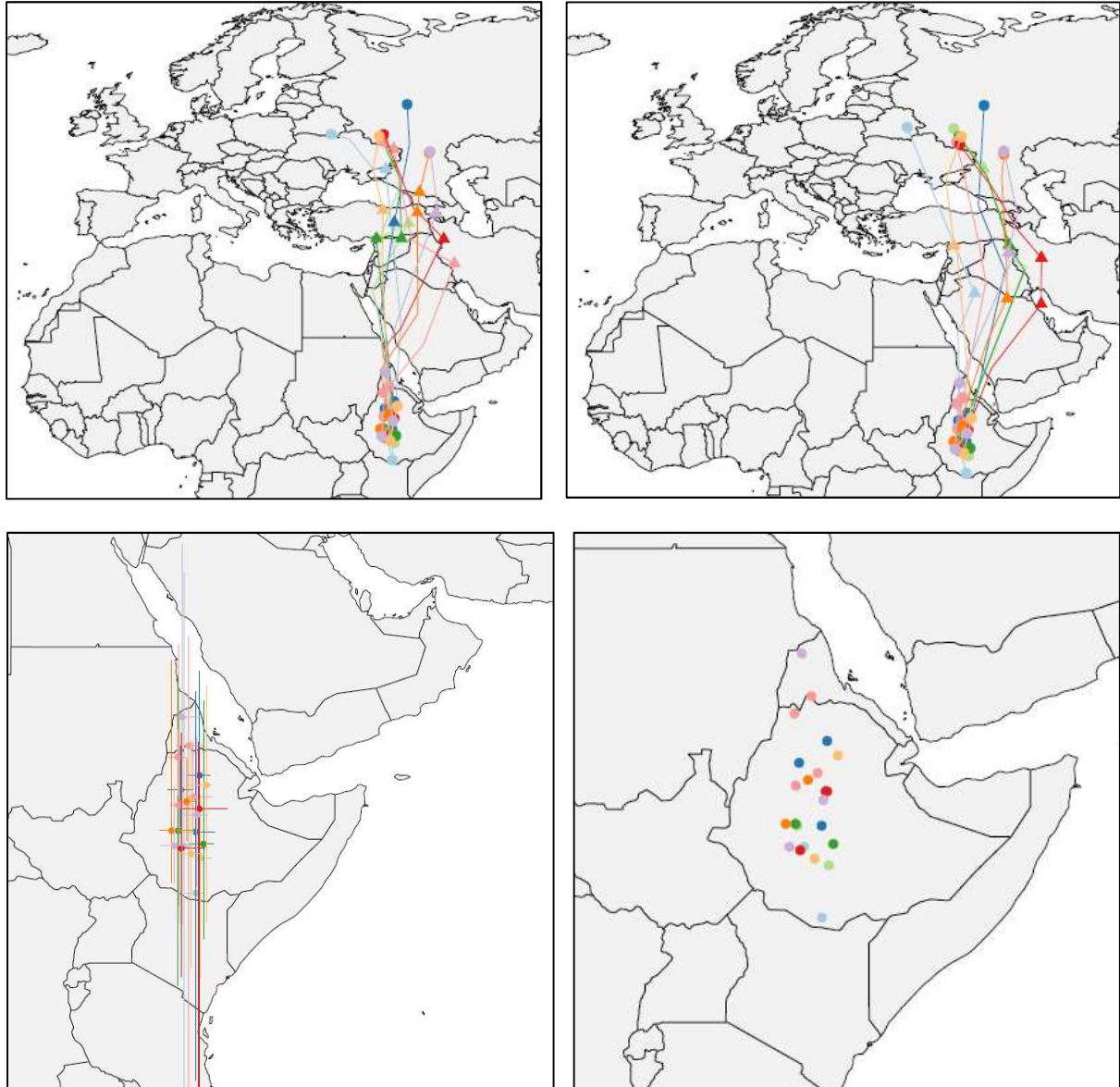


Figure 3. Détails des trajets d'automne (à gauche) et de printemps (à droite) pour les individus ayant emprunté la voie occidentale – une couleur par individu. La route atlantique (utilisée par des oiseaux suédois) et la route méditerranéenne (utilisée par les oiseaux finlandais) sont clairement visibles sur les trajets automnaux. Les triangles représentent les sites de halte migratoire : dans le nord-ouest de la péninsule ibérique pour la route atlantique, dans le sud de l'Espagne pour la route méditerranéenne. Au printemps, la route semble méditerranéenne, avec des haltes migratoires au Maroc et dans le sud de l'Espagne mais pas ailleurs en Europe, donc la route méditerranéenne est seulement suspectée.

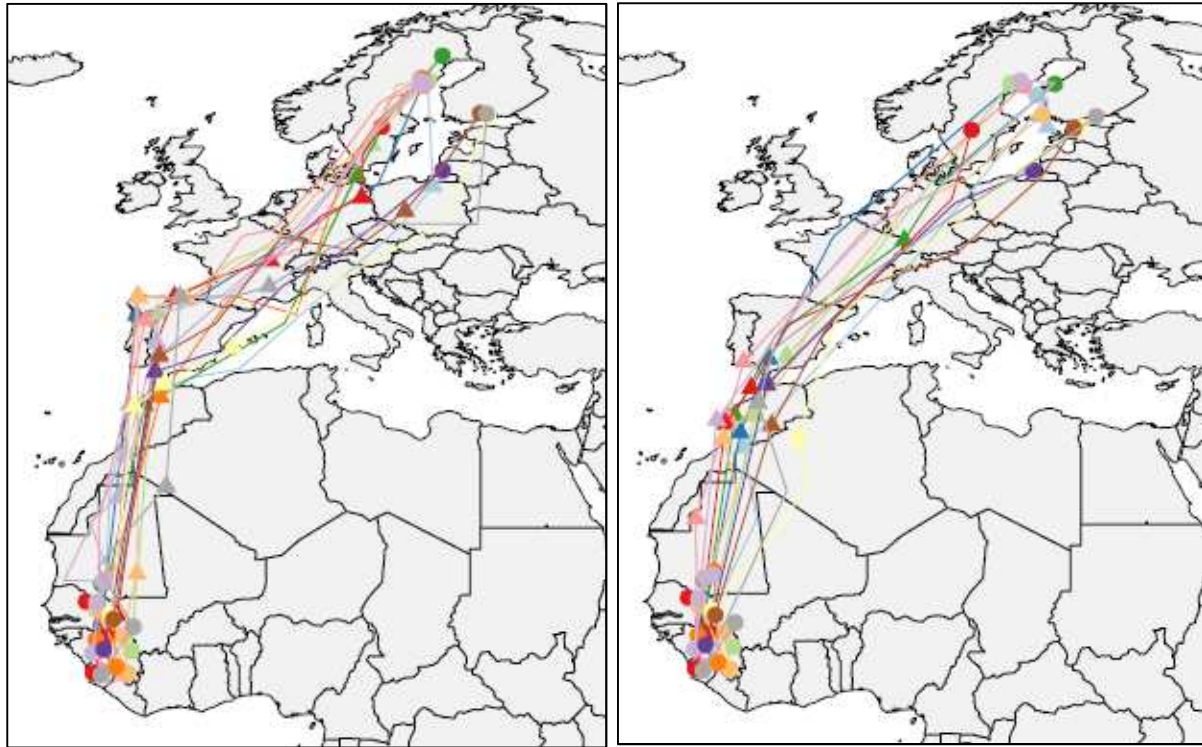
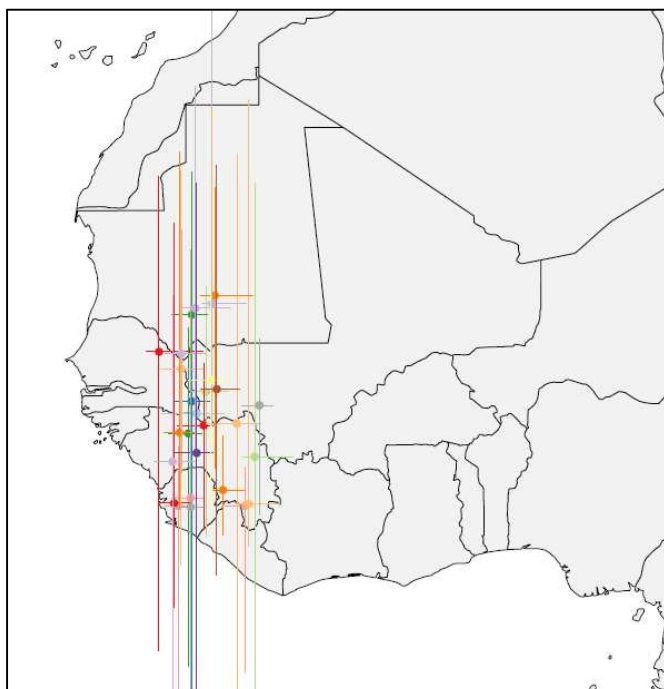
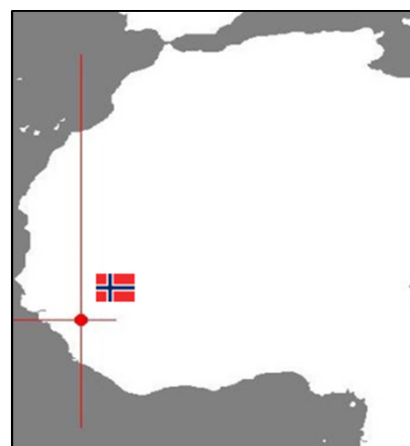


Figure 4. Zones de stationnement hivernal (avec quantiles 90%) des individus empruntant la voie occidentale. Certains individus ont utilisés plusieurs sites.



La carte ci-dessous montre la localisation hivernale (2012-2013) d'un photomètre SOI posé sur un mâle norvégien en mai 2012. Malheureusement, seule cette localisation hivernale a pu être obtenue.



III- RÉSULTATS DES PHOTOMÈTRES SOI

Les photomètres SOI sont plus légers mais n'ont pas fonctionné aussi bien que les INTIGEO, et nous n'en avons obtenu que des données partielles, sans pouvoir étudier les trajets complets entre les zones de reproduction et d'hivernage. Toutefois, la plupart ont enregistré des données au début de la migration jusqu'à l'équinoxe, de sorte que nous sommes en mesure de présenter quelques débuts de trajets pour des individus nichant en Espagne, Russie, Finlande et Pologne. Pour la Russie et la Finlande, nous avons pu comparer les trajets obtenus avec les photomètres INTIGEO et SOI, pour vérifier leurs similarités. Nous avons aussi obtenu un court trajet printanier pour un nicheur français, équipé dans la Drôme, qui a visiblement hiverné en Afrique de l'ouest.

Note: les photomètres SOI enregistrent l'intensité instantanée de la lumière toutes les 5 minutes, alors que les INTIGEO enregistrent toutes les 10 minutes l'intensité maximale mesurée durant cette période. Une conséquence est que les données SOI sont plus variables et plus difficiles à interpréter. Ils ont aussi une durée de vie plus courte, enregistrant durant un à quatre mois – les trajets obtenus sont donc plus courts et s'arrêtent généralement avant l'équinoxe. Pour cette raison, nous avons décidé de ne pas présenter les résultats SOI avec les INTIGEO mais à part, pays par pays, pour mieux apprécier leurs contributions.

1) Un photomètre SOI de France

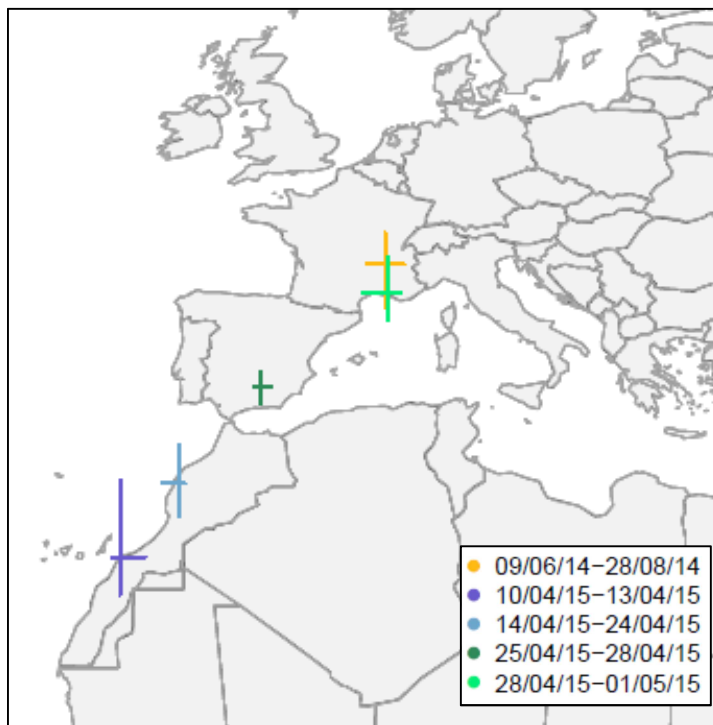
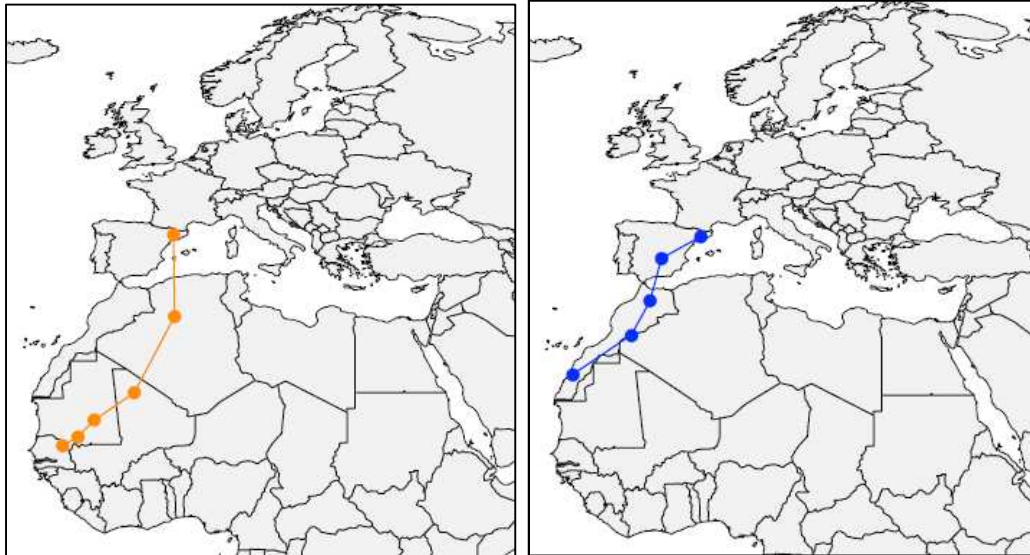


Figure 5. Ce mâle nicheur a été équipé en Drôme en mai 2014, et recapture en Drôme en mai 2015. Le photomètre a fonctionné en avril 2015 seulement, durant la migration printanière. Cet individu a migré le long de la côte atlantique du Maroc, s'arrêtant près de Tarfaya, d'Essaouira, puis près de Malaga en Espagne et près des Bouches-du-Rhône avant de retourner sur son site de reproduction dans la Drôme. La durée des haltes migratoires varie entre 3 et 10 jours. Cet individu emprunte clairement la voie occidentale de migration.

2) Deux photomètres SOI d'Espagne (Catalogne)

Figure 6. Deux des 10 mâles équipés en Catalogne en 2015 ont fourni des informations, et comme attendus ont emprunté la voie occidentale de migration, pour aller hiverner probablement en Afrique de l'ouest, comme signalé par les signatures isotopiques des plumes de corps des nicheurs espagnols.



3) Deux photomètres SOI de Pologne

Figure 7. Concernant l'analyse des trajets SOI, se finissant près de l'équinoxe, Felix Liechti (de la Station Ornithologique Suisse, fournisseur de ces photomètres), a commenté : « Les longitudes sont très fiables, les latitudes le sont bien moins, car de petites erreurs de durée du jour près des équinoxes entraînent des erreurs latitudinales énormes. Les longitudes sont variables si l'angle entre le soleil et l'horizon lors de l'apparition/disparition de la lumière est différent entre le matin et le soir. Il est très peu probable que tous ces angles aient un tel biais que les longitudes varient de 80 minutes ». Ces arguments confirment qu'un individu de Pologne (et un de Finlande) sont partis directement vers le sud, sans que l'on puisse être sûr qu'ils aient atteint la Libye à la fin du mois d'août. La direction prise par cet individu pourrait indiquer qu'il se dirigeait vers la zone d'hivernage connue de l'espèce au nord du Nigeria.

Le deuxième individu polonais a migré au-dessus du centre de l'Europe en utilisant la route continentale méditerranéenne.

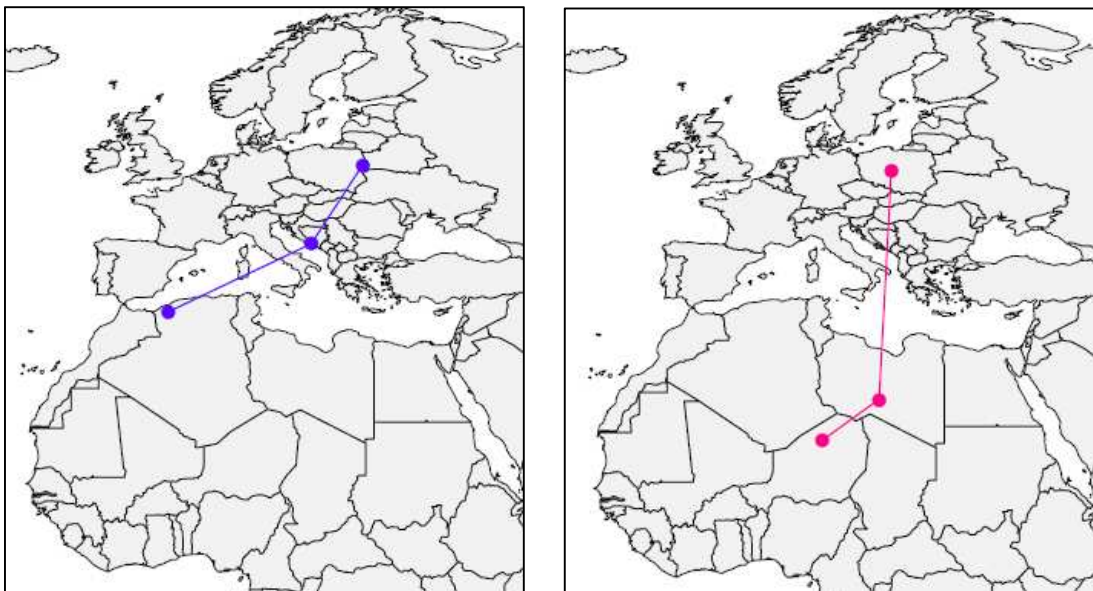
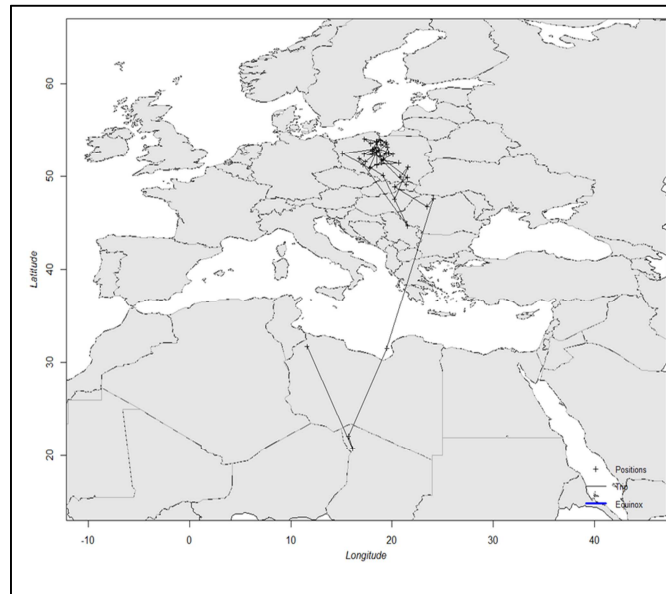


Figure 8. Les trajets ci-dessus ont été analysés par Caroline Moussy au MNHN, et nous avons demandé à Felix Liechti (Station Ornithologique Suisse, qui fournit les photomètres SOI et analyse leurs données en routine) d'analyser les mêmes données de manière indépendante pour confirmer ou pas la direction sud prise par cet oiseau polonais équipé du photomètre SOI numéro 17KV. La carte ci-dessous est celle envoyée par F. Liechti, confirmant cette direction de migration.



Pour être exhaustif, il convient de signaler que l'un des 40 mâles équipés de photomètres dans l'ouest de la Pologne au printemps 2014 a été capturé par un tendeur sous une matole début septembre 2014 dans les Landes. Cet oiseau a été relâché avec son photomètre. Cette capture confirme que certains oiseaux polonais empruntent la route atlantique de la voie occidentale, même si les deux trajets obtenus par photomètre ne le font pas. Il est vraisemblable qu'en Pologne, les populations occidentales utilisent la route occidentale, alors que les populations orientales utiliseraient la route continentale méditerranéenne de la voie occidentale, ou la voie centrale.

4) Quatre photomètres SOI de Finlande

Figure 9. Les photomètres INTIGEO de Finlande indiquaient que les trajets suivaient la route continentale méditerranéenne de la voie occidentale. Trois des SOI ont fait de même (dont un trop court pour en être sûr), mais le 4^e individu est parti vers le sud, comme l'un des oiseaux polonais. D'après Felix Liechti, nous pouvons considérer avec confiance que cet individu n'a pas emprunté la voie occidentale, et qu'il a emprunté très probablement la voie centrale, ou la voie orientale.

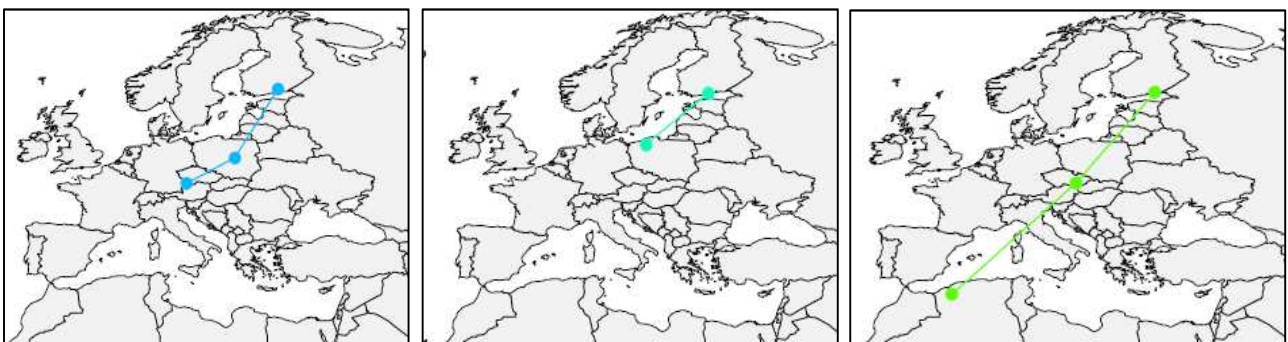


Figure 10. Analyse du quatrième individu faite par Felix Liechti (Station Ornithologique Suisse), confirmant la direction sud prise par cet individu. Voir ses commentaires sous les cartes qui attestent de la fiabilité de l'existence d'une voie centrale (la voie orientale passant à l'est de la Mer Noire).

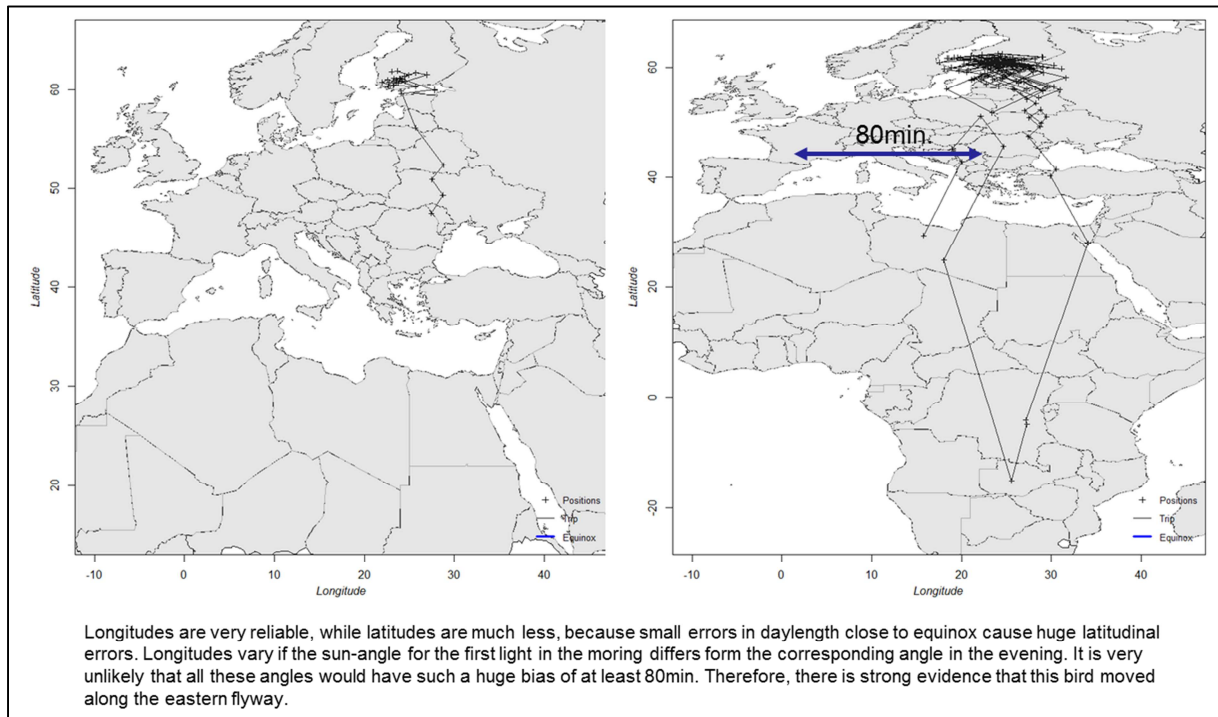
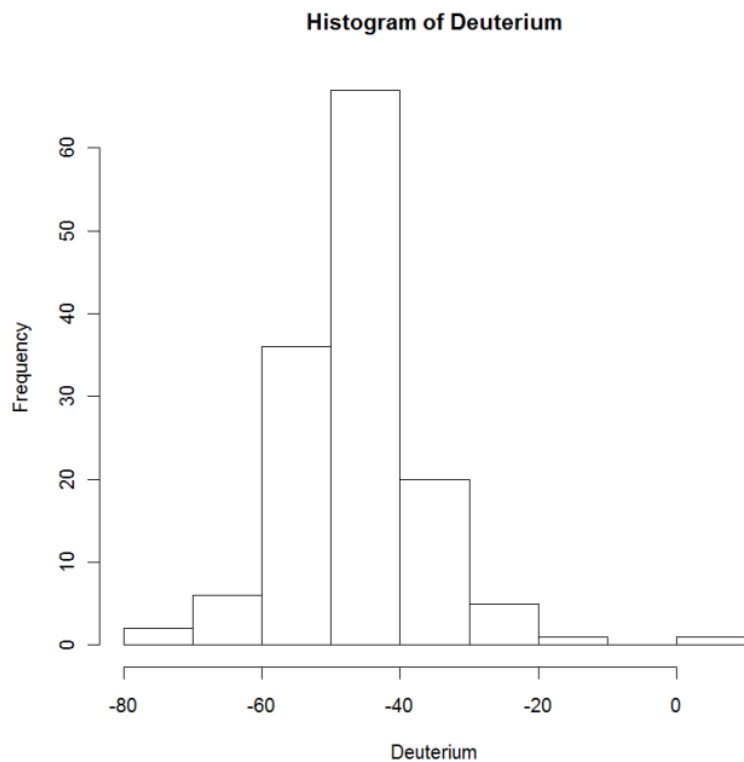
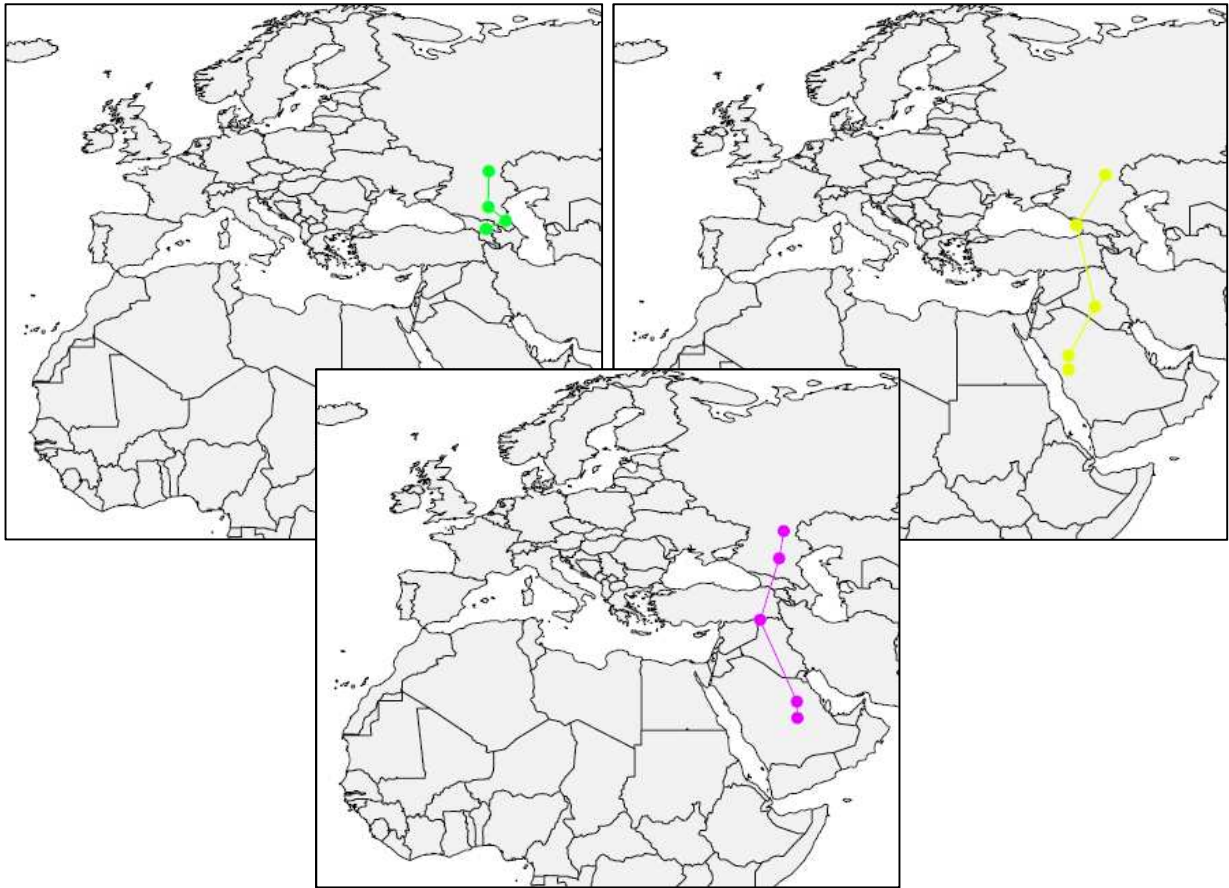


Figure 11. En se basant sur l'histogramme des concentrations en deutérium des plumes de corps des nicheurs finlandais (muées sur les quartiers d'hivernage), il apparaît évident que quelques individus hiverneraient en Afrique de l'est (valeurs de deutérium supérieures à entre -20). Comme les environnements isotopiques sont similaires dans les zones d'hivernage connues de l'espèce en Afrique de l'ouest et au Nigéria (voir le rapport isotopes stables), il semble vraisemblable qu'une partie des nicheurs de Finlande hiverne dans le nord du Nigéria.



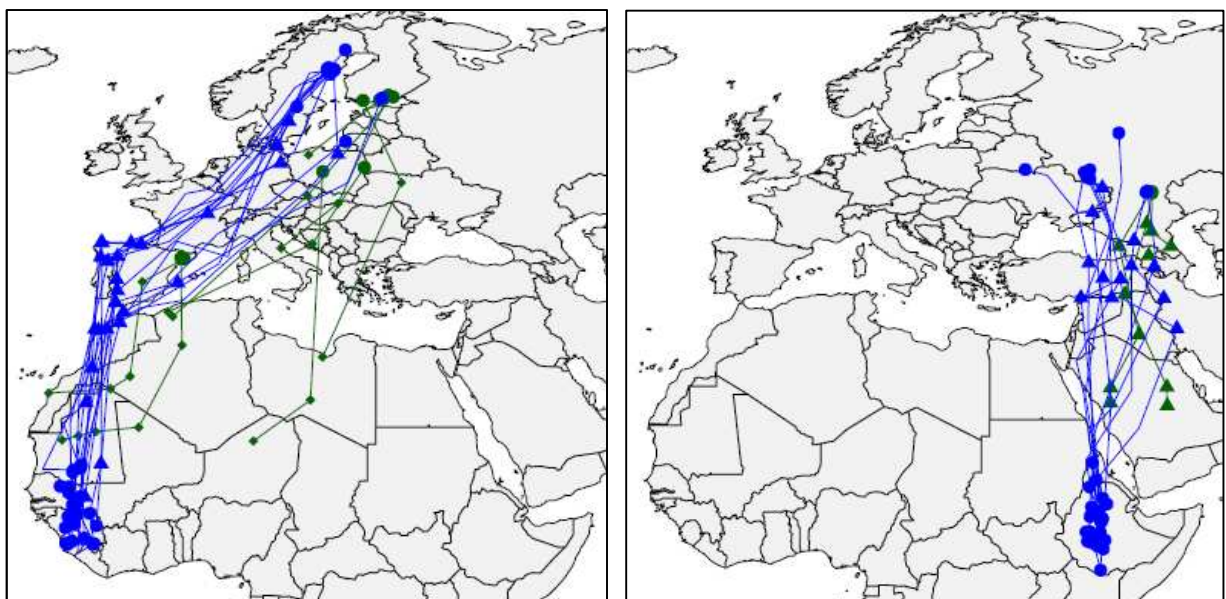
5) Trois photomètres SOI de Russie

Figure 12. Ces trois individus ont pris la même direction que les autres individus équipés de photomètres INTIGEO.



6) Comparaisons visuelles des trajets obtenus avec les photomètres SOI et INTIGEO

Figure 13. Trajets d'automne obtenus avec les photomètres INTIGEO (en bleu) et SOI (en vert) pour les bruants ortolans nichant en Finlande (à gauche) et en Russie (à droite).



RUSSIE. Globalement, pour les nicheurs russes, les courts trajets obtenus avec les photomètres SOI sont très semblables aux débuts des trajets complets obtenus avec les photomètres INTIGEO.

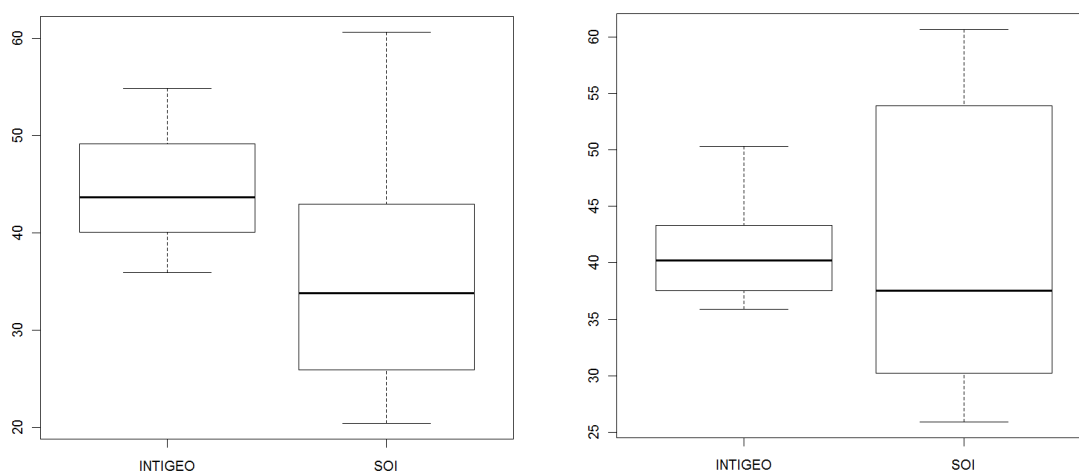
FINLANDE. Il en est de même pour les oiseaux finlandais, à l'exception d'un individu qui a emprunté une voie centrale pour probablement rejoindre la Libye début septembre, comme l'a fait un des nicheurs polonaise (voir ci-dessus).

7) Voie centrale et biais latitudinal

Comme indiqué précédemment, deux individus ont migré le long d'une voie centrale, mais leurs trajets obtenus avec des photomètres SOI qui ont arrêté d'enregistrer avant l'équinoxe, une période à laquelle les latitudes sont difficiles à estimer de manière précise. Si les longitudes de ces trajets ne sont pas discutables, nous ne sommes pas certains que ces deux individus aient atteint la Libye fin août ou début septembre (dernières localisations le 30 août pour l'individu finlandais, le 6 septembre pour le polonais). Aux mêmes dates (28 août – 8 septembre), les individus suivis par photomètre INTIGEO étaient localisés à des latitudes plus élevées (pour tous les trajets : $t=-7.8$, $df=32$, $P=0.02$; voir Figure 14 gauche). Toutefois, si l'on ne considère que les données de Russie et de Finlande, pays pour lesquels nous avons des données des deux types de photomètres, il n'y a plus de différence significative de latitude à ces dates ($t=-0.4$, $df=15$, $P=0.93$; Figure 14 droite).

En conséquence, nous pouvons quand même douter que ces deux oiseaux aient déjà atteint la Libye début septembre. S'ils étaient en fait situés à des latitudes similaires aux individus équipés de photomètres INTIGEO, ils seraient à 40°N de latitude en moyenne, soit probablement dans le sud de l'Italie ou en Grèce.

Figure 14. Boxplot comparant les latitudes où les bruants ortolans suivis par photomètre INTIGEO et SOI étaient localisés entre le 28 août et le 8 septembre (une localisation par individu par année). A gauche : tous les individus suivis. A droite : seulement ceux de Russie et de Finlande.



IV – NOTE SUR LESORTOLANS ALLEMANDS

Courte note rédigée par Petra BERNARDY

Routes de migration, zones de séjour et d’hivernage de bruants ortolans d’Allemagne déterminées à l’aide de photomètres

Une étude a été menée en dans l’est de la Basse Saxe, bastion du Bruant ortolan en Allemagne. L’aire d’étude est localisée dans le canton de Lüchow-Dannenberg où l’on trouve environ 1.500 mâles territoriaux.

Des photomètres pesant moins d’un gramme, fabriqués par Biotrack Ltd. (Wareham, Dorset) ont été fixés avec des harnais en élastique. Le package GeoLight de R a été utilisé pour analyser les données d’intensité lumineuse.

Le trajet présenté ici (Figure 15) est celui d’un individu qui est passé par les Landes, a fait des haltes migratoires sur la péninsule ibérique et en Mauritanie, et a hiverné dans le nord de la Sierra Leone.

Figure 15. Routes de migration empruntées en 2014-2015 par un Bruant ortolan allemand.



V – DONNÉES DE REPRISES DE BAGUES

[Voir fichier ESM3 des données de reprises et contrôles étrangers de Bruant ortolan bagués présents dans la base de données du CRBPO]

Nous savons que l'origine et le nombre de bruants ortolans migrateurs bagués en Europe et retrouvés ensuite en France est fortement dépendant par l'effort de baguage très hétérogène sur les sites de reproduction de l'espèce, et l'effort de recapture très hétérogène également, concentré par exemple dans les Landes pour la France. Toutefois, il reste intéressant de présenter ici un résumé des reprises de bagues disponibles dans la base de données du CRBPO au Muséum ; ces données sont proposées en annexe de ce rapport, sous la forme d'un fichier Excel. La cartographie de ces données indique que la majorité des ortolans capturés dans les Landes sont originaires de populations nicheuses occidentales.

La **Norvège** fournit 8 données de reprise d'oiseaux bagués en mai ou juin, pendant la saison de reproduction. En effet, l'effort de baguage a été important en Norvège où Svein Dale a marqué une population nicheuse durant plusieurs années. 7 de ces reprises ont été obtenues entre 1993 et 2005.

La **Suède** fournit 7 reprises, de 5 individus bagués en période de reproduction, et deux bagués fin août sur des îles connues pour être des haltes migratoires. Ces deux oiseaux venaient certainement de plus au nord.

Sur les 9 reprises de **Finlande**, 3 ont été obtenues au printemps dans le Lot-et-Garonne et le Gers. 8 de ces reprises ont été obtenues avant 1973, et seulement une plus tard, en 1987. Ces reprises finlandaises indiquent que des oiseaux nichant en Finlande passent par les Landes donc empruntent la route atlantique, même si les photomètres indiquent qu'ils sont minoritaires. Cela était sans doute possible quand la population nicheuse finlandaise était bien plus grande, avant qu'elle ne diminue de plus de 90% durant les dernières décennies.

Un poussin bagué en **Estonie** a été capture deux mois et demi plus tard dans les Landes en 1991.

La **Russie** fournit une seule donnée de reprise, d'un oiseau bagué à Gumbaritsy, région de Leningrad (60.68°N, 32.95°E), à la fin du mois d'août (26 August 1986) donc cet oiseau était déjà en migration, avant d'être capturé dans les Landes le 21 septembre.

Un individu bagué en Pologne en mai a été capturé dans les Landes en septembre quatre années plus tard, et trois oiseaux bagués en Allemagne de mai à juillet ont aussi été capturés dans les Landes en septembre de la même année (2) ou l'année suivant le baguage (1).

7 des 8 reprises d'**Italie** concernent des oiseaux bagués durant la migration de printemps en Italie (fin avril et début mai), et recaptures dans les Landes une autre année en automne. Un seul oiseau a été bagué durant la migration d'automne (le23 août 1993) et a été recapture trois semaines plus tard dans les Landes (le14 septembre), suggérant que quelques individus peuvent parfois passer de la route méditerranéenne à la route atlantique.

Les six reprises de **Belgique** sont des oiseaux qui y ont été bagués en migration d'automne, donc d'oiseaux empruntant la route atlantique.

Figure 16 Liens entre sites de baguage et de reprise ou contrôle pour les données de Bruant ortolan présentes actuellement dans la base de données du CRBPO au MNHN.



VI – CONCLUSIONS

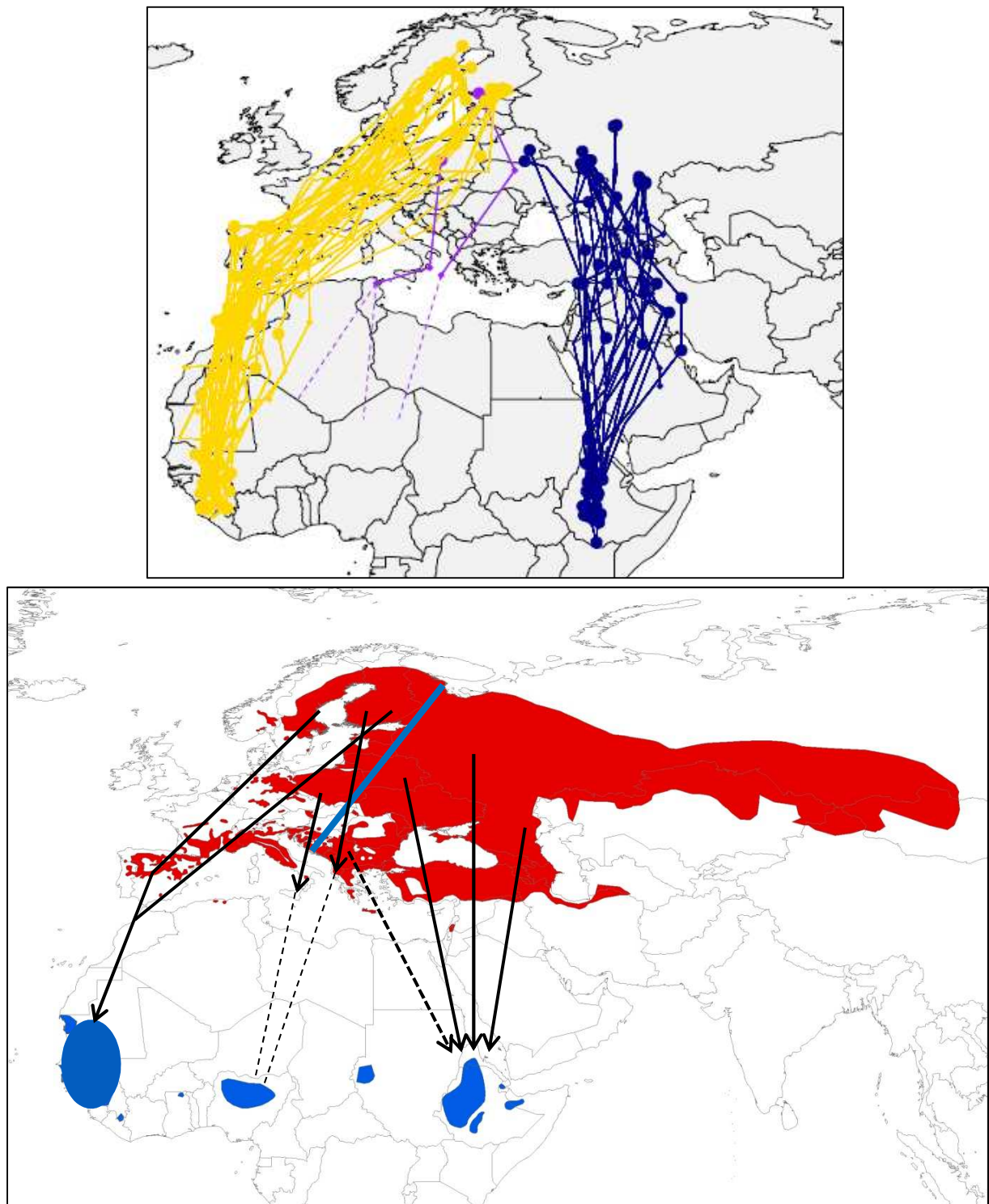
Les photomètres INTIGEO ont fourni 24 trajets d'automne complets pour 22 individus nichant en Suède, Finlande, Lituanie, Biélorussie et Russie. Ces trajets permettent d'identifier deux voies de migration distinctes. Les oiseaux nichant en Biélorussie et sur les trois sites russes empruntent une voie orientale au-dessus du Caucase et du Moyen-Orient, pour hiverner en Ethiopie et en Erythrée. Les individus nichant en Lituanie, Finlande et Suède ont emprunté une voie occidentale, en suivant deux routes différentes. La plupart des trajets de Suède, et tous ceux obtenus d'Allemagne par Petra Bernardy (n=16) passent par le sud-ouest de la France, le long d'une route atlantique. Quelques trajets suédois, tous ceux de Finlande et celui de Lituanie suivent une route plus continentale, au-dessus de l'est de la Pologne jusqu'au nord de l'Italie, empruntant une route méditerranéenne en longeant les côtes françaises puis espagnoles – ils ne visitent pas le sud-ouest de la France. Ainsi, il semble que sur la voie occidentale de migration, les populations nichant le plus à l'ouest empruntent la route atlantique (Norvège, Allemagne, majorité de la Suède, et probablement une partie de la Pologne occidentale), alors que les populations nichant plus à l'est utilisent la route méditerranéenne (états baltes, Finlande, et probablement la Pologne orientale).

Les quelques courts trajets (début de migration d'automne avant l'équinoxe) obtenus avec des photomètres SOI confirment la route méditerranéenne pour un individu de Pologne et trois individus de Finlande, et confirment la voie orientale pour trois individus de Russie. Comme attendu, deux individus d'Espagne ont emprunté la voie occidentale, tout comme un mâle de France lors de sa migration printanière. De plus, un individu de Norvège a hiverné en Guinée, près des sites où ont hiverné tous les individus empruntant la voie de migration occidentale.

Plus intéressant, un individu de l'ouest de la Pologne et un individu de l'ouest de la Finlande ont commencé leur migration en partant vers le sud jusqu'à la fin des enregistrements, respectivement le 6 septembre et le 30 août. Si les latitudes réelles auxquelles ces trajets se sont arrêtés peuvent être discutées (en Libye ou dans le sud-est de l'Europe), nous pouvons avoir confiance dans l'estimation des longitudes, qui prouvent que ces deux individus ont emprunté une troisième voie de migration à travers le centre de l'Europe, pour atteindre probablement l'Italie et la Grèce, respectivement, début septembre. La direction sud indiscutable de ces trajets suggère que ces deux individus pourraient se diriger vers les zones d'hivernage connues de l'espèce dans le nord du Nigéria.

La Figure 17 présente des résumés graphiques des résultats obtenus avec les photomètres.

Figure 17. Synthèse des voies de migration empruntées par les bruants ortolans étudiés dans ce programme de recherches. En haut, trajets obtenus avec les photomètres, trois couleurs pour trois voies de migration. En bas, représentation simplifiée des trois voies de migration ; aires de reproduction et d'hivernage d'après BirdLife International, modifiées en Afrique de l'ouest selon nos résultats photométriques. La ligne bleue situe la ligne de partage de migration est-ouest. Les flèches noires montrent les routes suivies par les oiseaux équipés de photomètres (sauf pour la flèche pointillée qui est déduite des résultats isotopiques). Les lignes pointillées sont les directions suspectées de migration des deux individus qui ont emprunté la voie de migration centrale.



ANNEXE II – RAPPORT ISOTOPES STABLES

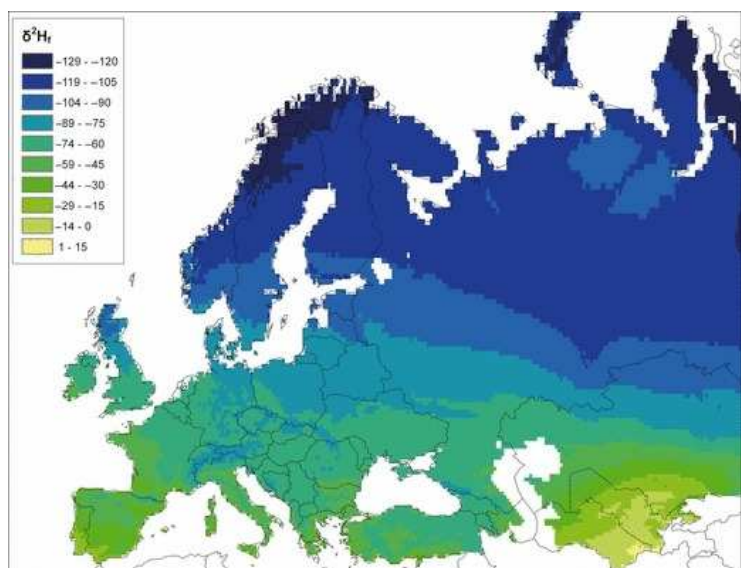
[Note: détails méthodologiques rédigés et assignations isotopiques réalisées par Kevin Kardynal de l'équipe de Keith Hobson]

Les isotopes d'hydrogène (deutérium) : des eaux de pluie aux plumes d'oiseau

Sur les continents, les concentrations des isotopes de l'hydrogène sont structurées selon leurs concentrations dans les eaux de pluie. Les plumes d'oiseau qui poussent à un endroit donné ont des concentrations isotopiques proportionnelles à celles de l'environnement – donc des eaux de pluie - de cet endroit. Ainsi, en mesurant la concentration en deutérium d'une plume d'oiseau, il est possible de définir l'espace géographique probabiliste où elle a pu pousser. En effet, une méthode d'assignation d'origine spatialement explicite (Royle and Rubenstein 2004, Hobson *et al.* 2009) peut être utilisée pour délimiter les zones probables d'origine des plumes de Bruant ortolan collectées dans cette étude, en convertissant les concentrations des eaux de pluie de la saison de croissance des plantes (Bowen *et al.* 2005) en un paysage isotopique des plumes grâce à une équation de calibration (Procházka *et al.* 2013). Cette dernière équation est une fonction de transfert du deutérium de l'environnement aux plumes. Ensuite, des assignations d'origine sont réalisées à l'intérieure de l'aire de distribution connue de l'espèce où nous savons que les plumes peuvent avoir poussé.

En Europe, les concentrations en deutérium (isotope de l'hydrogène) montrent une structuration latitudinale marquée (Bowen *et al.* 2005), donc le paysage isotopique des plumes aussi (Fig. 1). Donc une approche isotopique identifiera des bandes longitudinales larges où les concentrations en deutérium sont semblables à celles de l'environnement où les plumes ont poussé. Cela ne signifie pas que tous les oiseaux dont les plumes ont poussé dans ces zones sont concernés par l'analyse. Cela signifie simplement que tous les oiseaux de ces zones ont des plumes qui ont des signatures isotopiques similaires.

Fig.1. Paysage isotopique en deutérium ($\delta^2\text{H}$) des eaux de pluie de la saison de croissance des plantes (Bowen *et al.* 2005, Hobson 2011).



Zones d'hivernage des oiseaux nicheurs

Pour aider à déterminer les aires d'hivernage des oiseaux nicheurs de diverses populations, nous avons également réalisé des mesures isotopiques de l'hydrogène de la kératine à partir de plumes recueillies sur des oiseaux nicheurs capturés sur leur territoire de reproduction. Le Bruant ortolan mue les plumes de son corps deux par an : avant la migration d'automne sur les sites de reproduction (en août), et avant la migration printanière sur les sites d'hivernage. Ainsi, les oiseaux nicheurs en mai-juin ont des couvertures de corps muées sur les sites d'hivernage en Afrique.

Nous avons analysé des échantillons (couvertures du corps ou scapulaires) prélevées sur des mâles territoriaux capturés sur les sites de reproduction en mai-juin 2013-2014-2015 dans différents pays (total puis échantillons annuels entre parenthèses) : Biélorussie (n=43; 0-21-22), Finlande (n=139; 53-33-53), France (n=34; 11-14-9), Lituanie (n=43; 0-21-22), Pologne (n=31; 0-18-13), Serbie (n=7; 0-0-7), Espagne (n=19; 0-10-9) et Russie (n=192; 0-60-132). Nous avons aussi analysé des plumes de corps de migrateurs capturés au printemps (avril 2015) au Koweït (n=45) et en Israël (n=10) pour assigner leurs plumes aux zones potentielles d'hivernage.

Origine des migrateurs d'automne

Pour aider à déterminer l'origine géographique des ortolans migrant par la France et le Koweït, nous avons mesuré les concentrations en isotopes stables de l'hydrogène dans la kératine de plumes prélevées sur des oiseaux vivant captures Durant leur migration puis relâchés dans la nature. Chez cette espèce, en automne, les individus portent des rectrices (longues plumes de la queue) qui ont poussé au nid (pour les jeunes de l'année) ou qui ont mué sur les sites de reproduction avant la migration (pour les adultes). Nous avons ainsi échantillonné des migrateurs en France en août-septembre (durant quatre années : 2012, 2013, 2014, 2015; n=40) et au Koweït en septembre 2014 (n=78).

Chaque année, la police de la chasse et la gendarmerie saisissent des ortolans dans le sud-ouest de la France. Les oiseaux saisis sont ensuite placés dans un centre de soins pour la faune sauvage, avant d'être relâchés dans la nature (si leur état de santé le permet) quand les autorités judiciaires l'autorisent. Ces oiseaux saisis comprennent des individus sauvages tout juste capturés et des appelants vivants gardés en captivité depuis au moins un an. Les oiseaux saisis ont été échantillonnés (une plume de la queue, n = 274) au moment de leur baguage en centre de soins avant leur relâcher. Dans les analyses, ces oiseaux saisis ont été séparés en trois groupes : (1) les individus de première année (n=34 ; nés dans l'année, donc portant en septembre des plumes qui ont poussé dans le nid donc dans la nature) ; (2) les appelants avérés (n=21, avec des plumes qui ont poussé de manière certaine en captivité), incluant tous les individus ayant des colorations anormales (une ou plusieurs rémiges blanches ou blanchies, un plumage fuligineux) et un mâle gardé en centre de soin depuis un an ; (3) les individus de statut inconnu (n=179), qui doivent être un mélange d'appelants non identifiés comme tels et d'individus adultes sauvages. Quel que soit le statut de ces oiseaux, ils sont tous nés sauvages (il n'y a pas de reproduction de l'espèce en captivité), mais les plumes qu'ils portent ont poussé soit dans la nature soit en captivité.

Echantillonnage pour calibrer l'équation de transfert

Chez les adultes, les rectrices sont supposées être muées une fois par an avant la migration d'automne sur les sites de reproduction. Les juvéniles portent des rectrices qui ont poussé dans le nid, donc sur le site où ils sont nés. On s'attend donc à ce que les oiseaux nicheurs en mai-juin portent des rectrices âgées de 10 mois environ, poussées l'été précédent sur le site de naissance ou de reproduction. Nous avons mesuré les concentrations en deutérium de plumes de queue collectées sur une centaine de mâles reproducteurs d'origine variée (5 ou 6 mâles par site suivi dans 10 pays pour un total de 100 individus).

L'idée était de déterminer une équation de calibration propre au Bruant ortolan et de vérifier qu'elle est similaire à celles des autres espèces européennes terrestres, notamment celle de la Rousserolle effarvate (*Acrocephalus scirpaceus*; $d^2H_f = -10.29 + 1.28*d^2H_p$; Procházka *et al.* 2013), et généralement utilisée pour les assignations d'origine des oiseaux européens. Cette formule traduit le transfert du deutérium des eaux de pluie vers la kératine des plumes.

Mesures isotopiques d'hydrogène

Les plumes ont été nettoyées dans un solvant chloroforme:méthanol 2:1 et préparées pour les analyses de δ^2H effectuées au Stable Isotope Laboratory of Environment Canada, Saskatoon, Canada. Le δ^2H de l'hydrogène non-échangeable des plumes a été déterminé avec la méthode décrite par Wassenaar & Hobson (2003) basée sur deux matériaux de références en kératine calibrés pour les isotopes d'hydrogène (CBS, KHS). Les mesures d'isotopes d'hydrogène ont été réalisées sur le gaz H_2 obtenu par pyrolyse éclair à très haute température (1350 °C ; Eurovector 3000; Milan, Italie) sur des échantillons de 350 ± 10 ug de plumes et des étalons de kératine rangés dans des capsules d'argent. L'hydrogène ainsi séparé a été analysé sur un spectromètre de masse. Les mesures des deux échantillons de référence de kératine, corrigées pour les biais linéaires des instruments, étaient toutes deux exactes et précises avec des moyennes intra-run de $\delta^2H \pm SD$ de $-197 \pm 0.79\text{‰}$ ($n = 5$) pour CBS et de $-54.1 \pm 0.33\text{‰}$ ($n = 5$) pour KHS. Tous les résultats concernent l'hydrogène non échangeable et sont exprimés en différence delta typiques, l'unité étant le pour mille (‰), et normalisés selon l'échelle standard du Vienna Standard Mean Ocean Water–Standard Light Antarctic Precipitation (VSMOW-SLAP).

Assignation d'origine

Pour délimiter les zones probables d'origine potentielle des échantillons de plumes de Bruant ortolan, nous avons utilisé une méthode d'assignation de vraisemblance spatialement explicite (Royle and Rubenstein 2004, Hobson *et al.* 2009). A cette fin, nous avons converti les surfaces produites par Bowen *et al.* (2005) en paysage isotopique de plumes en utilisant l'équation de calibration mise au point pour la Rousserolle effarvate ($d^2H_f = -10.29 + 1.28*d^2H_p$) par Procházka *et al.* (2013) parce qu'une équation propre au Bruant ortolan n'était pas disponible. Les écarts-types résiduels ($SD = 10.36\text{‰}$) de la régression linéaire utilisée pour calibrer les surfaces de précipitations pour la Rousserolle effarvate ont été inclus dans les assignations comme estimation de l'erreur. Nous avons obtenu l'aire de distribution du Bruant ortolan par BirdLife International and NatureServe (2011), que nous avons modifiée pour inclure les zones de reproduction connues au Kazakhstan (voir la carte sur le site <http://www.birds.kz/v2taxon.php?s=577&l=en>). Pour les assignations d'origine des échantillons de plumes de spécimens de muséum, nous avons modifié

l'aire actuelle pour inclure l'ensemble de l'Europe de l'ouest où l'espèce pouvait nicher autrefois avant son déclin important. Les bruants ortolans muent leurs plumes sur les sites de reproduction ou d'hivernage, donc les analyses d'assignations d'origine ne considèrent que les aires de reproduction ou d'hivernage, de manière séparée. Dans des analyses séparées, les zones d'origine potentielle des individus capturés sur la voie occidentale ou sur la voie orientale ont été restreintes géographiquement aux zones de reproduction des populations concernées (à l'ouest ou à l'est de la ligne de partage de migration, en suivant les frontières politiques) en se basant sur les résultats des photomètres et de la structure génétique des populations nicheuses.

Nous avons utilisé un ratio de 2:1 pour considérer qu'une plume pouvait avoir poussé dans un pixel du paysage isotopique, en considérant les probabilités supérieures à 67% comme possibles (valeur 1) et les probabilités inférieures comme improbables (valeur 0 ; Hobson *et al.* 2009). Nous avons d'abord réalisé des assignations par pays (regroupant les oiseaux nicheurs d'un même pays), pour ensuite regrouper les pays qui avaient des valeurs de deutérium similaires (effet pays dans un modèle GLM). Les assignations réalisées sur les plumes résultent en la production d'une surface binaire explicite spatialement pour chaque individu ; ces surfaces ont été additionnées pour l'ensemble des individus d'un groupe pour obtenir les cartes d'assignations probabilistes d'origine de ce groupe. Les manipulations de fichiers digitaux et les assignations d'origine ont été réalisées avec différents packages de R v3.3.1 (R Core Team 2016) dont 'raster' v.2.3 (Hijmans 2015), mapproj v0.8 (Bivand and Lewin-Koh 2015) et 'permute' (Simpson 2015) et à l'aide d'ArcMap 10.1 (ESRI 2012).

RÉSULTATS

Calibration : où les ortolans muent-ils leurs rectrices ?

Les plumes de queue prélevées sur les ortolans nicheurs ont les mêmes concentrations en deutérium que les plumes de corps prises sur les mêmes individus (voir Fig. 2a; coefficient de corrélation de Pearson, $r=0.80$, $n=65$, pour les individus avec des mesures de deutérium sur les deux types de plumes). Cette similitude révèle que les plumes de corps et de queue ont été muées dans un environnement isotopique similaire, et donc que toutes les rectrices sont muées sur les sites d'hivernage (les 12 et pas seulement entre 0 et 6 comme rapporté dans Demongin 2016).

Pour les ortolans capturés au Koweït pendant la migration de printemps, nous trouvons la même relation significative (voir Fig. 2b; coefficient de corrélation de Pearson, $r=0.81$, $n=43$, en excluant deux valeurs aberrantes de $\Delta d2H > 30$ entre scapulaires et rectrices, signalant que dans ces deux cas ces deux types de plumes ont été muées sur des sites différents). Ceci confirme que 43 de ces 45 individus ont mué la queue sur les sites d'hivernage.

Pour conclure, il n'a pas été possible de calibrer une équation de transfert avec les échantillons analysés. Pour ce faire, il aurait fallu prélever des plumes sur des poussins au nid ou des jeunes fraîchement envolés. La principale découverte de cette analyse est que le Bruant ortolan mue ses rectrices aussi en Afrique, et donc mue la queue deux fois par an. Cette double mue est confirmée par le fait que les bagueurs ont prélevé soit une rectrice centrale, soit une rectrice externe, et que les deux types de plume ont des signatures isotopiques similaires aux plumes du corps.

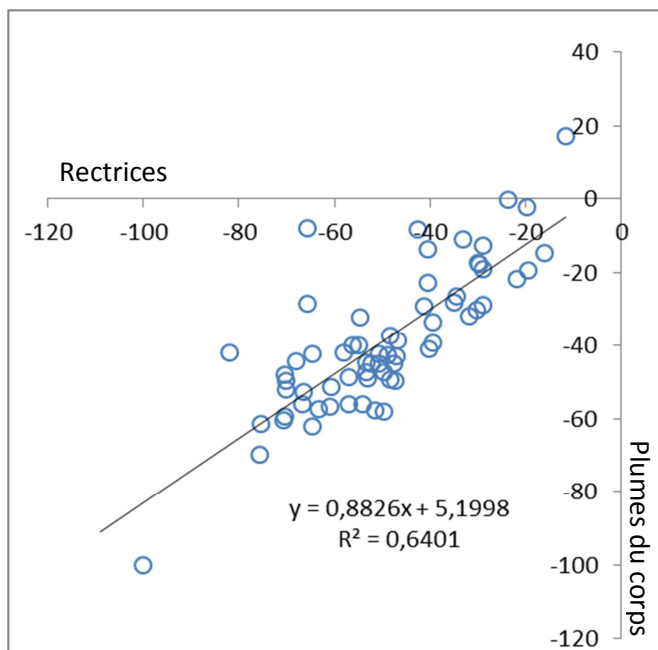


Fig. 2a. Concentrations en deutérium des plumes de 65 bruants ortolans capturés dans différents pays en Europe (Biélorussie, Finlande, France, Lituanie, Pologne, Russie, Serbie, Espagne) durant la saison de reproduction (mai-juin), dans les rectrices (axe horizontal) et les plumes du corps (axe vertical).

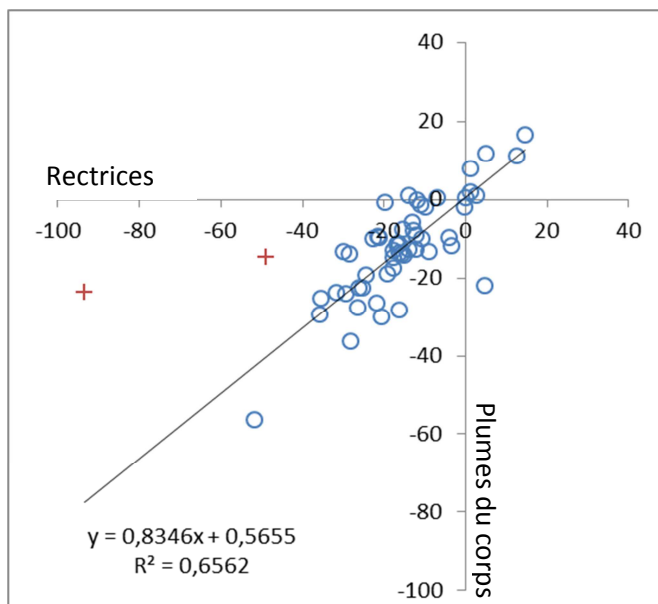


Fig. 2b. Concentrations en deutérium des plumes de 45 bruants ortolans capturés au Koweït en avril 2015 durant la migration de printemps, dans les rectrices (axe horizontal) et les plumes du corps (axe vertical).

Zones d'hivernage

Les concentrations en deutérium des scapulaires/couvertures du corps (muées sur les sites d'hivernage africains) des oiseaux nicheurs ou migrateurs au printemps se séparent en deux groupes distincts de pays (test d'analyse de variance sur les deux groupes, $t=-25.4$, $df=539$, $P<0.0001$) : (1) la Biélorussie, la Russie et la Serbie, ainsi que les migrateurs capturés en Israël et au Koweït ; (2) les oiseaux nicheurs de Finlande, de France, de Lituanie, de Pologne et d'Espagne. Ces deux groupes correspondent à des individus ayant mué dans des environnements isotopiques similaires, donc probablement dans les mêmes zones géographiques.

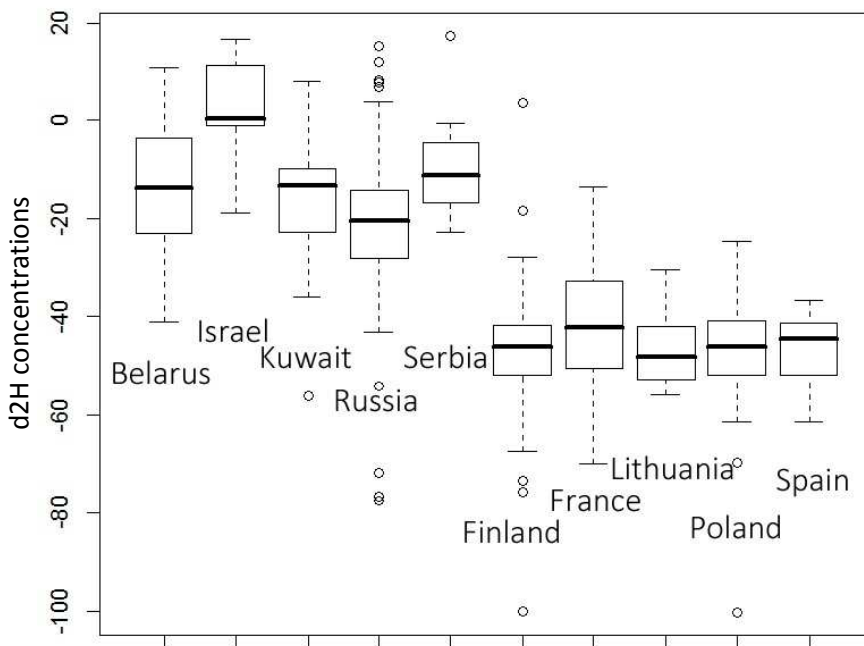


Fig. 3. Boxplot des concentrations moyennes en deutérium des plumes du corps de bruants ortolans capturés durant la saison de reproduction ou en migration au printemps, selon le pays où les oiseaux ont été capturés.

Assignations probabilistes aux zones potentielles et connues d'hivernage

Les panneaux de la figure suivante (Fig. 4) montrent les sorties graphiques des assignations géographiques à l'aire d'hivernage des individus capturés dans les pays ou régions (pour la Russie) du premier groupe identifié statistiquement : (a) Biélorussie ($n=43$), (b) Serbie ($n=7$), (c) nord de la Russie (Vladimir, $n=13$), (d) sud de la Russie (Belgorod et Volgograd, $n=179$), (e) Israël et Koweït ($n=55$), et (f) tous les individus de ces pays ($n=297$).

Ensuite, la Figure 5 montre les sorties graphiques des assignations géographiques à l'aire d'hivernage des individus capturés dans les pays du second groupe : (a) Finlande ($n=139$), (b) France ($n=35$), (c) Lituanie ($n=21$), (d) Pologne ($n=24$), (e) Espagne ($n=19$), et (f) tous les individus de ces pays ($n=238$).

Ces cartes montrent clairement que les deux groupes correspondent à une ségrégation d'oiseaux hivernant en Afrique de l'est (groupe 1, populations orientales) et en Afrique de l'ouest (groupe 2, dont la Scandinavie, la Finlande, les pays baltes et l'Europe de l'ouest).

Fig. 4. Assignations géographiques des plumes de bruants ortolans (capturés au printemps ou en reproduction) à l'aire d'hivernage connue, où ils ont pu muer leurs plumes du corps. Individus nicheurs en (a) Biélorussie, (b) Serbie, (c) nord de la Russie, (d) sud de la Russie, (e) migrants au Koweït et en Israël, et (f) tous ces individus ensemble.

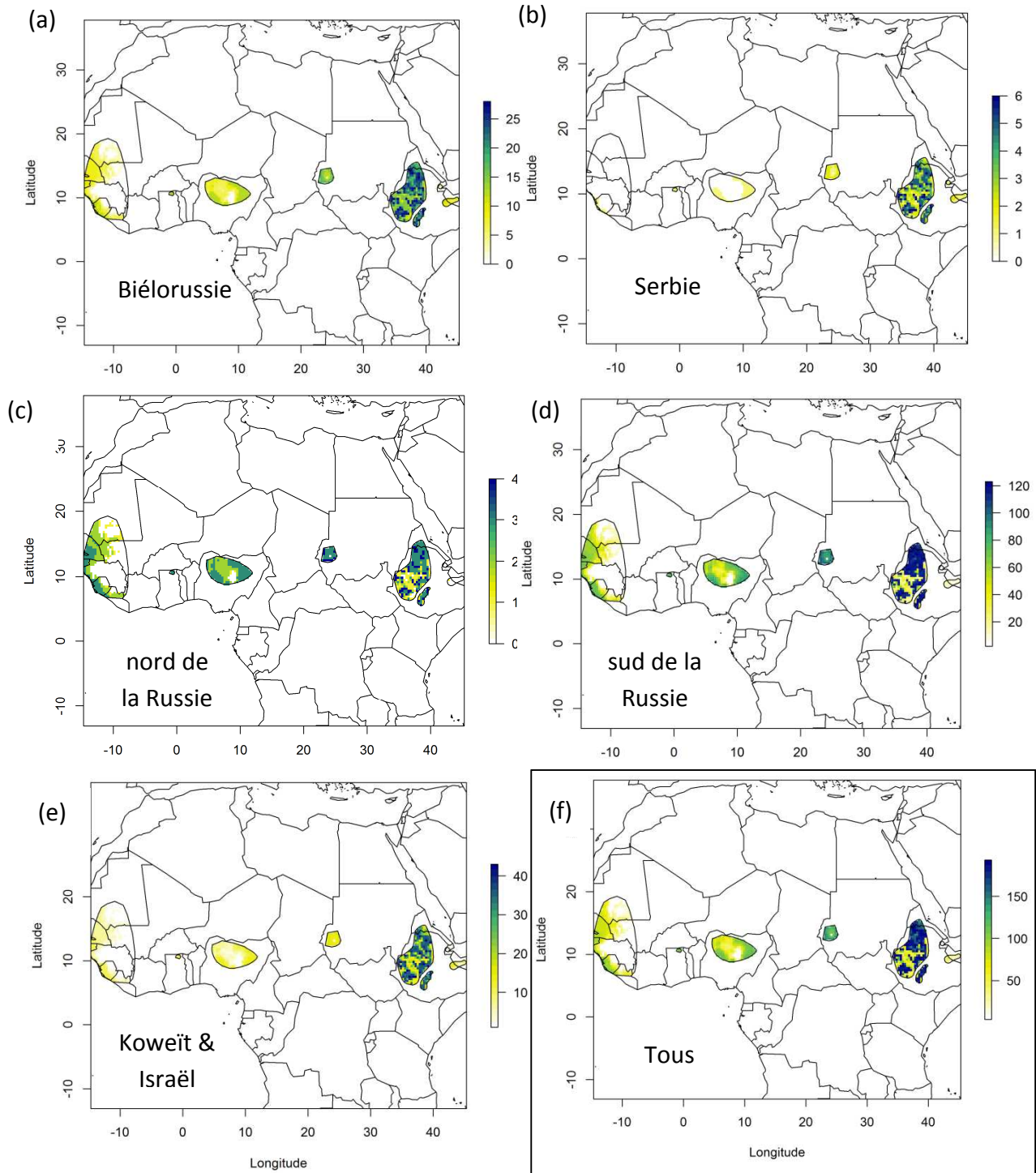
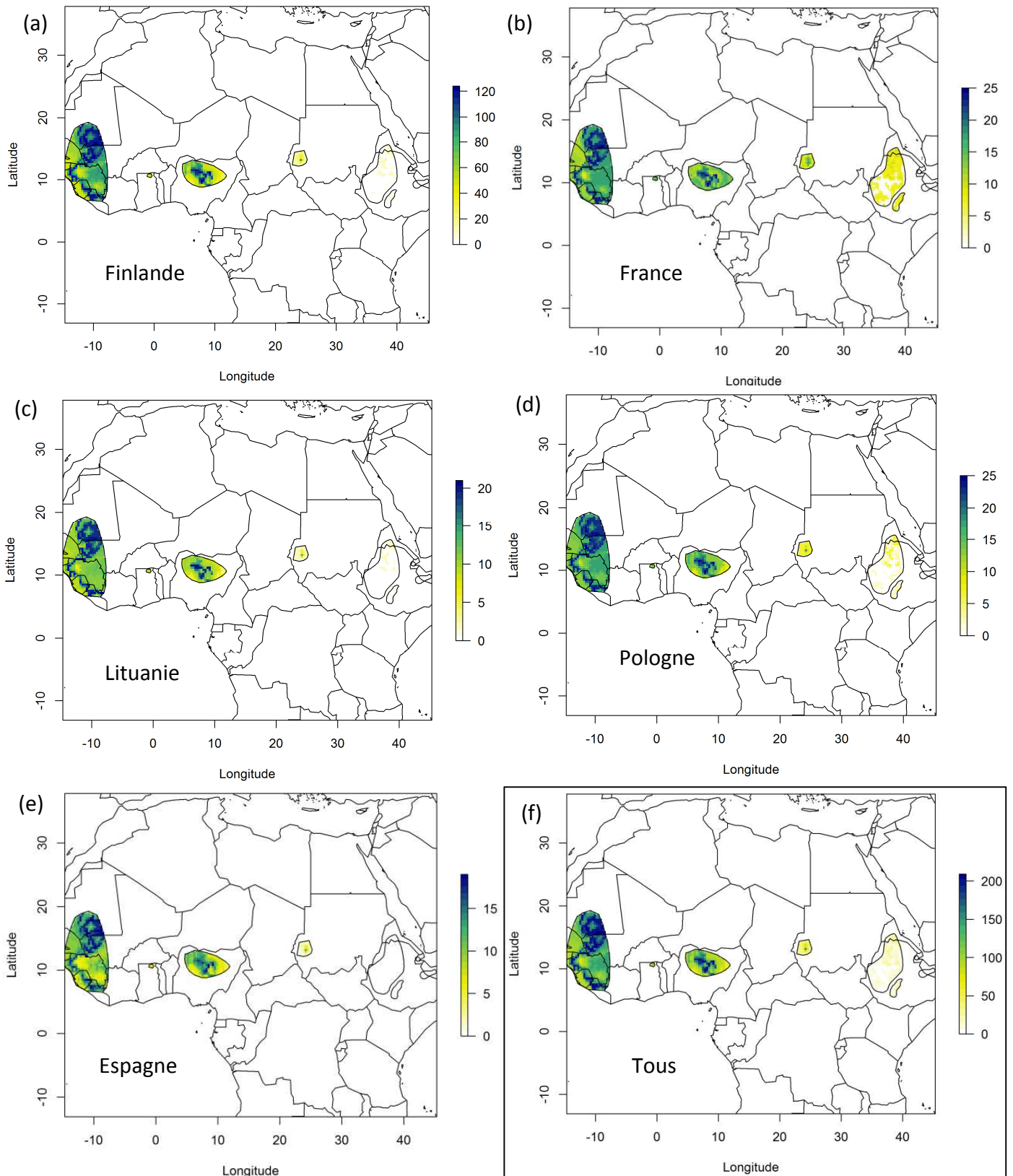


Fig. 5. Assignations géographiques des plumes de bruants ortolans (capturés au printemps ou en reproduction) à l'aire d'hivernage connue, où ils ont pu muer leurs plumes du corps. Individus nicheurs en (a) Finlande, (b) France, (c) Lituanie, (d) Pologne, (e) Espagne, et (f) tous les individus ensemble.



Assignations probabilistes des migrateurs d'automne de la voie orientale

Pour déterminer l'origine latitudinale des migrateurs capturés en septembre 2014 le long de la voie de migration orientale (au Koweït), une analyse d'assignation d'origine a été effectuée sur les plumes prélevées par les bagueurs du CRBPO sur des oiseaux sauvages capturés au filet pendant la migration. Une première carte a été obtenue à partir des 78 individus capturés au Koweït, appliquée sur l'ensemble de la zone de reproduction de l'espèce (figure 6a). L'origine géographique possible de ces migrants semble être principalement le sud de la Russie, le sud de l'Ukraine et le nord de la Roumanie, ainsi que la Turquie, quand on limite les assignations aux pays dont les populations utilisent la voie de migration orientale (et hivernent en Afrique de l'est). Étant donné la taille des populations nicheuses respectives de ces pays, nous pouvons considérer que la plupart des migrateurs capturés au Koweït sont d'origine russe, car presque tous les ortolans russes (2 à 4,3 millions de couples) se reproduisent dans les zones vert pâle à bleu foncé de la Fig. 6b. D'après la carte, les populations turques (0,5-1 million de couples) et roumaines (225.000-550.000 couples) utilisent aussi cette voie de migration. L'Ukraine n'accueille que 58.000 à 67.000 couples.

Nous pouvons probablement considérer ces cartes probabilistes comme illustrant également les densités relatives des populations nicheuses en Europe de l'est. Cela est vrai si tous les oiseaux de la zone de prédiction utilisent cette voie de migration est. Dans ce cas, il semble que les densités dans le nord de la Russie, ainsi qu'au Kazakhstan et en Mongolie, soient très faibles, ces oiseaux ne représentant qu'une très faible proportion des migrants se rendant au Moyen-Orient et dans la péninsule arabique. Cela confirmerait également que la Turquie abrite une très grande population et que les oiseaux roumains sont principalement localisés dans le nord du pays. Les oiseaux d'Extrême-Orient pourraient être peu nombreux ou utiliser une route plus orientale (par les Émirats Arabes Unis, ou Oman) tout en migrant vers l'Éthiopie.



Site de capture au Koweït, ferme d'Al Abraç, avril 2015 (photo F. Jiguet)

Fig. 6a. Assignations d'origine géographique pour 78 bruants ortolans capturés au Koweït en avril 2015, représentant un échantillon des migrateurs utilisant la voie orientale. Assignations réalisées ici sur l'ensemble de l'aire de reproduction de l'espèce, de l'Espagne à la Mongolie.

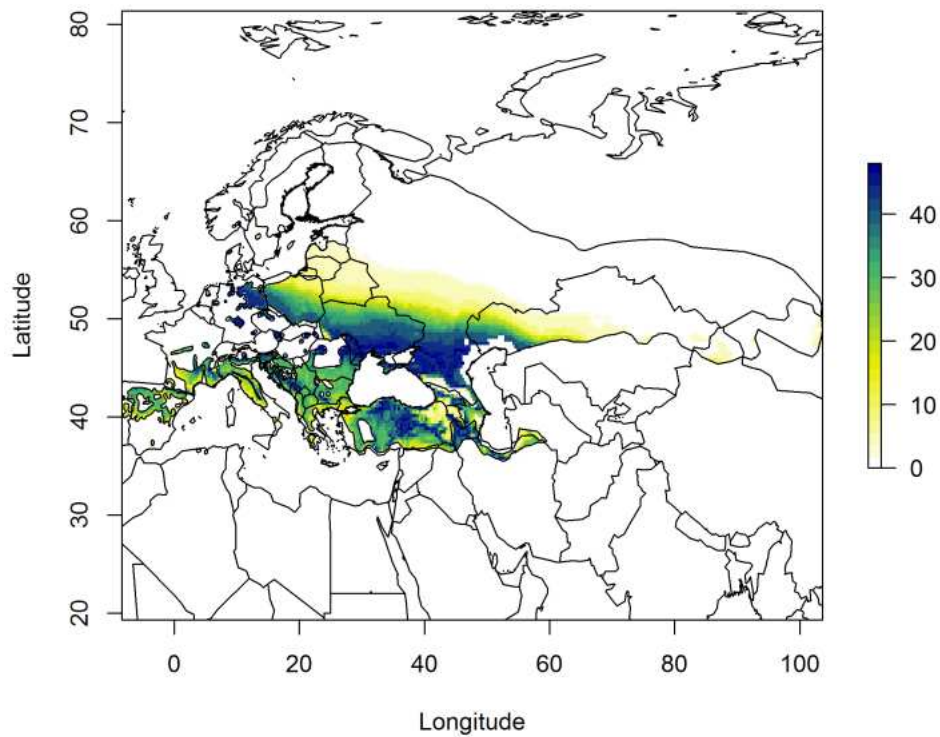
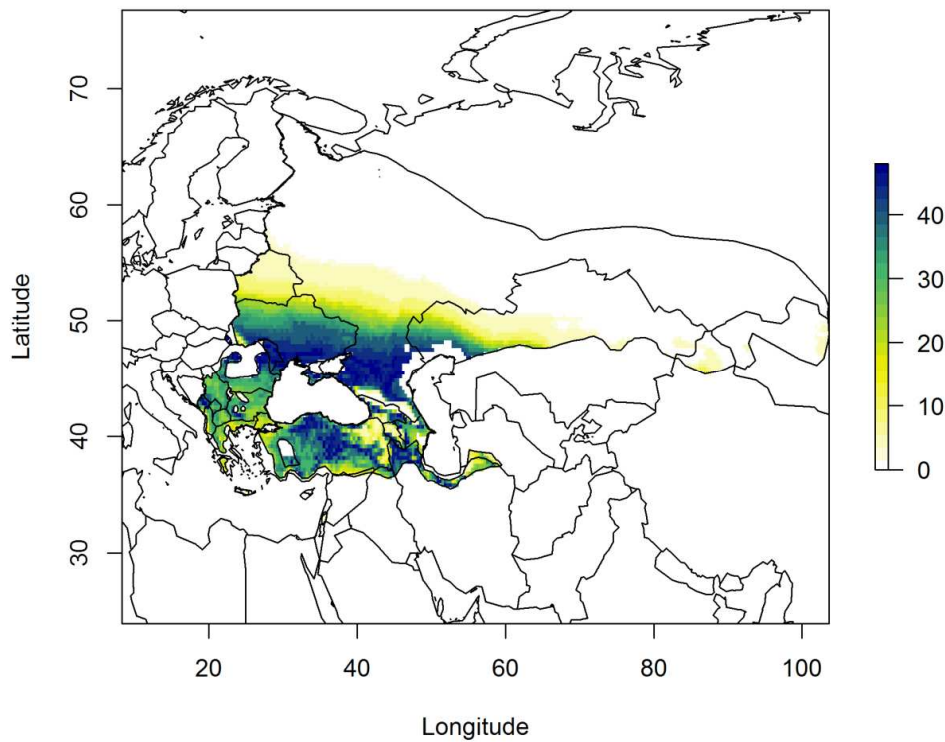


Fig. 6b. Mêmes assignations d'origine en restreignant la zone considérée aux pays dont les populations nicheuses empruntent la voie de migration orientale (résultats génétiques et photomètres de cette étude).



Assignations probabilistes des migrateurs d'automne de la voie occidentale

Pour déterminer l'origine latitudinale des migrateurs capturés en août-septembre 2012-2015 le long de la voie de migration occidentale (en France, principalement sur la route atlantique de la voie occidentale), une analyse d'assignation d'origine a été effectuée sur les plumes prélevées par des bagueurs du CRBPO sur des oiseaux sauvages capturés en France. Une première carte a été obtenue à partir des 40 individus capturés par des bagueurs au filet (Fig. 7a). Une deuxième carte a été obtenue en ajoutant à cet échantillon les oiseaux de première année saisis par la police de la chasse (n = 34), qui ont été accueillis en centre de soins avant d'être bagués et relâchés dans la nature (ils portaient donc des retrices de première génération). La deuxième carte (Fig. 7b) a donc été obtenue à partir de 74 individus. En restreignant l'aire d'assignation aux pays dont les populations empruntent la voie occidentale, l'origine géographique possible de ces migrateurs semble être principalement la Pologne et l'Allemagne, et dans une moindre mesure la France, les états baltes et le sud de la Suède. Très peu d'individus semblent provenir de Norvège (population nicheuse réduite), de Finlande (utilisent la route continentale) ou du nord de la Russie (utilisent la voie de migration orientale, très faible densité de population). Une fois de plus, il semble qu'une telle carte - restreinte aux pays avec des populations utilisant la voie de migration occidentale - puisse refléter les densités relatives de population nicheuses, car les populations les plus importantes dans la zone concernée sont en Pologne. La seule exception ici est la Finlande, qui abrite 7.000 à 19.000 couples avec une très faible contribution probabiliste aux migrateurs capturés en France, mais les géolocalisateurs ont révélé où et comment ces oiseaux finlandais migrent : par une route plus continentale.

Fig. 7a. Assignation d'origine pour 40 bruants ortolans capturés en France en août-septembre 2012-2015 par les bagueurs du CRBPO au filet, représentant un échantillon de migrateurs empruntant la route atlantique de la voie occidentale. Assignations réalisées ici sur toute l'aire de distribution de l'espèce, de l'Espagne à la Mongolie.

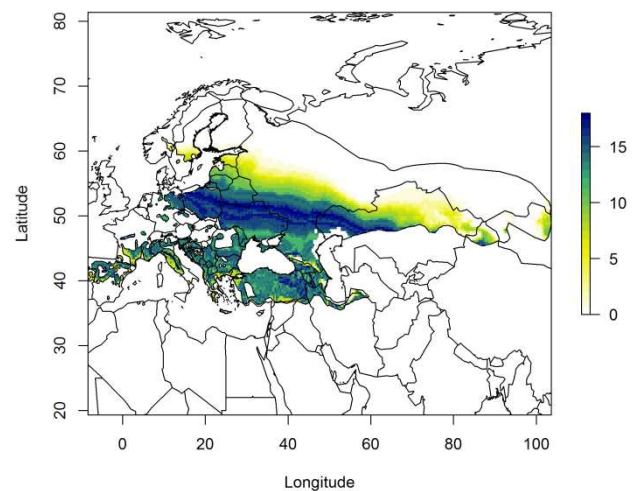
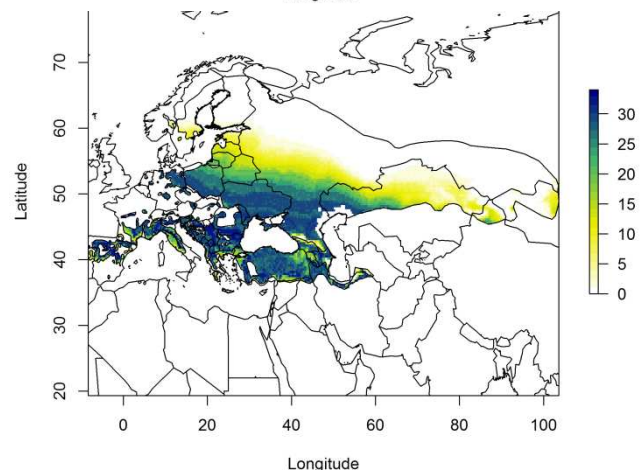
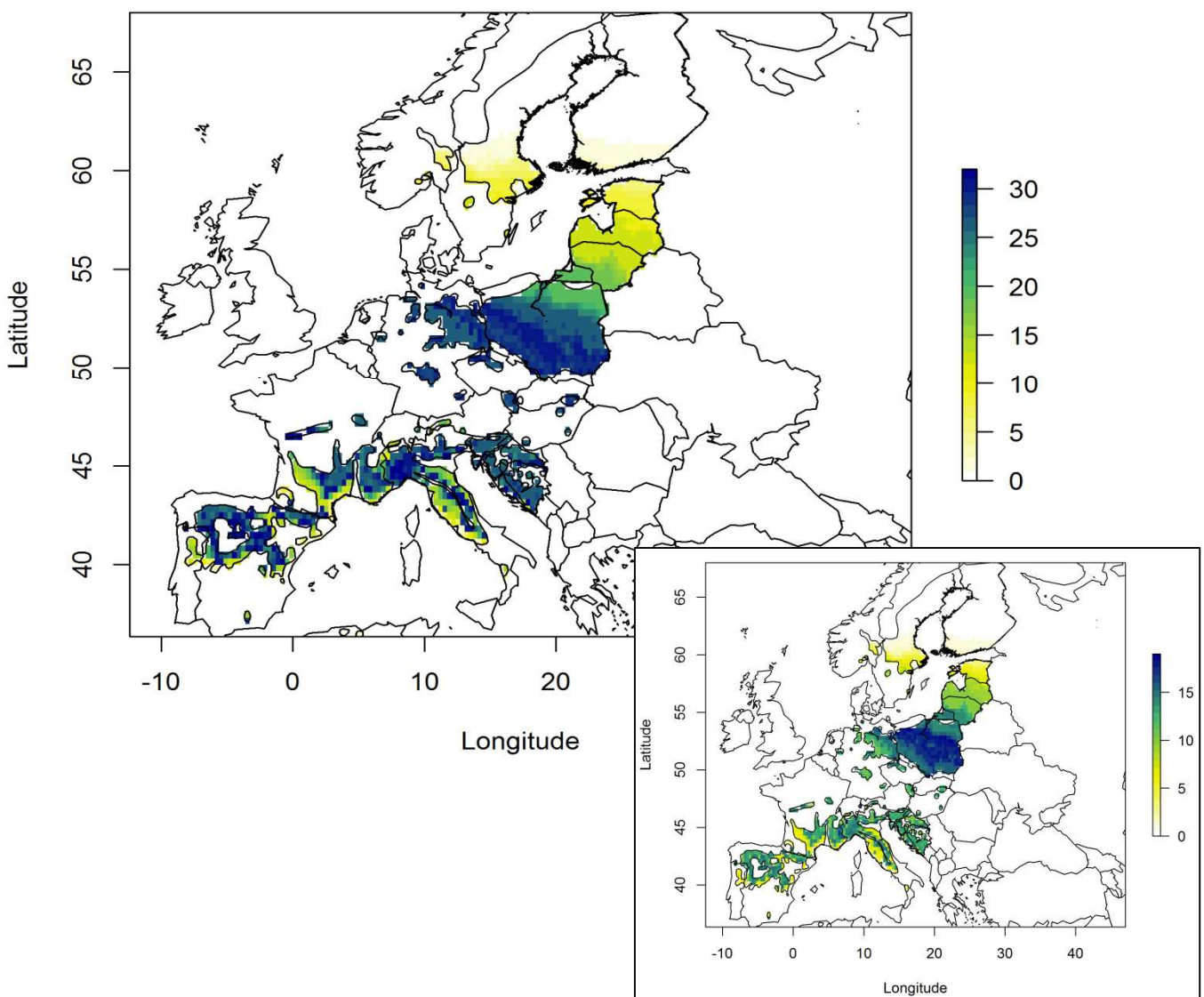


Fig. 7b. Assignations d'origine pour 74 bruants ortolans bagués en août-septembre 2012-2015, dont 40 individus capturés par les bagueurs du CRBPO au filet, et 34 individus de première année saisis par l'ONCFS et bagués avant d'être relâchés en septembre.



Ces cartes illustrent les zones potentielles où les plumes des ortolans considérés ont pu pousser, c'est-à-dire qu'elles identifient toutes les zones ayant des conditions isotopiques de deutérium similaires à celles où les plumes ont effectivement poussé. Il est nécessaire de recouper ces assignations avec d'autres informations sur les zones potentielles d'origine des migrateurs pour obtenir une cartographie d'origine plus réaliste. Dans cette étude, les assignations isotopiques à l'aire d'hivernage, les photomètres et la génétique ont permis d'identifier une ligne de partage de migration, car les nicheurs de la Serbie jusqu'à la Biélorussie et au nord de la Russie passent l'hiver en Ethiopie. La Figure 7c illustre le résultat de la même procédure d'assignations des 74 migrateurs à la partie de l'aire de reproduction dont les populations empruntent effectivement la voie de migration occidentale. La Figure 7d est la même mais uniquement pour les 40 individus capturés au filet. Toutes deux confirment l'origine principalement polonaise des migrateurs qui survolent la France.

Fig. 7c (encart 7d). Assignations d'origine de 74 bruants ortolans captures en migration en automne 2012-2015 dont les plumes ont poussé dans la nature. Assignations restreintes aux pays dont les populations empruntent la voie de migration occidentale.

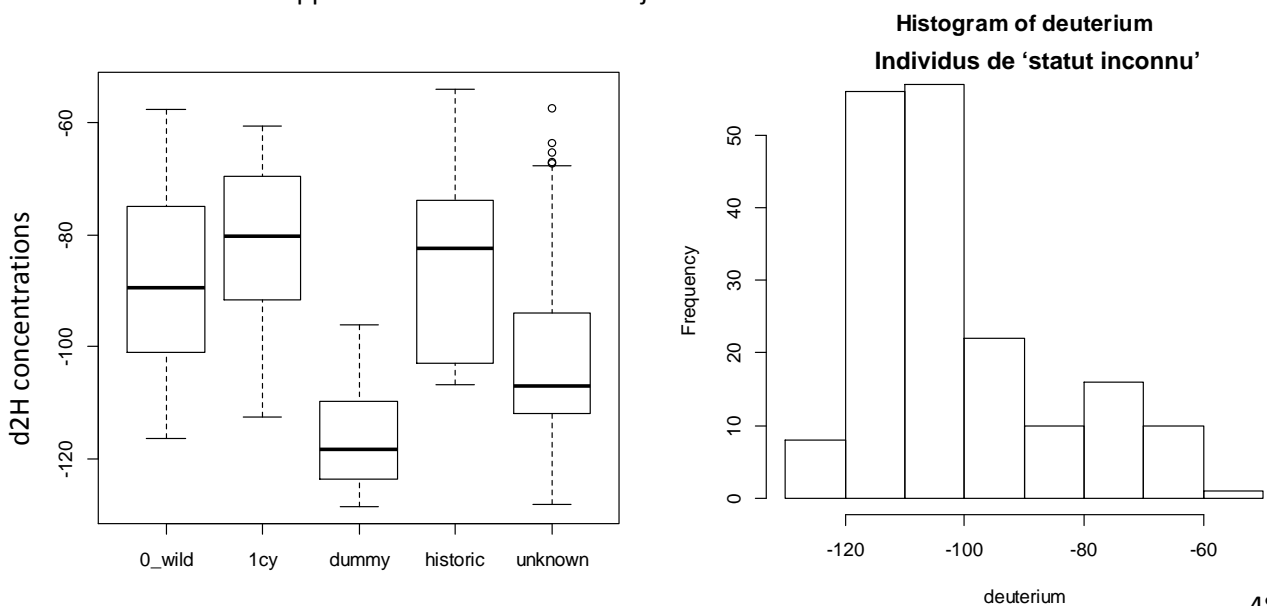


Explications des différences avec les précédentes cartes d'assignations d'origine

En septembre 2015, la police de chasse a saisi de nombreux ortolans, avec des appelants évidents qui ont été captifs pendant un certain temps, et qui portent donc des plumes qui ont toutes poussé en captivité. Cela a été l'occasion de connaître les concentrations en deutérium de plumes d'ortolan poussées en captivité, pour savoir s'il serait pertinent d'inclure certains oiseaux saisis dans les échantillons utilisés pour identifier l'origine des migrateurs. Les plumes de ces appelants ont révélé des concentrations en deutérium très faibles. Nous avons comparé les concentrations en deutérium de quatre groupes d'oiseaux capturés en France pendant la migration d'automne : les individus sauvages capturés avec des filets par des bagueurs du CRBPO ($n = 40$), des individus saisis de première année civile ($n=34$), des appelants avérés ($n=21$; 20 oiseaux saisis avec défauts de pigmentation évidents, et un oiseau bagué et gardé plus d'un an en centre de soins, avec une valeur de d^2H de -102.72) et tous les autres individus saisis de statut indéterminé ($n = 179$). Dans le cadre d'une autre comparaison historique, nous avons également inclus ici un cinquième groupe de plumes prises sur des spécimens de collections de muséums, prélevés en août-septembre dans le sud-ouest de la France ($n = 15$) et conservés au MNHN et au Musée d'Histoire Naturelle de Bayonne – pour voir si les migrateurs historiques avaient des signatures isotopiques similaires aux migrateurs actuels.

Une analyse de variance réalisée sur les cinq groupes n'a pas trouvé de différence entre le groupe de référence (oiseaux sauvages) et les individus saisis de première année civile ($t=1.79$, $P=0.07$) ou les spécimens de collection ($t=0.69$, $P=0.49$), alors que les appelants ($t=-6.77$, $P<10^{-10}$) et les individus de statut indéterminé ($t=-5.08$, $P=7.10^{-7}$) avaient des valeurs de d^2H beaucoup plus faibles (27% de la variance totale expliquée). La Figure 8a est un boxplot de ces cinq groupes. Le groupe de 'statut inconnu' est clairement intermédiaire entre les individus sauvages et les appelants, et l'histogramme de distribution des valeurs de ce groupe (Fig. 8b) révèle que la majorité des individus ont des valeurs très faibles (donc sont des appelants d'origine captive) avec un deuxième pic d'abondance pour des oiseaux avec des valeurs plus fortes (individus saisis portant des plumes ayant poussé dans la nature, donc migrateurs sauvages capturés récemment).

Fig. 8. (a) Boxplot des valeurs de d^2H des cinq groupes d'individus capturés ou saisis en France en automne. 1cy = oiseaux de première année. **(b)** Histogramme des valeurs de d^2H des plumes de bruants ortolans du groupe considéré de 'statut inconnu', donc d'oiseaux saisis qui ne peuvent être identifiés comme appelants certains ou comme jeunes de l'année.



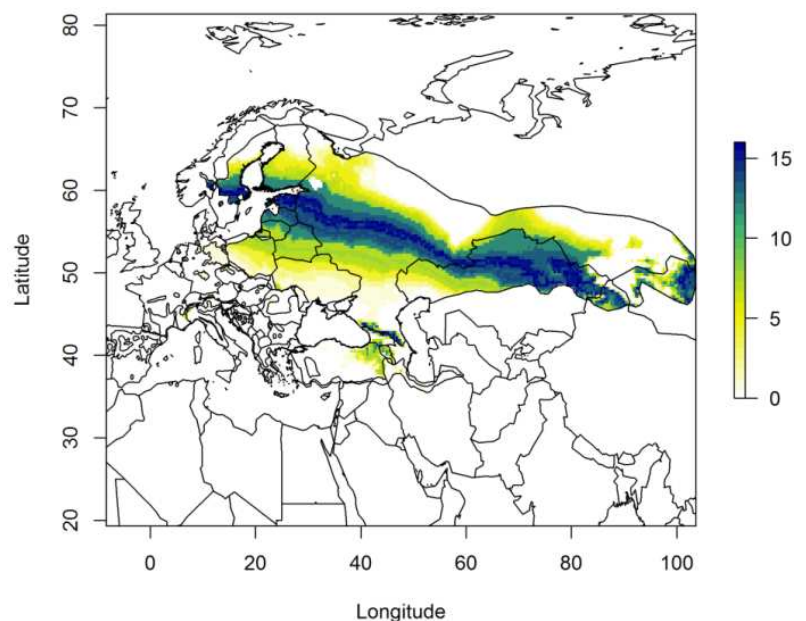
En conséquence, nous avons décidé ne pas inclure la majorité des oiseaux saisis dans les assignations d'origine basées sur les analyses isotopiques, sauf pour les individus identifiés comme étant de première année civile, donc des oiseaux nés dans l'année qui portent des plumes de queue qui ont poussé dans le nid. Ces oiseaux ont été capturés par des tendeurs lors de leur première migration d'automne, saisis par l'ONCFS, placés en centre de soins avant d'être bagués par un collaborateur du CRBPO puis relâchés dans la nature.

Les cartes présentées dans les rapports intermédiaires de cette étude, qui proposaient des assignations d'origine temporaires, sont considérées comme biaisées par des plumes d'oiseaux d'origine captive, qui représentent probablement près de 75% de l'échantillon, d'après l'histogramme de la Figure 8b.

Fig. 9. Exemples d'individus identifiés comme appelants avérés (aberrations de coloration du plumage, papillomatose étendue aux pattes...) (Photos par David Lambottin-ONCFS, bagueur CRBPO, au centre de soins Alca Torda, septembre 2015) :



Fig. 10. Carte erronée d'assignations d'origine pour des plumes d'appelants avérés (n=21), qui ont bu de l'eau du robinet et non de l'eau de pluie, de sorte que les concentrations en deutérium de leurs plumes ne peuvent être utilisées pour déterminer leur origine géographique.



Bibliographie

- BirdLife International, and NatureServe. 2011. Version 1.0. BirdLife International, Cambridge, UK and NatureServe, Arlington, USA.
- Bivand, R. S., and N. Lewin-Koh. 2015. Version 0.8-37. <http://CRAN.R-project.org/package=maptools>.
- Bowen, G. J., L. I. Wassenaar, and K. A. Hobson. 2005. Global application of stable hydrogen and oxygen isotopes to wildlife forensics. *Oecologia* 143:337-348.
- Demongin L (2016) Identification Guide to Birds in the Hand. Privately published.
- ESRI (Environmental Systems Resource Institute). 2012. Version 10.1. ESRI, Redlands, California.
- Hijmans, R. J. 2015. Version 2.3-24. <http://CRAN.R-project.org/package=raster>.
- Hobson, K. A., M. B. Wunder, S. L. Van Wilgenburg, R. G. Clark, and L. I. Wassenaar. 2009. A method for investigating population declines of migratory birds using stable isotopes: origins of harvested lesser scaup in North America. *PLoS ONE* 4:e7915. doi:7910.1371/journal.pone.0007915.
- Procházka, P., S. L. Van Wilgenburg, J. M. Neto, R. Yosef, and K. A. Hobson. 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. 2016. Version 3.3.1. The R Foundation for Statistical Computing. ISBN 3-900051-07-0, Vienna, Austria.
- Royle, J. A., and D. R. Rubenstein. 2004. The role of species abundance in determining breeding origins of migratory birds with stable isotopes. *Ecological Applications* 14:1780–1788.
- Simpson, G. L. 2015. Version 0.8-4. <http://CRAN.R-project.org/package=permute>.

ANNEXE 3 – RAPPORT GÉNÉTIQUE

[Note : le rapport génétique est présenté en anglais, seuls les objectifs, des légendes de figures et la discussion ont été traduits.]

Les objectifs de la partie génétique du programme étaient de cartographier la diversité génétique des populations nicheuses européennes, puis d'utiliser cette analyse pour assigner l'origine probable des bruants ortolans migrateurs captures sur la voie occidentale (sud-ouest de la France) et sur la voie orientale (Koweït). La confrontation de ces résultats avec ceux obtenus par les isotopes stables et les photomètres géolocalisateurs a permis de parfaire les assignations des migrateurs aux populations nicheuses étudiées.

METHODS

Data preparation

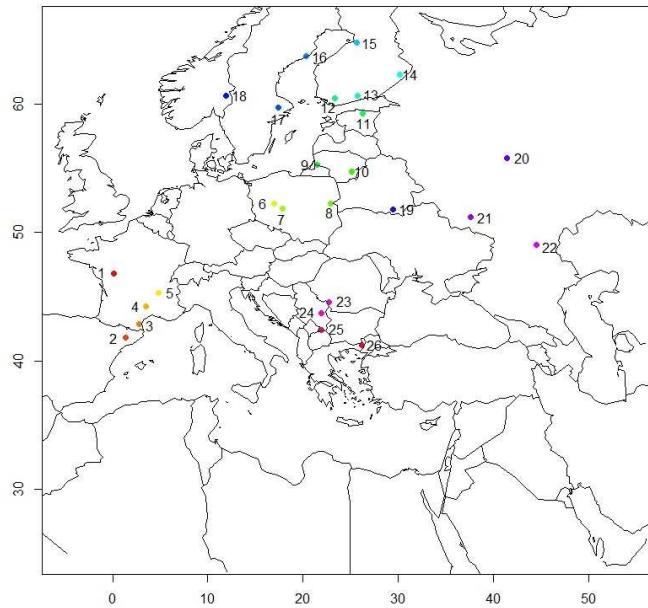
A total of 1127 samples, including duplicates, were genotyped for the 24 microsatellite loci. Genotypes were examined in Genemapper v5 ((Applied Biosystems, USA; see <https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/4476603A.pdf>) to determine peak alleles and raw allele sizes were exported to AutoBin (INRA BioGeCo, Bordeaux). This Excel macro examines the size difference between contiguous alleles and detects gaps to infer allele binning. Binning was carefully inspected and manually corrected when necessary. DNA amplification success was calculated for each sample and each locus. We re-amplified and genotyped 113 individuals to estimate genotyping error. We also used CERVUS (Marshall et al. 1998, Slate et al. 2000) to identify 30 further replicated genotypes that would correspond to recaptures in successive years. The 143 replicated genotypes thus represent a 12.69% sub-sample of the dataset.

Microsatellite characteristics and genetic diversity

Birds captured at a single breeding site were considered as sampling site. Where breeding densities were low, such as in Finland, individuals were sampled over larger geographical scales (up to 108 km) but grouped together as sampling sites. Sites with less than eight individuals were excluded from population-level analyses. The resulting breeding dataset consisted in 555 individuals sampled at 19 breeding sites for population level analyses and 575 individuals from 26 sites for individual level analyses (Figure 1; see Table 1).

GENEPOP 4.0 (Raymond & Rousset 1995) was used to test loci in departure from linkage equilibrium at each site (Markov chain parameters: 10,000 dememorisation, 100 batches, 5,000 iterations) and sequential Bonferroni correction for multiple tests was applied. We tested the correlation between the number of homozygotes and of missing data across samples and loci to determine whether any putative allelic dropout was due to low DNA quantity or poor DNA quality (correlation across samples) or to locus specific factors including null alleles. Tests were carried out in MICRODROP (Wang et al. 2012). The presence of scoring errors or null alleles was determined for each locus and each site using MICROCHECKER (van Oosterhout et al. 2004). Finally, we conducted 456 exact tests for deviation from Hardy-Weinberg equilibrium (HWE) for each locus (24) and each site (19) with 1000 Monte Carlo replicates using the PEGAS package in R (cran.r-project.org/web/packages/pegas/pegas.pdf). Bonferroni correction for multiple tests was applied to the nominal 5% p-value ($p=0.00011$).

Fig 1. Localisations des populations nicheuses de Bruant ortolan échantillonnées pour les analyses génétiques.



Further analyses were carried out without three loci that displayed high frequency of null alleles and deviated from HWE. Genetic diversity indices were obtained for each sampling site in GENETIX 4.05.2 (Belkhir et al. 1996-2004) and FSTAT (Goudet 1995). Estimated F_{ST} averaged over loci (Weir & Cockerham 1984) and the 95% confidence intervals (CIs) after 1000 bootstrap over loci were calculated in GENETIX. A randomized G-test was performed with 1000 replicates to test for genetic differentiation among sites in R.

Population structure

Two methods were used to uncover genetic population structure. First, the Bayesian clustering program STRUCTURE (Pritchard et al. 2000) allowed the assignment of the 575 breeding individuals to K populations by minimizing deviations from HWE. Since the differentiation index F_{ST} was very low, indicating weak structure and likely high admixture, we used a correlated allele frequency and admixture model. We ran the program for one to six clusters using a burn-in of 5×10^5 iterations followed by 10^6 Markov Chain Monte Carlo iterations. Each K value was run five times with and without population information (sampling sites as prior). The optimal number of clusters K was obtained from ΔK , based on the rate of change in the log probability of data in successive K values (Evanno et al., 2005) as implemented on STRUCTURE HARVESTER (Earl and VonHoldt, 2012). Secondly, a multivariate method, discriminant analysis of principal components (DAPC) (Jombart et al. 2010) was applied to the breeding dataset. DAPC is free from population genetic assumptions and inferences are made on allelic similarity. It summarizes genetic variability of individuals within groups while optimizing group discrimination. Sampling sites were used as the grouping variable. The first 115 principal components (PC) were retained in the data transformation step, corresponding to 84.2% of genetic variance, and three discriminant functions were saved for further analyses. Analyses were carried out using the ADEGENET 2.0.1 package in R 3.3.1.

Consensus on population structure was reached based on results from these two methods. Individuals were assigned to one of the clusters defined (hereafter called populations) and tested in an analysis of molecular variance (AMOVA) using the POPPR 2.2.0 package in R. Sampling sites with less than eight individuals were excluded from this analysis. Log-likelihood G tests for differentiation were performed between and within populations using 10,000 permutations.

We also tested a clustering based on these analyses and on prior knowledge of migratory corridors that we hypothesized to influence population structure. An AMOVA indicated the hierarchical repartition of genetic variance and cross-validation was performed. The full breeding dataset (575 individuals) was randomly split into a training and a validation dataset by assigning 70% of individuals from each sampling site to the training set (402 individuals) and the remaining 30% (173 individuals) to the validation set. The training set defined the genetic makeup of the clustering to be tested, and individuals from the validation set were assigned one of these populations by the program GENECLASS (Piry et al. 2004) using the Bayesian method described by Rannala and Mountain (1997). The process was repeated ten times.

Pairwise F_{ST} between the populations were calculated by the HIERFSTAT package in R to assess the level of connectivity.

Isolation by distance was tested between sampling sites with over eight individuals across the whole range, and within each defined population. Mantel tests were performed between matrices of linearized pairwise F_{ST} (ref) and log-transformed geographical distances using the HIERFSTAT package in R setting the number of repetition to 1,000.

Contemporary gene flow

The magnitude and direction of contemporary of gene flow occurring between the consensus populations were estimated using the program BAYESASS 3.0.1 (Wilson & Rannala 2003). The simulation was run with 2×10^7 iterations, with the first 10^6 iterations discarded as burn-in. Samples were collected every 1000 iterations. Allelic frequencies coefficient was set at 1, inbreeding coefficient at 0.9, and migration rate at 0.15. These mixing parameters ensured the acceptance rates were between 0.2 and 0.6. The trace file was examined in TRACER 1.5 to ensure mixing and convergence of the chains (Rambaut & Drummond 2009).

Genetic assignment of migratory individuals

The 396 individuals captured during migration in south west France, Kuwait and Israel were assigned to one of the clusters defined previously by the program GENECLASS using the Bayesian method (Rannala & Mountain 1997). Samples from France were obtained from wild migratory birds, from long-term captive birds used by traditional hunters to attract migratory individuals (decoy birds), putative wild migratory birds captured by hunters and seized or released by local authorities, and individuals of unknown status. Decoy birds might be selected by hunters for their success at attracting migratory individuals (e.g. selected for their dialect (Osiejuk et al. 2003)) and could thus originate from the largest population rather than reflect the diverse origins of migratory birds passing through SW France. Similarly, birds captured by hunters could be those attracted to the decoys and thus from the same breeding population. We therefore performed Chi-square tests to compare the distributions of origin population assignment for the different migratory categories, and pooled categories whenever the tests were not significant.

We also performed genetic assignment on individuals captured in south west France and grouped based on their status, as : (1) wild migrants (captured in the wild with mist-nets and ringed by CRBPO ringers), (2) 1st calendar year individuals seized by the hunting police (hatched and grown the same year in the wild); (3) dummies (adults obviously kept in captivity during their last moult because of

aberrant colours, e.g. blackish plumage, or one or more totally white remiges); (4) status unknown (adult seized birds which could be dummies or wild migrants; according to their isotopic signature, 75% of them could be captive decoys). Chi-square tests were used to compare the distributions of origin population assignment, especially for comparing individuals coming the wild for sure (wild + 1st calendar year; n=73), coming from captivity for sure (dummies, n=21), and of unknown status (n=172). These are the same birds grouped in the isotopic analyses.

RESULTS

Data preparation

813 samples out of 1,127 amplified at all loci, giving a 72.14% success rate after only one PCR. Most samples that failed to amplify did so for only one locus (190 samples), and only 3.02% of samples failed to amplify at ten or more loci. Thirteen samples were removed from the dataset because of amplification failure for over eleven loci. No locus showed excessive amplification failure rate (mean \pm SD = $3.25 \pm 1.71\%$, range: 1.69-9.49%).

Ninety-one replicates had identical genotypes, corresponding to a 63.64% correct typing rate. Of the 53 samples that displayed typing errors, 80.95% were mistyped at only one locus, mostly as homozygote rather than heterozygote due to weak amplification of the second allele, and no individual was mistyped at more than four loci (occurred in only one sample). No locus showed excessive typing error (mean \pm SD = $2.04 \pm 1.65\%$, range: 0-6.38%).

The final dataset consisted of 971 unique individuals typed for a minimum of 14 loci, including 575 breeding birds and 396 birds captured during migration in south-west France (266 individuals) and in the putative eastern corridor (10 individuals in Israel, 120 in Kuwait).

Microsatellite characteristics and genetic diversity

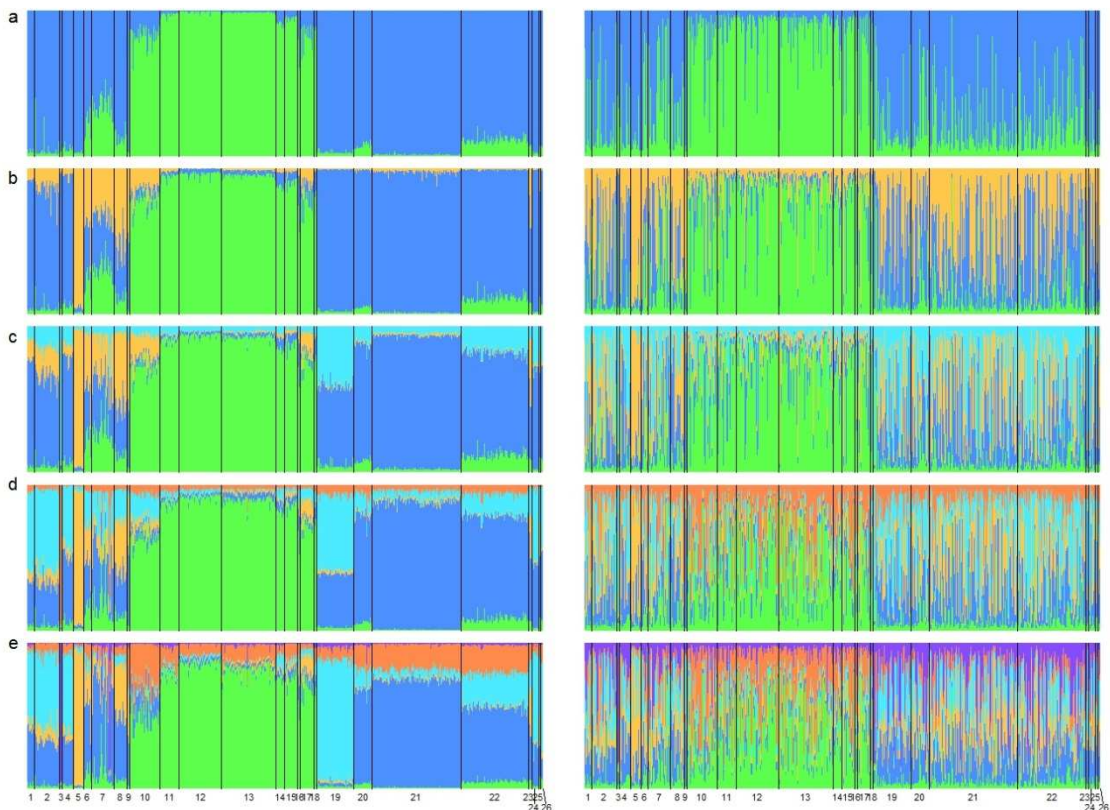
Only ten tests for linkage disequilibrium out of 5,244 (24 loci, 19 sites) were significant. No significant correlation between the number of homozygotes and of missing data was found at the sample level ($r=-0.137$, $p=0.998$), indicating that any allelic dropout was not likely due to DNA quality or quantity. In contrast, significant correlation was detected at the locus level ($r=0.446$, $p=0.021$), indicating that allelic dropout could be due to null alleles. Four microsatellites displayed moderate to high null allele frequencies (>0.2) in over four sites, and in particular Embhort12 had high frequencies of null alleles in most sites. Fifty-three tests for deviation from HWE were significant after Bonferroni correction and due to deficiency in heterozygosity. Three loci were out of HWE in nearly 50% of populations, likely due to the presence of null alleles and were thus removed from further analyses (Embhort05, Embhort08 and Embhort12) (see Table 2).

Mean allelic richness was high and similar for all sites (mean \pm SD = 6.28 ± 0.24). Observed heterozygosity was moderate and consistent across all sites (mean \pm SD = 0.730 ± 0.022), and was significantly lower than expected heterozygosity (mean \pm SD = 0.803 ± 0.025 , $p<0.01$). Inbreeding indices F_{IS} were low to moderate for all sites (mean \pm SD = 0.101 ± 0.048) and significantly different from zero after 1,000 bootstraps for 14 out of 19 populations. Estimated F_{ST} over loci was low at 0.011 but significant (95% CI = 0.010 - 0.013) and the G-test was significant ($p<0.001$), indicating that breeding sites were not part of a panmictic population.

Population structure

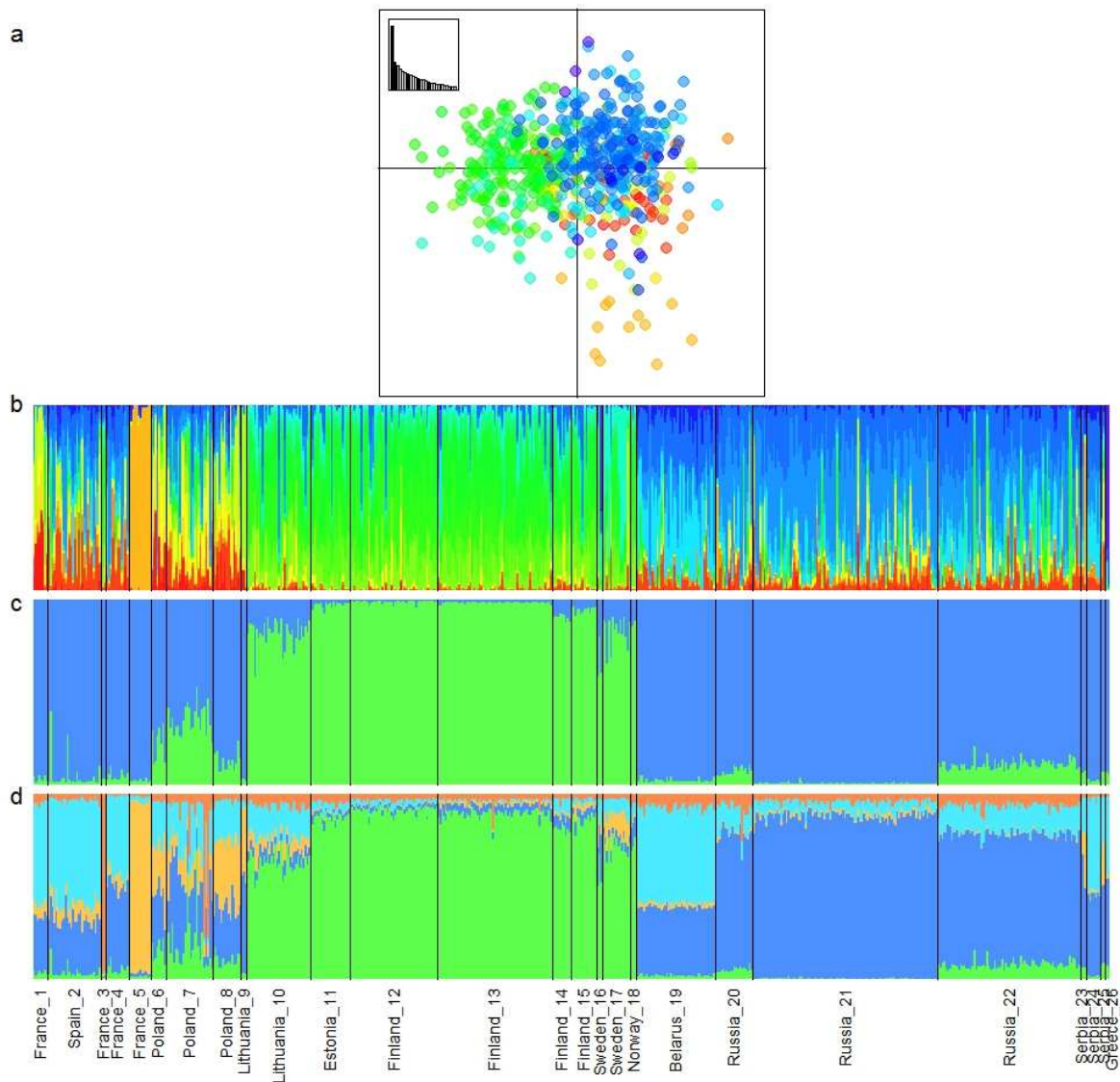
Bayesian modelling. Genetic structure was consistent with sampling geography. The prior and non-prior Bayesian models indicated similar patterns although the non-prior model displayed large levels of admixture that muddled the pattern (Figure 2). At $K = 2$ (two clusters), breeding sites from northern Europe (Scandinavia, Estonia and western Lithuania: sites 10 to 18) formed one cluster, while western, central, eastern and southern Europe formed a second one. At $K = 3$ (three clusters), the north-south clustering remains but the Drôme site from France (site 5) stood out as an independent cluster. At $K = 4$, the French samples from Corbières (site 3) distinguished themselves from the other clusters – but samples from this site are chicks from a single nest. At $K = 5$ and 6, the Belarus breeding site separated from the eastern cluster while the western and central sites displayed large admixtures. The standardised second-order rate of change ΔK indicated that the most likely number of clusters describing the data were two for both prior and non-prior models. As this method only distinguished higher structuring level, each cluster was then run separately with the same settings. No obvious geographical substructure was supported for northern Europe at the exception of larger admixture in Lithuania, possibly indicating a contact zone (the eastern Lithuania site was assigned to the southern cluster). In contrast, the optimal number of clusters for the southern group was four (prior model), consisting of the Drôme and Corbières sites, the Russian sites, and an admixed group gathering western, central and southern Europe as well as Belarus (Figures 2 and 3).

Fig.2 Bayesian posterior probability of membership to one of K populations obtained by STRUCTURE, using breeding sites as prior for the left column and no prior on the right column. Each vertical line represents an individual. Solid lines separate sites the individuals were sampled from. The sites are ordered according to their geographical location. a) $K = 2$, b) $K = 3$, c) $K = 4$, d) $K = 5$, e) $K = 6$.



Multivariate analysis. The discriminant analysis on sampling sites indicated a similar pattern of clustering. Most of the discrimination occurred on the first axis and distinguished northern Europe from western, central, eastern and southern Europe. The second axis isolated the Drôme samples from the southern cluster. Within these clusters, admixture seems high, and individuals cannot be reliably assigned to the breeding site they were captured from (41.57% of correct assignment after leave-one-out cross-validation) (Figure 3).

Fig. 3. Individual-based analyses on microsatellite data using multivariate (a and b) and Bayesian (c and d) assignment methods. (a) Scatterplot of individual principal components on the first two axes. Each site is colour coded as Figure 1. (b) Posterior probability of membership to one of the sites after discriminant analysis and leave-one out cross-validation. Each vertical line represents an individual. Solid lines separate sites the individuals were sampled from. The sites are ordered according to their geographical location and colour coded as in (a). (c) Bayesian posterior probability of membership to one of two populations obtained by STRUCTURE. Individuals and roots are displayed in the same order as in (b). (d) Bayesian posterior probability of membership to one of five populations obtained by STRUCTURE.



AMOVA and genetic differentiation among clusters. Based on these results, we considered three clusters (hereafter population): northern population (Scandinavia, Finland, west Lithuania and Estonia: sites 10 to 18), southern population (western, central, eastern and southern Europe: sites 1 to 4, 6 to 9 and 19 to 26) and the Drôme population (site 5). AMOVA indicated that most genetic variation occurred within sampling sites (97.57%, $\Phi_{ST} = 0.024$, $p < 0.001$), but still marginally supported the clustering, with larger genetic variation between populations than between sites within populations (1.39% $\Phi_{CT} = 0.014$, $p < 0.001$ vs 1.04% $\Phi_{SC} = 0.011$, $p < 0.001$) (Table 3).

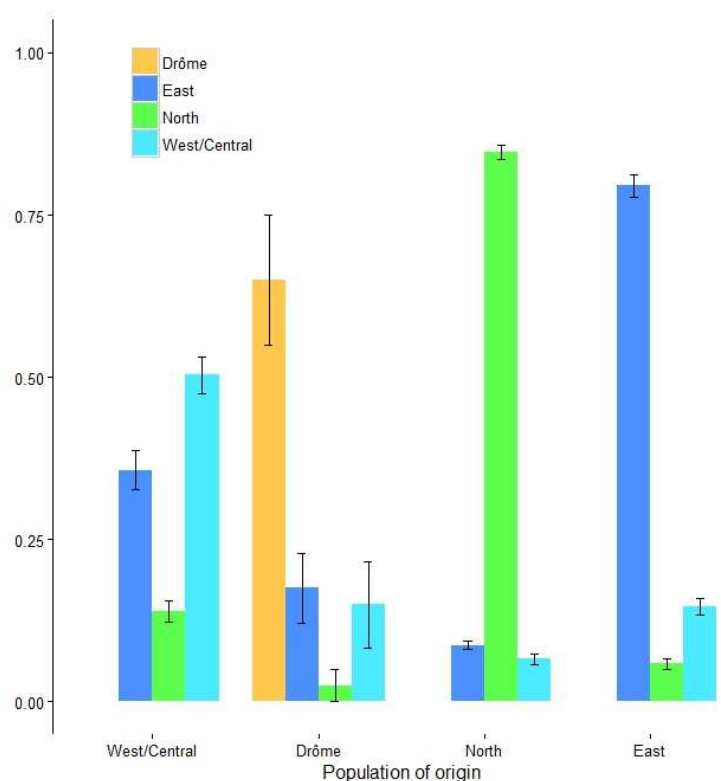
Our knowledge of western and eastern flyways led us to suspect some weak sub-structuring within the southern population, which was confirmed by the STRUCTURE and DAPC analyses. Hence we also considered four populations: the northern population, a western/central one (France, Spain, Poland and east Lithuania), the Drôme population, and an eastern one (Russia, Belarus, Serbia, and Greece). The AMOVA also marginally supported this clustering with larger genetic variation between populations than between sites within populations (1.23% $\Phi_{CT} = 0.012$, $p < 0.001$ vs 0.93% $\Phi_{SC} = 0.009$, $p < 0.001$) (Table 3).

In contrast, the putative flyways (western Atlantic: France, Spain, Norway, Sweden; western Mediterranean: Poland, Lithuania, Estonia, Finland; eastern: Russia, Belarus, Serbia, Greece) were not supported as contributing to genetic structuring (larger genetic variation between sites within flyways than between flyways (0.74% $\Phi_{CT} = 0.007$, $p < 0.001$ vs 1.28% $\Phi_{SC} = 0.013$, $p < 0.001$) (Table 3).

Pairwise F_{ST} demonstrated weak differentiation among populations with F_{ST} no higher than 0.011 and especially between the west/central population and the eastern one, while the Drôme and the northern populations seemed marginally more differentiated (Table 4 and 5).

Cross-validation. We performed a cross-validation on the four populations that supported the strength of the northern and the eastern clusters with an average of 84.68% and 79.48% of individuals correctly assigned (Figure 4). Correct assignment was also high for the Drôme population (65.00%) with mis-assigned samples mostly allocated to the eastern and the western/central populations. Moderate correct assignment to the west/central population (50.33%) with a large contribution of the eastern population (35.67%) suggests low differentiation between these populations.

Fig 4. Validation croisée pour les 4 populations. 30% des individus sont assignés aux populations définies par 70% des données.



Isolation by distance. No isolation by distance was detected on the full dataset and within the southern population. When splitting the southern cluster into west/central and eastern populations, no correlation between genetic and geographic distances was found within the west/central cluster. In contrast, marginally significant isolation by distance was detected in the eastern and northern populations ($p = 0.046$ and $p = 0.045$ respectively).

Contemporary gene flow

Recent migration (in terms of immigration and emigration between breeding populations) rates were estimated as the mean proportion of individuals moving between the four defined populations per generation (Table 6). The disequilibrium-based program inferred a nearly complete lack of contemporary gene flow towards the eastern population and towards the northern population. Emigration rates from the northern population were very low (mean 1.97%), indicating that this population was isolated from the remaining Europe. Similarly, emigration rates from west/central and Drôme were close to zero. In contrast, emigration rates from the eastern population were high (mean 19.50%), especially towards west/central and Drôme populations. The eastern population would therefore act as a source population for Western Europe while northern Europe now appears genetically disconnected from the rest of Europe.

Genetic assignment of migratory individuals

Assignment of migrants (captured and sampled along the western flyway (France) and eastern flyway (Kuwait and Israel)) to their breeding population was performed on the four defined populations to reflect both the higher level, and thus stronger, genetic structure and our knowledge of migratory flyways. We found no significant difference in the distribution of assigned individuals to breeding populations among the different categories of French migratory birds ($X^2 = 16.601$, $p = 0.165$). Birds captured in France were thus all pooled to represent the western flyway. Significant differences in assignment were reported between individuals captured in the eastern and western flyway ($X^2 = 30.565$, $p < 0.001$). Hence, 67.69% of migratory birds using the eastern flyway were assigned to the eastern population, and 23.84% to the west/central one (Figure 5). In contrast, assignment of individuals from the western flyway was more equally distributed among populations, with 39.10% assigned to west/central population, 38.72% to the eastern one and 21.80% to the northern one. Only one individual captured in the western flyway seemed to breed in Drôme.

Stable isotopes and geolocators data indicated that individuals caught in south west France did not originate from the eastern population. We therefore re-ran the assignment for the western flyway and removed the eastern population as potential breeding origin. Individuals originated mostly from the west/central population (66.54%), and from the north (33.08%) (Figure 6).

Figure 5. Assignment génétique aux groupes génétiques des populations nicheuses pour les individus captures sur les voies de migration orientale et occidentale.

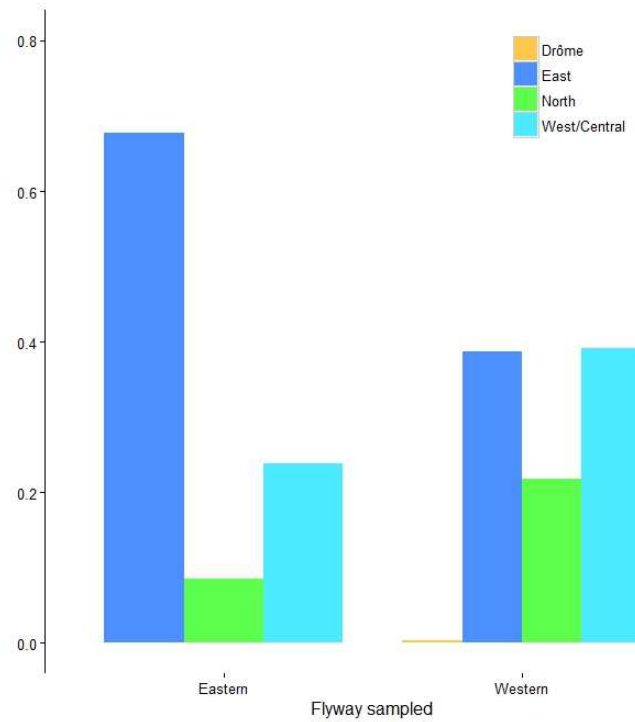
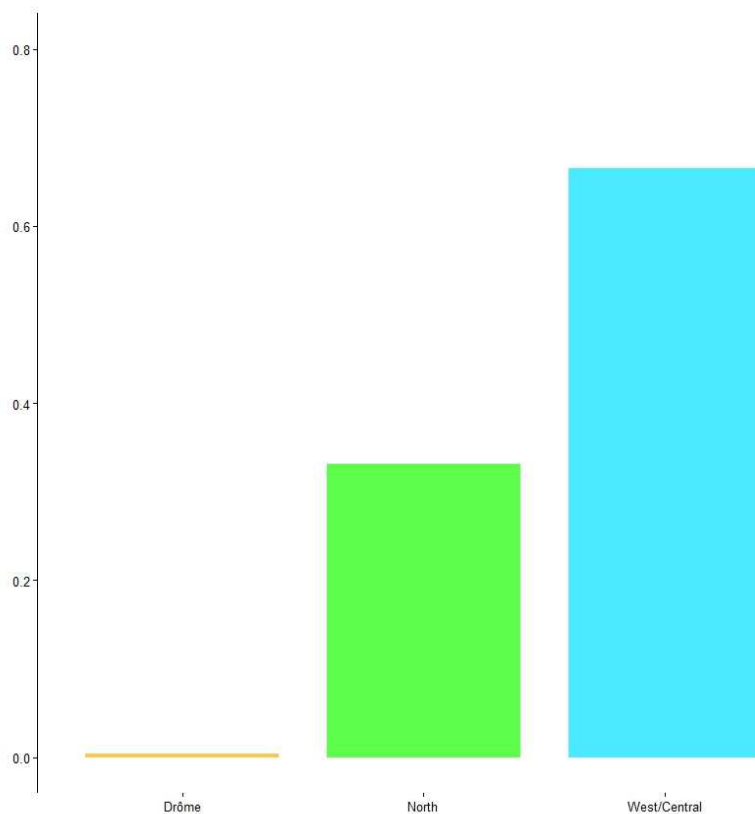


Fig 6. Assignment génétique des individus captures sur la voie de migration occidentale aux groupes génétiques des populations nicheuses sans le groupe oriental. Les isotopes stables et les photomètres excluant une origine orientale pour les migrants occidentaux.



Genetic assignment of seized vs wild ortolans

When analyzing the assignment distributions of the four groups of autumn migrants of the western flyway (wild, 1st calendar year, dummies, unknown status) to the genetic populations using the western flyway, no significant differences were found in the assignment distribution of the different isotopic groups ($X^2 = 2.827$ $p = 0.830$; Figure 7), and especially between the 1A and the wild groups ($X^2 = 1.382$ $p = 0.240$; Figure 7) which were thus pooled. Individuals captured along the western flyway thus originated mostly from the west/central population (62-67%), and 33-38% coming from the northern population (Figure 8). Only one individual of unknown origin had a Drôme genotype.

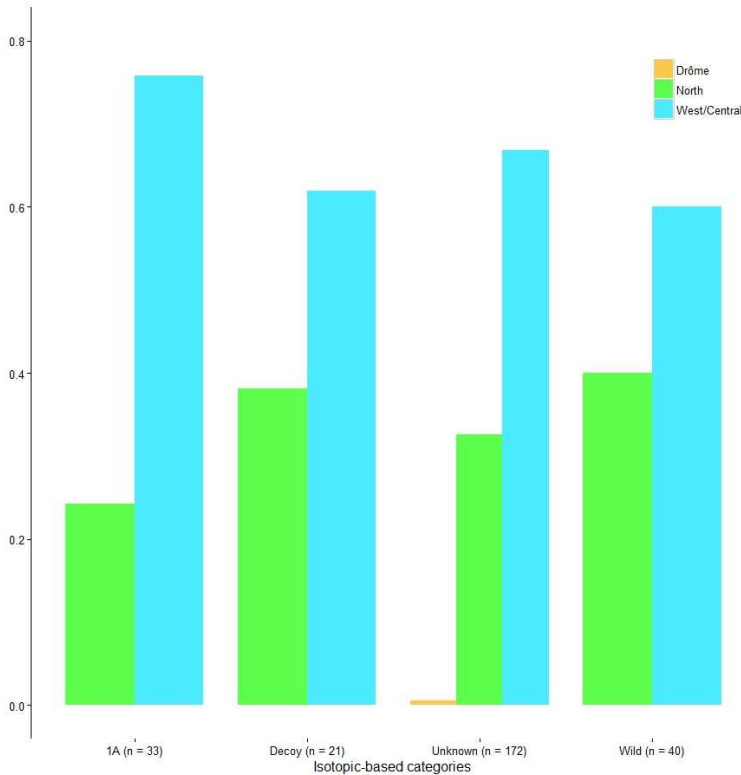


Fig 7. Assignment génétique des individus capturés en migration sur la voie occidentale aux groupes génétiques des populations nicheuses empruntant la voie de migration occidentale. 1cy = individus de première année civile.

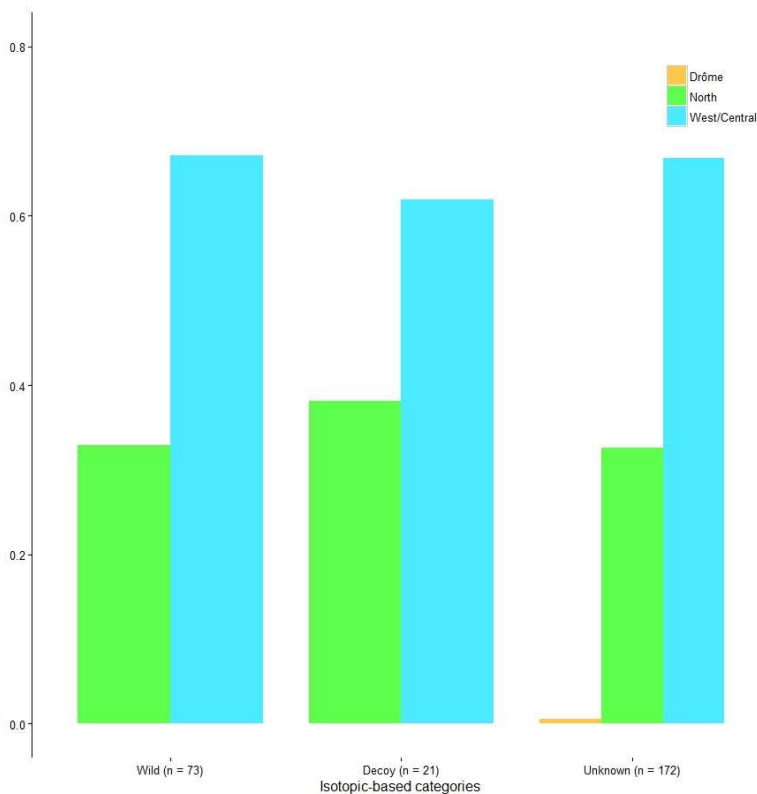


Fig 8. Assignment génétique des individus capturés en migration sur la voie occidentale aux groupes génétiques des populations nicheuses empruntant la voie de migration occidentale. Même figure que la Figure 7 mais en regroupant les individus sauvages et ceux saisis de première année civile.

DISCUSSION

Le principal message : il existe une structuration génétique, identifiant une population nordique récemment isolée, et une dynamique est-ouest de type source-puits. Très peu de migrants occidentaux pourraient venir d'Europe orientale, si tant est qu'il y en ait.

- Il existe une faible structuration des populations nicheuses à travers l'Europe, consistant en 4 populations : nordique, orientale, centrale/occidentale, et une population isolée dans la Drôme en France.
- Peu de flux de gènes contemporains entre la population nordique et le reste de l'Europe. Le nord de l'Europe semble avoir été déconnecté génétiquement récemment.
- Des flux de gènes contemporains sont détectés dans le reste de l'Europe, la population orientale agissant comme une source génétique.
- Aucune idée des raisons faisant ressortir la population drômoise. De multiples vérifications de données indiquent que ce n'est pas un artefact.
- Pas de différenciation génétique globale entre les populations empruntant les routes atlantique et méditerranéenne de la voie occidentale, mais les voies orientale et occidentale correspondent à une certaine structuration génétique.
- Les migrants de la voie orientale sont largement assignés à des populations nicheuses orientales.
- Les migrants de la voie occidentale sont assignés aux différents groupes génétiques de manière plus équilibrée. Toutefois, une large proportion de génotypes orientaux chez les populations nicheuses d'Europe centrale et occidentale indique que l'origine orientale des migrants est surestimée et que l'origine occidentale est sous-estimée.
- En limitant les assignations génétiques aux populations empruntant réellement la voie occidentale de migration, nous montrons que 2/3 des migrants sont originaires des populations nicheuses d'Europe centrale/occidentale, et 1/3 des populations nordiques. Ces proportions sont cohérentes avec les tailles de populations nicheuses dans ces deux zones, surtout si le succès reproducteur est plus élevé dans le centre et l'ouest de l'Europe, et si la population polonaise est moins nombreuse que précédemment estimé (voir mise à jour par Jakub Kosicki, proposant 150.000 couples nicheurs en Pologne, d'après des extrapolations d'une densité moyenne de 0,49 couples/km²), ou si les nicheurs polonais n'empruntent pas tous la voie de migration occidentale (voir les résultats des photomètres).

Bibliographie

- Belkhir K, Borsa P, Chikhi L, Raufaste N, Bonhomme F (1996-2004) GENETIX 4.05, logiciel sous Windows TM pour la génétique des populations. Laboratoire Génome, Populations, Interactions, CNRS UMR 5000, Université de Montpellier II, Montpellier (France).
- Evanno G, Regnaut S, Goudet J (2005) Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology* 14:2611–2620
- Earl DA, vonHoldt BM (2012) STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. *Conservation Genetics Resources* 4: 359.

- Jombart T, Devillard S, Balloux F (2010). Discriminant analysis of principal components: a new method for the analysis of genetically structured populations. *BMC Genetics* 11 :94.
- Marshall, TC, Slate, J, Kruuk, LEB & Pemberton, JM (1998) Statistical confidence for likelihood-based paternity inference in natural populations. *Molecular Ecology* 7: 639-655.
- Osiejuk TS, Ratyńska K, Cygan JP, Dale S (2003) Song structure and repertoire variation in Ortolan Bunting (*Emberiza hortulana* L.) from isolated Norwegian population. *Ann Zool Fenn* 40:3–16
- Piry S, Alapetite A, Cornuet J-M, Paetkau D, Baudouin L, Estoup A (2004) GeneClass2: A Software for Genetic Assignment and First-Generation Migrant Detection. *Journal of Heredity* 95: 536-539.
- Pritchard J, Stephens M, Donnelly P (2000) Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155: 945-959.
- Rambaut A, Drummond AJ (2009) Tracer version 1.5 [computer program] <http://beast.bio.ed.ac.uk>
- Rannala B, Mountain JL (1997) Detecting immigration by using multilocus genotypes. *PNAS* 94: 9197-9201.
- Raymond M, Rousset F (1995) GENEPOP Version 1.2: population genetics software for exact tests and ecumenicism. *J. Hered.* 86: 248-249. For GENEPOP 4.0, see: http://download.bion.com.cn/upload/month_0905/20090525_2a3327349f8157c2e4ccb665SZyXC1lt.attach.pdf
- Rousset F (1997) Genetic differentiation and estimation of gene flow from F-statistics under isolation by distance. *Genetics* 145: 1219-1228.
- Slate J, Marshall TC & Pemberton JM (2000) A retrospective assessment of the accuracy of the paternity inference program CERVUS. *Molecular Ecology* 9: 801-808.
- Van Oosterhout C, Hutchinson WF, Wills DPM, Shipley P (2004). Micro-checker: software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. *Molecular Ecology Resources* 4: 535-538.
- Wang C, Schroeder K, Rosenberg N (2012) A maximum-likelihood method to correct for allelic dropout in microsatellite data with no replicate genotypes. *Genetics* 192: 651-669.
- Weir BS, Cockerham CC (1984) Estimating F-Statistics for the Analysis of Population Structure. *Evolution* 38: 1358-1370.
- Wilson GA, Rannala B (2003) Bayesian inference of recent migration rates using multilocus genotypes. *Genetics* 163: 1177-1191.

Table 1. ^a Amplification failure rate calculated from 1127 genotypes. ^b Genotyping error rate calculated from 143 replicated genotypes. Percentage of populations significantly out of Hardy-Weinberg equilibrium for each locus. Adjusted nominal level (5%) is 0.00011 (19 populations, 24 loci). Percentage of populations with over 20% null alleles for each locus. In bold, loci removed from further analyses.

Locus	Amplification failure ^a	Genotyping error ^b	Deviation from Hardy-Weinberg	>20% null alleles
Embhort01	3.90%	6.38%	26%	0%
Embhort02	2.48%	0.71%	0%	0%
Embhort03	2.57%	0.71%	0%	5%
Embhort04	2.66%	2.13%	0%	0%
Embhort05	6.39%	4.26%	47%	21%
Embhort06	3.28%	4.26%	0%	0%
Embhort07	4.17%	0.71%	11%	5%
Embhort08	9.49%	0.71%	47%	47%
Embhort09	3.11%	1.42%	5%	0%
Embhort10	5.41%	1.42%	32%	16%
Embhort11	1.86%	4.96%	0%	0%
Embhort12	2.84%	3.55%	47%	68%
Embhort13	2.48%	2.13%	16%	21%
Embhort14	2.48%	2.84%	0%	0%
Embhort15	2.48%	1.42%	0%	0%
Embhort16	3.02%	0.71%	11%	0%
Embhort17	1.95%	0.71%	5%	0%
Embhort18	1.95%	0.71%	5%	0%
Embhort19	2.75%	2.13%	5%	0%
Embhort20	2.75%	0.00%	0%	0%
Embhort21	1.69%	1.42%	0%	0%
Embhort22	2.66%	0.71%	11%	5%
Embhort23	2.66%	1.42%	11%	11%
Embhort24	2.93%	3.55%	0%	0%

Table 2. Sample size (N), mean number of alleles (A), mean allelic richness (AR), observed (H_O) and expected (H_E) heterozygosity, and fixation indexes (F_{ST} and F_{IS}) (Weir and Cockerham 1984) over 21 microsatellite loci. * indicates significantly different from 0 at p<0.05 after 1000 bootstraps. Indices were not evaluated for breeding sites which sampling size was under eight individuals.

Breeding site	N	A	A _R	H _O	H _E	F _{IS}	F _{ST}
Drôme							
France 5	12	7.2	5.6	0.733	0.756	0.073	-
West/Central							
France 1	8	7.0	6.2	0.769	0.778	0.080	-
Spain 2	28	11.6	6.5	0.708	0.830	0.165*	-
France 3	3	-	-	-	-	-	-
France 4	12	9.0	6.6	0.740	0.812	0.133*	-
Poland 6	8	7.0	6.2	0.685	0.781	0.190	-
Poland 7	25	11.2	6.4	0.727	0.812	0.126*	-
Poland 8	15	9.4	6.4	0.713	0.807	0.151*	-
Lithuania 9	3	-	-	-	-	-	-
All West/Central sites	102	9.2	6.4	0.724	0.803	0.144*	0.006*
North							
Lithuania 10	34	11.2	6.2	0.731	0.816	0.120*	-
Estonia 11	21	10.0	6.1	0.700	0.790	0.138*	-
Finland 12	47	12.4	6.2	0.758	0.818	0.085	-
Finland 13	61	12.7	6.2	0.713	0.814	0.133*	-
Finland 14	10	7.4	6.0	0.760	0.764	0.061	-
Finland 15	14	8.9	6.2	0.722	0.793	0.128*	-
Sweden 16	2	-	-	-	-	-	-
Sweden 17	15	9.0	6.1	0.719	0.797	0.132*	-
Norway 18	3	-	-	-	-	-	-
All North sites	207	10.2	6.2	0.729	0.799	0.116*	0.007*
East							
Belarus 19	42	12.9	6.5	0.753	0.833	0.108*	-
Russia 20	20	10.5	6.3	0.726	0.809	0.127*	-
Russia 21	99	16.0	6.6	0.747	0.844	0.120*	-
Russia 22	76	15.3	6.5	0.742	0.834	0.118*	-
Serbia 23	3	-	-	-	-	-	-
Serbia 24	2	-	-	-	-	-	-
Serbia 25	8	7.4	6.4	0.732	0.771	0.117	-
Serbia 26	3	-	-	-	-	-	-
All East sites	253	12.4	6.5	0.740	0.818	0.118*	0.005*
All sites	575	10.3	6.3	0.730	0.803	0.121*	0.011*

Table 3. Analysis of Molecular Variance for three clustering: three populations (consensus from STRUCTURE and DAPC analyses), four populations (consensus from STRUCTURE and DAPC analysis and prior knowledge of migratory corridors), three populations (test for three putative migratory corridors).

Source of variation	Sum of squares	Variance components	Percentage variation
Three populations (Drôme, North, South)			
Between populations	102.903	0.225	1.387
Between sites within populations	328.752	0.169	1.042
Within sites	8490.125	15.840	97.571
Four populations (West/Central, Drôme, North, East)			
Between populations	132.334	0.198	1.225
Between sites within populations	299.321	0.150	0.929
Within sites	8490.125	15.840	97.847
Three flyways (Western Atlantic, Western Mediterranean, Eastern)			
Between flyways	88.387	0.120	0.744
Between sites within flyways	389.157	0.207	1.283
Within sites	8427.543	15.840	97.973

Table 4. Pairwise F_{ST} among the three populations

	South	Drôme
Drôme	0.004	-
North	0.005	0.008

Table 5. Pairwise F_{ST} among the four populations

	West/Central	Drôme	North
Drôme	0.011	-	-
North	0.006	0.007	-
East	0.003	0.005	0.006

Table 6. Contemporary gene flow among populations as percentage of genetic migrants per generation ($\pm 95\%$ confidence interval)

	<i>From</i>			
	West/Central	Drôme	North	East
<i>To</i>				
West/Central	66.98 (± 0.61)	0.31 (± 0.61)	2.69 (± 2.55)	30.02 (± 2.67)
Drôme	2.11 (± 3.84)	68.75 (± 3.86)	2.62 (± 4.63)	26.52 (± 6.61)
North	0.16 (± 0.31)	0.16 (± 0.31)	97.72 (± 2.06)	1.97 (± 2.02)
East	0.13 (± 0.25)	0.13 (± 0.25)	0.56 (± 0.86)	99.18 (± 0.92)

Annexe 4 – Cahier des charges officiel de l'étude



Programme de recherches sur la migration du Bruant ortolan



**Cahier des charges pour une étude sur la stratégie de migration du Bruant ortolan en
France et en Europe**

V3. Version mise à jour le 21 février 2013

En partenariat avec l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage



Rédigé par Frédéric Jiguet (MNHN), relu par Jean-Marie Boutin (ONCFS)

A la demande de la Ministre de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) a participé à une réunion en préfecture des Landes le 5 octobre 2012 pour un échange en vue de l'élaboration par le MNHN d'un cahier des charges portant sur une étude de la migration du Bruant ortolan. Cette espèce fait l'objet d'un programme de recherches lancé depuis plus d'un an qui implique des chercheurs de plusieurs pays européens (Comolet-Tirmand et al. 2012). Le présent document indique les développements prévus de ce programme pour couvrir de manière exhaustive les thématiques scientifiques importantes dans le contexte de la migration de l'espèce en France et en Europe. Il intègre les éléments proposés par la Fédération Départementale des Chasseurs des Landes, concernant notamment l'origine des migrateurs visitant les Landes, les voies de migration des populations russes, les sites majeurs de halte migratoire et la mise en évidence des principales zones d'hivernage. Ces questions seront abordées en utilisant des techniques modernes (électronique embarquée, analyses chimiques, génétique) en partenariat avec les meilleurs spécialistes de ces outils en France (génétique), en Europe (photomètres) ou au monde (isotopes). Ce réseau d'experts permettra au groupe de scientifiques internationaux participant (Norvège, Suède, Finlande, Russie, Pologne, Estonie, Espagne, Israël) de travailler dans les meilleures conditions pour lever les inconnues sur l'écologie de la migration de l'espèce.

Le programme de recherches développé dans ce document permettra d'étudier différents aspects de la migration du Bruant ortolan en France et en Europe :

- voies migratoires et zones d'hivernage des différentes populations nicheuses européennes ;
- origine et flux des ortolans migrant par le sud-ouest de la France ;
- sites majeurs et durée des haltes migratoires sur chaque voie migratoire, en automne comme au printemps ;
- importance des populations biélorusses et russes dans le flux passant par les Landes.

Ce programme s'articule autour de trois outils, les photomètres (GLS), les analyses d'isotopes stables et l'analyse de marqueurs génétiques, expliqués dans la suite du document.

I. Pose de GLS sur les zones de reproduction

Qu'est-ce qu'un GLS ? C'est une puce électronique dotée d'un capteur de luminosité, que l'on appelle photomètre géo-localisateur. Attaché sur le dos d'un oiseau, cet appareil enregistre en permanence l'heure et l'intensité de la lumière. Quand on recapture l'oiseau, et que l'on extrait les données stockées dans la puce, on peut connaître, pour chaque jour passé avec le GLS sur le dos, la durée du jour – et donc la latitude – et les heures de lever et de coucher du jour – et donc la longitude. La précision des coordonnées obtenues, de l'ordre de 100km, permet de localiser assez précisément l'oiseau. C'est en tout cas largement suffisant pour déterminer les voies de migration, les zones de halte migratoire et d'hivernage de chaque individu suivi.

La superposition des positions obtenues pour tous les oiseaux permet de déterminer les principales voies migratoires et la proportion des oiseaux qui y passent, les zones de concentration des oiseaux en halte migratoire, et les zones d'hivernage.

Récupérer les informations enregistrées dans le GLS nécessite de recapter l'oiseau qui l'a porté. Il faut donc que cet oiseau soit toujours vivant, qu'il soit retrouvé, et qu'il se laisse capturer. Pour maximiser la probabilité de récupération, nous équiperons uniquement des adultes (qui ont un meilleur taux de survie ; Dale & Steifetten 2010), mâles territoriaux (plus forte probabilité de revenir sur le même territoire l'année suivante), sur les sites de reproduction. Les oiseaux seront aussi équipés d'une bague colorée permettant de les repérer à distance pour mieux détecter leur retour.

Le principe de l'étude par GLS

Equiper une vingtaine d'oiseaux dans chacun des sites de capture retenu (en période de reproduction), le long d'un gradient Ouest-Est, pour savoir quelle proportion de chaque population utilise quelle voie migratoire, et déterminer une éventuelle ligne de partage de populations migrant vers l'Ouest ou vers l'Est. Capturer et baguer une dizaine à une vingtaine d'individus qui ne seront pas équipés, et qui serviront de lot témoin pour vérifier que le taux de retour des oiseaux équipés est le même que celui d'oiseaux non équipés.

A quelles questions les GLS permettront-ils de répondre ?

Quelles voies de migration sont empruntées par chaque population nicheuse ?

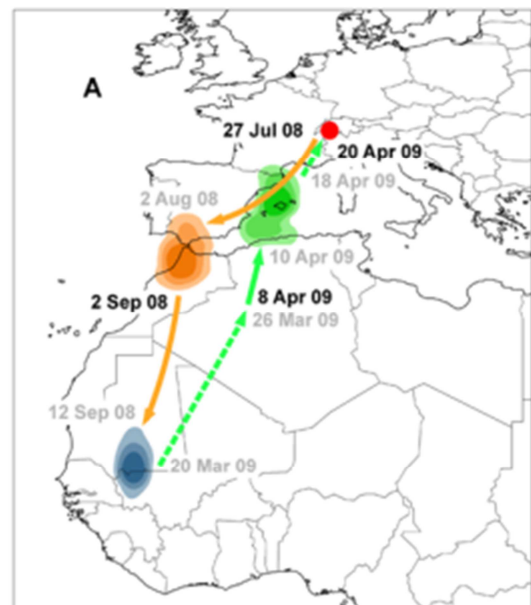
Quels sont les sites majeurs de halte migratoire le long de chaque voie ?

Quelle est la durée des haltes ?

Quels sont les sites d'hivernage ?

Sont-ils les mêmes pour les populations catalanes qui augmentent depuis plusieurs années (Brotons et al. 2008) ?

Le matériel que nous voulons utiliser a permis, dans d'autres études, de répondre à ce type de questions par exemple pour la Huppe fasciée. La Figure ci-contre extraite de (Bächler et al. 2010) montre les trajets empruntés et les zones de stationnement d'une Huppe fasciée (*Upupa epops*) baguée en Suisse le 27 juillet 2008, qui a stationné du 2 août au 2 septembre près de



Gibraltar, pour hiverner du 12 septembre 2008 au 20 mars 2009 dans le sud de la Mauritanie, avant de stationner du 26 mars au 8 avril en Algérie, puis vers les Baléares, pour un retour sur son site de nidification le 20 avril 2009. Nous aurons ce type de suivi pour de nombreux ortolans provenant de différentes zones de reproduction.

Une limite à cet outil : pendant deux à trois semaines autour des équinoxes (20-21 septembre, 20-21 mars), la durée du jour est équivalente à celle de la nuit et évolue très peu de jour en jour, et il devient alors difficile de déterminer la latitude. Par contre, la longitude sera toujours connue, donc la voie migratoire des oiseaux durant cette période (Sud-Ouest de la France ou plus à l'Est) restera connue.

Où ?

Nous souhaitons équiper une vingtaine de mâles sur chaque site de capture, et répartir les sites de capture entre différentes populations nicheuses européennes, le long d'un gradient est-ouest allant si possible jusqu'à l'Oural. Les sites déjà retenus sont :

- province d'Umea, Suède (resp. Gunnar Selstam)
- Norvège (resp. Svein Dale), site utilisé en 2012 mais qui ne le sera plus (population presque éteinte)
- Finlande (resp. Markus Piha)
- Pologne, 2 sites : Poznan et Siedlce (frontière biélorusse) (resp. Michal Skierczynski)
- Estonie : 1 site (Jaanus Elts)
- Biélorussie : site à définir avec l'OMPO qui y a des contacts
- Russie : 2 ou 3 sites à définir avec l'ONCFS et l'OMPO qui y ont des contacts
- France : causse Méjean, Lozère (resp. Jocelyn Fonderflick, CEFE-CNRS Montpellier)
- Espagne, Catalogne (resp. Lluís Brotons, Catalan Forest Technology Center)

Quand ?

La période de chant très actif des mâles est assez courte, entre mi-mai et mi-juin selon les populations. Nous interviendrons à cette période, l'année N pour poser les GLS, l'année N+1 pour les récupérer.

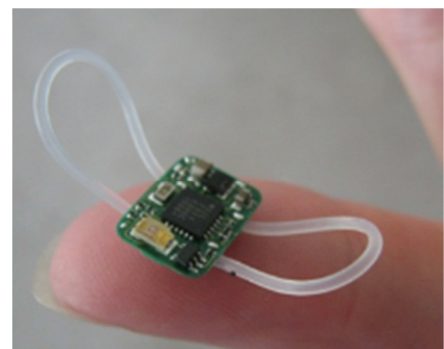
En 2012, 10 GLS ont été posés en Norvège, 19 en Suède.

En 2013, 20 GLS seront posés sur chaque site de Suède, Finlande, Pologne, Estonie, France et Espagne (pas assez d'oiseaux dans la population suivie de Norvège, qui n'accueillait plus que 20 mâles en 2012). 200 GLS seront donc nécessaires. Les contacts seront consolidés en Russie et Biélorussie pour organiser le terrain en 2014.

En 2014, il faudra retourner sur ces sites pour récupérer des GLS, et en reposer 20 par site. 200 GLS seront à nouveau posés.

En 2015, récupération des GLS posés en 2014 sur tous les sites.

Comment ?



Le matériel : mis au point par la station ornithologique de Sempach, en Suisse, les GLS que nous utilisons pèsent 0.6g ou 1g, harnais compris, ce qui représente de 2 à 5% du poids d'un Bruant ortolan. Ce matériel a déjà été utilisé sur d'autres petits oiseaux (Bächler et al. 2010, Salewski & Podula 2010). Le GLS se fixe grâce à deux boucles qui se placent autour des cuisses, le GLS étant positionné sur le dos de l'oiseau, comme un sac à dos (voir photos).

Année N : capture au filet sur le poste de chant du mâle, avec leurre acoustique. Sur chaque site 20 mâles seront bagués et équipés d'un GLS, 10 à 20 autres mâles seront seulement bagués et serviront de lot témoin pour vérifier que le taux de retour de migration en année N+1 est similaire pour les oiseaux équipés et non équipés. En plus de la bague métal Muséum, nous envisageons de poser une bague couleur portant un code simple, comme cela a été fait en Suède en 2012, pour permettre de repérer plus facilement les mâles à distance l'année N+1.

Année N+1 : recherche de mâles bagués sur les territoires occupés l'année N et au sein de la population locale. Capture des mâles équipés de GLS au filet sur leur poste de chant, avec leurre acoustique. Nous espérons un taux de récupération de 25% minimum, soit 5 GLS récupérés par an et par site, ce qui permettra sur les deux années de pose de récupérer 10 GLS par site suivi.

Photo. Un mâle de Bruant ortolan suédois portant une bague métal (muséum) et une bague colorée portant un code permettant d'identifier l'individu à distance (© Gunnar Selstam).

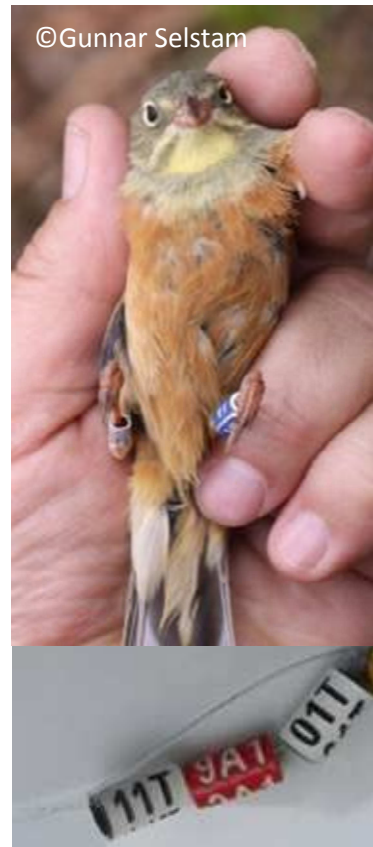


Photo. Un mâle de Bruant ortolan équipé d'un photomètre géo-localisateur, Norvège, juin 2012 (© Svein Dale)



II. Dosage d'isotopes stables dans les plumes

Les études réalisées à l'aide de photomètres seront complétées par des analyses de concentrations en isotopes stables dans les plumes des oiseaux. Hydrogène (deutérium) et oxygène, carbone et azote présentent différents isotopes dans la nature dans des concentrations variables selon le lieu, de grands gradients continentaux existent selon par exemple l'origine et la quantité des précipitations atmosphériques (pour le deutérium), le type de plantes qui assimile le dioxyde de carbone (carbone). Voir par exemple Prochazka et al. (2008) pour un exemple sur le carbone de plumes muées en Afrique utilisé pour définir une ligne de partage de voies migratoires des rousserolles effarvates européennes). Le dosage du deutérium présent dans une plume permet par exemple de déterminer une latitude à laquelle cette plume a poussé, mais reste peu informatif pour la longitude, étant donné la structuration spatiale de cet isotope dans l'environnement en Europe. Il faut donc multiplier les isotopes considérés pour obtenir des résultats intéressants notamment sur la zone russe. Des publications récentes expliquent l'intérêt d'utiliser plusieurs isotopes dans des analyses similaires réalisées en Amérique du Nord (Hobson et al. 2012) et en Europe (Popa-Lisseanu et al. 2012). Pour les zones de reproduction, nous essaierons un dosage des isotopes d'oxygène.

Figure. Concentration en deutérium dans l'environnement. Une structuration en bande latitudinale est évidente, mais cet isotope ne permet pas de séparer des plumes ayant poussé en Norvège, en Suède ou en Russie (d'après Hobson et al. 2004, figure extraite de Marquiss et al. 2012).

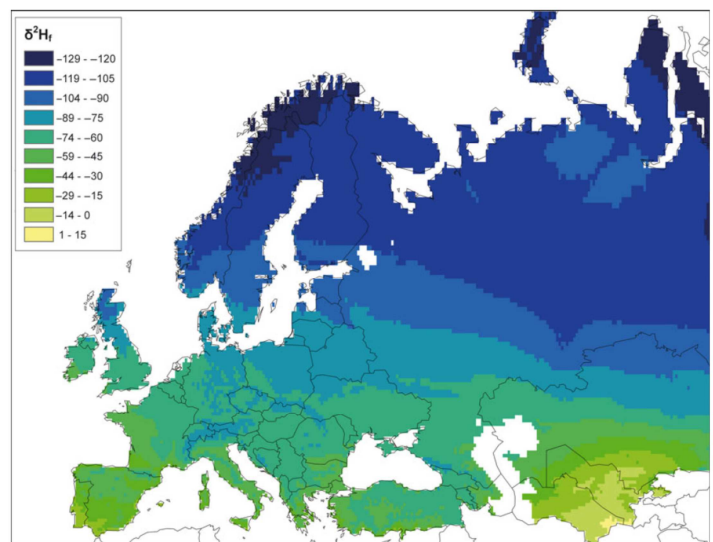
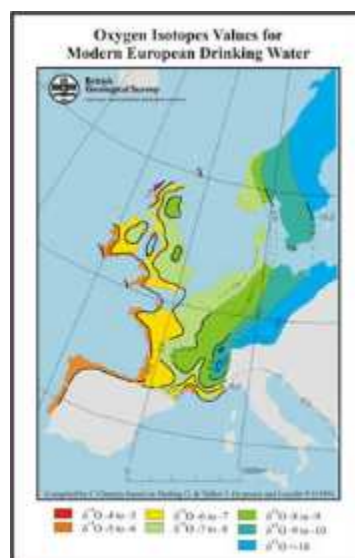


Figure. Les isotopes d'oxygène ont une structuration spatiale plutôt longitudinale, qui, croisée avec le deutérium, permet déjà de mieux localiser l'endroit où une plume a poussé.



La mue des bruants ortolan

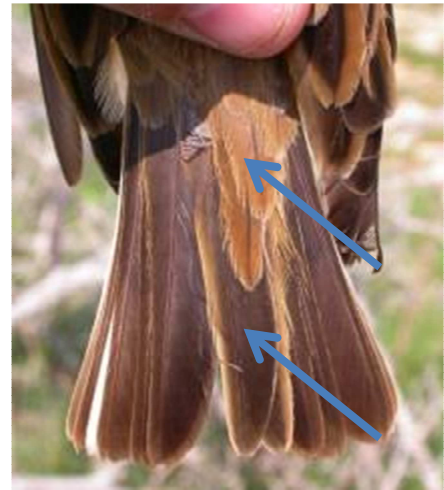
Les jeunes ortolans portent en automne des plumes de première génération, qui ont poussé sur le site où ils sont nés.

Les adultes font une mue complète (ils changent toutes leurs plumes) en fin d'été avant de partir en migration, donc sur leur zone de reproduction.

En hiver, les ortolans muent à nouveau les plumes de contour, du corps, mais pas les rémiges ni les rectrices. Parfois, quelques rémiges secondaires et quelques grandes couvertures peuvent être muées en hiver si elles ne l'ont pas été en fin d'été. Quand les ortolans reviennent en Europe au printemps, les plumes du corps, dont les scapulaires, sont neuves et ont poussé en Afrique, chez les jeunes nés l'année d'avant comme chez les oiseaux plus âgés.

Le principe :

- Prélever une rectrice centrale, 2 couvertures sus-caudales et 2 couvertures sous-caudales (voir photo ci-contre) sur des oiseaux capturés en France en automne (âge et sexe seront déterminés, la biométrie sera réalisée) pour déterminer une zone de pousse possible de la plume ; la plume prélevée repoussera rapidement pendant la halte migratoire pré-saharienne ; si on coupe la rectrice à sa moitié, elle ne sera pas changée avant la mue complète de l'été suivant, ce qui peut plus handicaper l'oiseau ; le même type de prélèvement sera effectué sur des ortolans migrateurs en Israël.
- Prélever une rectrice centrale, 2 couvertures sus-caudales et 2 couvertures sous-caudales, sur des oiseaux sur les zones de reproduction pour avoir des « témoins » des concentrations en isotopes des différentes zones de reproduction suivies (ces plumes ont poussé sur ces lieux de reproduction, l'année précédente).
- Prélever deux scapulaires de chaque côté sur les oiseaux capturés sur les zones de reproduction, car ces plumes ont été muées en Afrique, sur les lieux d'hivernage.



Les limites de cette méthode

En Afrique, les isotopes ne présentent pas de distribution spatiale aussi structurée qu'en Europe, il sera donc difficile de déterminer des zones d'hivernage précises avec cette méthode (voir Reichlin et al. 2010 & 2012 pour deux exemples sur la Huppe fasciée et le Torcol fourmilier), mais le fait que les oiseaux équipés de GLS feront l'objet d'une analyse isotopique permettra de préciser les résultats isotopiques.

Laboratoire(s) d'analyse

Nous prévoyons de faire analyser les échantillons dans un laboratoire canadien, celui de Keith Hobson (au Canada), avec lequel nous travaillons déjà depuis de nombreuses années (tout comme l'ONCFS).

Taille d'échantillon

20 oiseaux (équipés de GLS et témoins) en mai-juin pour chaque population nicheuse, pour rectrices et scapulaires, ce qui fait $20 \times 10 \times 2 = 400$ échantillons

150 oiseaux capturés en automne dans la moitié Ouest de la France.

150 oiseaux capturés en automne en Israël, voie orientale.

Soit 700 échantillons, qui seront analysés pour 2 isotopes, donc 1400 analyses

Photo. Un mâle de Bruant ortolan photographié le 14 mai 2004 au Danemark (Knud Pedersen). Les trois grandes couvertures alaires les plus internes sont neuves (signalées par la parenthèse rouge) et contrastent avec les autres usées. Elles ont été muées sur les zones d'hivernage et peuvent servir aux dosages de concentrations isotopiques.



III. Marqueurs génétiques (microsatellites)

Si des voies de migration séparées existent entre des populations nicheuses occidentales et orientales, elles pourraient entraîner une certaine différenciation génétique. En d'autres termes, des oiseaux utilisant une même voie de migration partageraient un patrimoine génétique plus important. Il s'agit ici de comparer plusieurs marqueurs microsatellites polymorphes d'oiseaux échantillonnés sur les lieux de reproduction (variés) et sur les voies migratoires (Sud-Ouest de la France et Israël). Les résultats espérés : déterminer génétiquement l'origine la plus probable des migrateurs. Si les marqueurs génétiques sont très variables, cette technique pourrait donner des résultats plus précis que les isotopes stables, dans la mesure où le nombre de populations nicheuses échantillonnées serait suffisant.

Cette technique a été utilisée sur d'autres espèces pour définir par exemple une ligne approximative de démarcation entre populations utilisant une voie de migration occidentale et une voie orientale, chez le Rousserolle effarvate *Acrocephalus scirpaceus* (Prochazka et al. 2011), ou chez le Pouillot fitis *Phylloscopus trochilus* (Bensch et al. 1999, 2009).

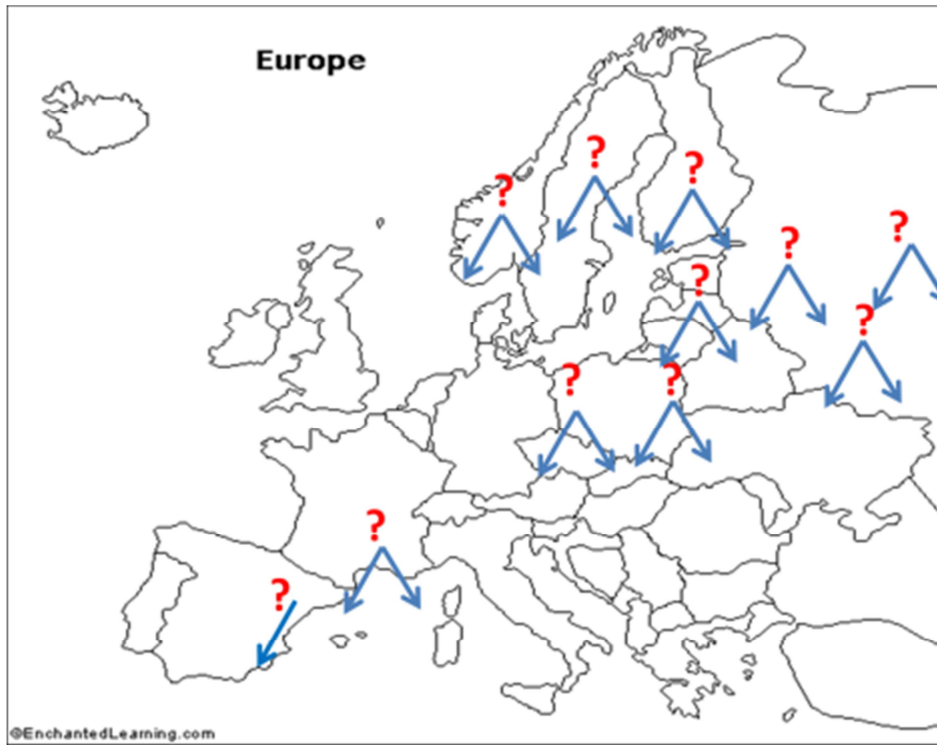
Les échantillons collectés pour analyse d'isotopes stables serviront aussi aux analyses génétiques, grâce aux fragments de peau présents à la base de la rectrice centrale. Nous espérons donc 700 individus échantillonnés, sur les sites de reproduction suivis (10 sites avec 40 oiseaux chacun soit 400), en halte migratoire sur la voie occidentale (150 dans le sud-ouest de la France), et sur la voie orientale (150 en Israël).

Si les populations reliques du centre-ouest de la France ne feront pas l'objet de pose de GLS, en raison de leur petite taille et de leur faible densité (risque de ne pas retrouver les oiseaux en année N+1), il sera envisagé de capturer quelques individus pour compléter l'échantillonnage de plumes pour les analyses isotopiques et génétiques.

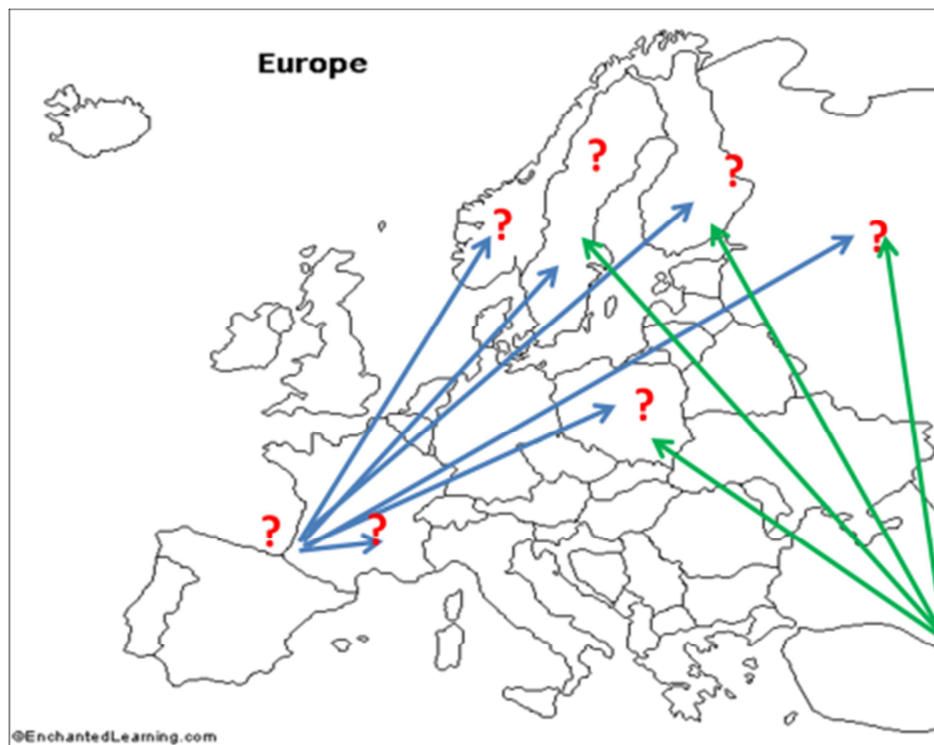
De plus, ponctuellement, des contacts seront pris pour compléter l'échantillonnage des populations nicheuses notamment en Asie Centrale, dans le Caucase, à la faveur de voyages ornithologiques de collègues bagueurs (Turquie, Géorgie, Azerbaïdjan, Kazakhstan). Ces échantillons de plumes permettront de mieux cerner la variabilité génétique des populations nicheuses.

Les travaux de génétique seront réalisés au Muséum National d'Histoire Naturelle, en partenariat avec le Service de Systématique Moléculaire, dirigé par Eric Pasquet. Ces travaux feront appel aux compétences scientifiques et techniques de la plate-forme, des techniciens et des chercheurs qui y sont associés.

Etudes par photomètres. Elles permettront de déterminer la proportion de chaque population nicheuse empruntant une voie de migration occidentale, orientale ou intermédiaire.



Etudes par analyses isotopiques et génétiques. Elles permettront de déterminer une origine probabiliste des individus capturés dans l'Ouest de la France et en Israël (comme exemple de voie migratoire orientale). Cela sera possible grâce aux références établies en suivant les populations nicheuses.



IV. Mise en œuvre de captures en France en automne

La capture du Bruant ortolan, espèce protégée inscrite à l'Annexe I de la Directive Oiseau, nécessite une autorisation en dérogation à la loi de protection de la nature, qui peut être délivrée par le Ministère de l'Écologie après avis du CNPN, ou par le Muséum national d'Histoire naturelle de Paris (CRBPO), conformément à l'arrêté ministériel du 22 septembre 2008. Le prélèvement de tissu doit faire l'objet d'une demande d'autorisation particulière, au-delà de celle de capture et de baguage, que le CRBPO est habilité à traiter et à accorder, pour les bagueurs officiels de son réseau national (cf. arrêté ministériel du 22 septembre 2008). Depuis le 1^{er} janvier 2013, les captures et prélèvements de tissus doivent avoir reçu l'avis favorable d'un comité d'éthique, ce qui est le cas pour ce programme 'ortolans' (Comité d'éthique Cuvier, avis favorable valable pour 2013-2017).

Il est donc proposé que des sites de capture d'ortolan soient mis en place, dans l'Ouest de la France, entre le 15 août et le 15 septembre, à l'aide matoles agrainées et de leurres acoustiques, possiblement complétées avec des filets japonais (voir Girardot et al. 2009), chaque site étant sous la responsabilité unique d'un bagueur du CRBPO. L'utilisation de canaris domestiques ou de bruants d'espèces autres qu'ortolans comme appelants (mais pas d'ortolan) pourra être envisagée (voir Girardot et al. 2009).

Partenariats sur les stations de baguage

Il est souhaitable que les partenaires (FDC40, LPO) soient localement associés aux opérations de capture, dans les Landes ou ailleurs. Nous prévoyons de mobiliser des bagueurs pour mettre en place des sites de capture en région Aquitaine, Poitou-Charentes et Languedoc-Roussillon. Les bagueurs du CRBPO de ces régions seront consultés pour savoir qui est volontaire pour prendre la responsabilité d'un site de baguage. Certains de ces bagueurs sont agents de l'ONCFS et pourront être mobilisés dans le cadre de leur service.

Seuls les sites retenus et validés par le CRBPO pourront participer à l'opération, la validation étant valable pour une saison de capture (un automne), et la station étant sous l'entière responsabilité du bagueur CRBPO. Les emplacements de chacun de ces sites seront communiqués à l'ensemble des partenaires (préfecture, ONCFS, FDC40, LPO...) avant la mi-août.

Les sites de capture et l'installation des systèmes de capture seront élaborées avec les conseils de tendeurs, qui fourniront les matoles et les cages d'appelants, et qui pourront être aides-bagueurs sur les sites concernés.

Inutilité de poser des GLS sur les sites de migration

Étant donnée la probabilité quasi nulle de re-capturer une même année ou une année suivante un oiseau capturé en halte migratoire (0 individu sur 301 captures dans les Landes pour le programme de baguage de la FDC entre 2003 et 2008), il n'est pas envisageable de poser des GLS sur des oiseaux dans le Sud-Ouest, car aucun ne pourrait être récupéré.

Stations de baguage sur la voie orientale

En Israël, plusieurs stations de baguage standardisées capturent et baguent quotidiennement les oiseaux en période de migration : le Jerusalem Bird Observatory, Tzor'a Valley, l'International Bird Ringing Center à Eilat. Ces stations de baguage seront contactées pour estimer les tendances

d'évolution du nombre d'ortolans capturés et bagués en migration en Israël, ce qui donnera une indication sur l'évolution du flux utilisant une des voies orientales de migration. Ces oiseaux feront également l'objet de prélèvements de plumes pour compléter les analyses isotopiques et génétiques sur une voie de migration orientale.

Autres apports éventuels d'un baguage massif ?

Bilan sur les opérations de baguage réalisées en France et dans les Landes

Pour savoir s'il pourrait être intéressant de lancer en France un grand effort de capture et de baguage de bruants ortolans, il convient d'analyser les expériences mises en œuvre auparavant en France, notamment dans les Landes où l'effort de capture en migration est le plus fort. Dans ce département, des opérations de baguage ont eu lieu de 2003 à 2008 sous la responsabilité de Franck Ibanez, bagueur en possession d'un permis de baguage valide du CRBPO/Muséum Paris. Il y a conduit des opérations de baguage dans les Landes pour la FDC40 (voir Girardot et al. 2009). Comme tout bagueur, F. Ibanez envoie chaque année l'ensemble de ses données de baguage et de captures d'oiseaux déjà bagués (contrôles) au CRBPO. Ainsi, le CRBPO possède la base de données nationales des baguages, contrôles (oiseaux vivants) et reprises (oiseaux morts) d'oiseaux en France. Les chiffres avancés ci-dessous sont donc les chiffres officiels qui sont mis ici à disposition de la communauté scientifique.

D'après Girardot et al. (2009), le baguage était réalisé sur des sites avec matoles en utilisant des canaris comme appelants. Durant ces 6 années, 300 ortolans ont pu être bagués, mais aucun d'entre eux n'a été recapturé. En plus de ces 300 individus, un seul oiseau déjà bagué a été capturé (en 2003), porteur d'une bague norvégienne, et originaire de la population nicheuse suivie par Svein Dale. Ce taux de contrôle nul ne laisse aucun espoir quant à la possibilité de pouvoir utiliser l'outil du baguage pour étudier les durées de séjour et la prise de poids sur les sites de halte migratoire. En effet, dans les programmes de baguage classiques ayant ces objectifs (fauvettes paludicoles en roselières par exemple ; voir Julliard et al. 2006 pour un exemple sur le Phragmite aquatique), les taux de recapture sont de l'ordre de 5 à 10%. Ces oiseaux, bagués et pesés un jour puis recapturés et pesés à nouveau plus tard, permettent d'étudier la prise de poids, et par exemple de comparer la qualité de différents sites de halte migratoire pour la reconstitution des réserves énergétiques (graisse) nécessaires à la bonne poursuite de la migration. Dans le cas du Bruant ortolan, notre analyse des données déjà disponibles nous fait abandonner l'hypothèse d'organiser un baguage massif d'oiseaux en migration dans le sud-ouest pour étudier la qualité des sites de halte migratoire.

NB : si d'autres éléments n'ont pas été transmis au CRBPO (notamment des captures éventuelles d'autres oiseaux bagués durant la période 2003-2008, réalisées par le bagueur), il conviendrait de les faire parvenir s'ils sont susceptibles de modifier l'analyse présentée ici. Nous faisons ici allusion au document produit par la FDC40 en août 2012 intitulé « programme d'étude sur le bruant ortolan », signalant que (page 3) : « dans le cadre des opérations de baguage de la Fédération Départementale des Chasseurs des Landes, des Bruants ortolans venant de Russie, de Pologne et d'Allemagne ont été identifiés dans le département des Landes. »

Le taux de capture d'oiseaux bagués en dehors des Landes et l'absence de contrôle d'oiseaux bagués localement empêchent également d'utiliser l'outil du baguage pour estimer la taille du flux d'ortolan migrant par les Landes. Les modèles mathématiques de capture-recapture ne peuvent pas

être utilisés, et des méthodes plus simples de type 'règle de trois', utilisées pour estimer le flux d'alouettes baguées migrant par le sud-ouest, ou encore le nombre de Phragmites aquatiques s'arrêtant en France en automne (Jiguet et al. 2011), nécessite des contrôles d'oiseaux déjà bagués.

Il pourrait être intéressant d'augmenter la pression de baguage dans les pays au Nord de la France, sur les zones de reproduction, mais seulement si le nombre d'oiseaux bagués capturés dans le sud-ouest était important. La consultation de la base de données du CRBPO – mise à jour en octobre 2012 avec de nouvelles informations historiques provenant de centres de baguage étrangers - indique 26 captures en France d'oiseaux bagués sur les zones de reproduction depuis 1950. L'origine des 26 oiseaux bagués sur leurs sites de reproduction et retrouvés en France est la suivante : Norvège (9), Suède (6), Finlande (6), Russie (1), Estonie (1), Pologne (1), Allemagne (2). Ces chiffres dépendent bien sûr de la pression de baguage dans chacun de ces pays, mais plusieurs milliers d'ortolans ont été bagués en Finlande depuis 60 ans et le nombre de reprises en France ne laisse pas envisager qu'un baguage massif sur zones de reproduction pourrait aider à obtenir des reprises de bagues suffisantes en France.

En conclusion, il s'avère que la capture d'oiseaux sur les zones de halte migratoire ne permettra pas d'obtenir des recaptures locales (pour étudier le temps de halte migratoire) ou des contrôles étrangers (pour déterminer des zones d'origine), et n'a donc pas un intérêt scientifique majeur au-delà de la simple prise de données sur la biométrie, la masse des oiseaux, et bien sûr le prélèvement de tissus pour analyses isotopiques et génétiques.



Photo : baguage d'un mâle nicheur de Bruant ortolan sur le causse Méjean, en Lozère, France (©Frédéric Jiguet)

V. Gouvernance

Le projet sera réalisé sous la conduite du Muséum National d'Histoire Naturelle en partenariat avec l'ONCFS. Il nécessite de mettre en place 2 comités distincts pour assurer la gouvernance du projet :

- Un comité scientifique, composé de chercheurs, qui s'assurera de la pertinence et de l'excellence des recherches ; les porteurs du programme de recherches dans les principaux pays participeront à ce comité de pilotage : Raphaël Arlettaz (Suisse), Jean-Marie Boutin ou son représentant (ONCFS), Michel Alexandre Czajkowski (OMPO), Svein Dale (Norvège), Gunnar Selstam (Suède), Michal Skierczynski (Pologne), Markus Piha (Finlande), Jaanus Elts (Estonie), Jean-Philippe Siblet ou son représentant (Service du Patrimoine Naturel, MNHN). Ce comité sera présidé par Frédéric Jiguet (MNHN Paris) et se réunira une fois par an. Deux membres supplémentaires seront invités à participer à ce comité en tant qu'observateurs, l'un proposé par la FDC40, l'autre par la LPO Aquitaine ; ces deux membres devront comprendre et parler anglais, car les échanges au sein du comité scientifique se font dans cette langue ;
- Un comité de suivi, regroupant les différents acteurs du dossier 'ortolan' en France, partenaires et financeurs, qui pourrait être placé sous la responsabilité de M. le Préfet des Landes. Ce comité de suivi sera constitué de représentants du comité de pilotage (MNHN), de la Direction des Expertises du MNHN, de la Fédération Départementale des Chasseurs des Landes FDC40, du Conseil Général des Landes CG40, du Conseil Régional Aquitaine, de la DDTM40, de la LPO, de la SEPANSO, du MEDDE et d'autres financeurs ou partenaires éventuels, à la discrétion des services de l'état et de M. le Préfet. Le comité de suivi sera réuni deux fois par an et se verra présenter l'état d'avancement des recherches. Il est proposé de le réunir une fois fin juin et une fois en décembre.

Ces deux comités fonctionneront de manière indépendante tout en restant étroitement connectés. Le comité scientifique est responsable de la mise en œuvre du programme sur le terrain, avec l'aide du contractuel post-doc qui sera recruté. Il doit évaluer régulièrement les avancées scientifiques du programme, et peut décider de l'améliorer au besoin au regard de ses expertises d'étape, et éventuellement des remarques ou requêtes pouvant émaner du comité de suivi. Les deux observateurs du comité scientifique pourront saisir ce comité par écrit, et solliciter une réponse écrite, ces documents seront intégrés au rapport final. Le comité de suivi se réunira deux fois par an pour se voir présenter l'avancement des travaux de recherches, et pourra proposer des avis ou des conseils qui seront transmis au comité scientifique. Il ne pourra en aucun cas se substituer au comité scientifique, seul habilité à formuler des observations de nature à modifier l'orientation des travaux.

Atouts « politiques » de ce programme :

- Programme de recherches piloté par des chercheurs, dont les résultats seront publiés dans des journaux scientifiques internationaux ;
- Implique des chercheurs du reste de l'Europe, où l'ortolan est nicheur, qui seront membres du comité de pilotage ; cette dimension européenne, justifiée sur le plan scientifique, paraît en outre opportune dans le contexte tendu de mise en demeure ;
- Associe les acteurs locaux des Landes comme partenaires techniques et dans le comité de suivi ;
- Décontextualise l'étude, en ne se focalisant pas sur les Landes qui reste un lieu de conflit entre chasseurs traditionnels et associations de protection de la nature, ce qui devrait

permettre de faire des travaux de recherches de manière plus sereine, sans risque d'attiser les conflits locaux ;

- Fournit des résultats concrets en 3 ans, peut être prolongé au besoin ;
- Permet d'étudier l'éventuelle origine russe d'oiseaux en migration dans les Landes, et d'apporter quelques éléments sur l'évolution des populations russes.

Dans le cadre de ce projet, nous souhaitons aussi avoir la possibilité d'organiser des visites sur le terrain, notamment en Scandinavie et en Russie, de responsables des différents partenaires du projet, notamment des acteurs locaux du département des Landes (FDC, CG, CR, LPO, etc...). Cela permettra aux partenaires de voir comment le programme se met en place sur le terrain.

VI. Budgets

Les sommes seront versées au Muséum National d'Histoire Naturelle.

364.450€ TTC sur 3 ans

Ce budget est un ensemble cohérent dont le financement doit être assuré sur la durée des trois années, il ne peut être organisé sur la base d'une contractualisation annuelle renouvelable.

Coût du matériel GLS : 40.000€

400 GLS au total, 100€ HT par GLS, achetés auprès de la station ornithologique de Sempach, en Suisse.

Coût des bagues métal et couleur : 1.000€

environ 1000 bagues métal et 1000 bagues couleur

Coût des analyses isotopiques : 14.000€

10€ par analyse, 1400 analyses prévues

Coût des analyses génétiques : 7.000€

10€ par analyse d'échantillon, pour 700 échantillons

L'analyse scientifique de ces données génétiques sera réalisée dans le cadre du post-doctorat de recherches contractuel (identifier des marqueurs microsatellites, séquencer les échantillons, analyser les séquences obtenues et étudier leurs variabilités).

Coûts des missions sur le terrain (GLS) : 120.000€

40.000€ par an pendant 3 ans (2013, 2014 et 2015)

Ce sont les coûts de l'organisation et de la réalisation des missions sur le terrain en France et en Russie par les chercheurs français (MNHN et ONCFS), et une participation au financement des missions sur le terrain pour les sites situés en Espagne, Suède, Norvège, Finlande et Pologne, où les chercheurs associés au programme iront sur le terrain pour poser nos GLS.

Mise en place de stations de baguage en automne : 20.000€

Il s'agit de fournir du matériel aux bagueurs (filets, perches, nécessaire pour fabriquer des matoles), pour les captures à organiser dans l'Ouest de la France en août et septembre, durant deux années (2013 et 2014), pour espérer compléter l'échantillon nécessaire aux analyses isotopiques (150 oiseaux au total). Ces coûts n'incluent pas le temps du personnel technique déjà en poste qui prendra en charge ces stations de baguage. Il comprend par contre l'embauche de deux techniciens durant un mois chaque automne pendant trois ans en cas de besoin.

Valorisation de l'ensemble des données collectées : 50.000€

L'équipe de recherches en charge du projet envisage, pour analyser l'ensemble des données, de recruter, pour la dernière année du projet, un jeune chercheur en post-doctorat, dont le financement

se monte à 50.000€, un coût qui permettra de prendre en charge le salaire (48k€/an), l'achat d'un ordinateur et les coûts de publications scientifiques en accès libre.

Coordination et Gouvernance du projet : 25.000€

Réunion du comité de pilotage 1 fois par an (5.000€ par an pour réunir les chercheurs internationaux, pendant 3 ans)

Coordination des travaux au sein du MNHN et rédaction d'un rapport final par le Service du Patrimoine Naturel (10.000€)

[Réunion du comité de suivi des partenaires, 2 fois par an (juin et décembre). Estimation à 10.000€ sur 3 ans, proposition : à la charge de la Préfecture des Landes qui organisera les réunions]

Frais de gestion (10%) : 27.700€

TOTAL HT : 304.700€

TVA (19.6%) : $304.700 * 0.196 = 59.750€$

TOTAL : 364.450€

Ventilation du budget par an :

Poste	2013	2014	2015
Achat GLS	17.000	23.000	0
Bagues	1.000	0	0
Analyses isotopes	5.000	5.000	4.000
Analyses génétiques	0	3.500	3.500
Missions printemps	30.000	45.000	45.000
Missions automne	10.000	10.000	0
Contrat post-doctoral			50.000
Gouvernance	7.000	7.000	11.000
Frais de gestion 10%	7.000	9.350	11.350
<u>TOTAL HT</u>	<u>77.000</u>	<u>102.850</u>	<u>124.850</u>
TVA 19.6%	15.100	20.150	24.500
<u>TOTAL TTC</u>	<u>92.100</u>	<u>123.000</u>	<u>149.350</u>

Comme le financement du programme ne pourra démarrer avant le deuxième trimestre 2013, nous proposons une répartition des crédits comme suit, avec une répartition des dépenses qui seront à engager, par trimestre.

Ventilation trimestrielle des dépenses :

Poste	T2 2013	T3 2013	T4 2013	T1 2014	T2 2014	T3 2014	T4 2014
GLS	17.000			23.000			
Bagues	1.000						
Analyses isotopes			5.000				5.000
Analyses génétiques				3.500			
Missions printemps	30.000				45.000		
Mission automne		10.000				10.000	
Post-doc coordination							
Gouvernance	2.000	5.000		2.000		5.000	
Frais gestion	5.000	1.500	500	2.850	4.500	1.500	500
Total HT	55.000	16.500	5.500	31.350	49.500	16.500	5.500
TVA	10.780	3.240	1.080	6.140	9.700	3.230	1.080
TOTAL TTC	65.780	19.740	6.580	37.490	59.200	19.730	6.580

Poste	T1 - 2015	T2 2015	T3 2015	T4 2015
GLS				
Bagues				
Analyses isotopes			4.000	
Analyses génétiques			3.500	
Missions printemps		45.000		
Mission automne				
Post-doc coordination	12.500	12.500	12.500	12.500
Gouvernance			5.000	6.000
Frais gestion	1.250	5.750	2.500	1.850
Total HT	13.750	63.250	27.500	20.350
TVA	2.700	12.400	5.400	4.000
TOTAL TTC	16.450	75.650	32.900	24.350

2013 : 92.100€

2014 : 123.000€

2015 : 149.350€

TOTAL : 364.450€

Références citées :

- Bächler E, Hahn S, Schaub M, Arlettaz R, Jenni L, Fox JW, Afanasyev V, Liechti F. 2010. Year-round tracking of small trans-Saharan migrants using light-level geolocators. PLoS ONE 5(3): e9566.
- Bensch S, Andersson T, Åkesson S (1999). Morphological and molecular variation across a migratory divide in willow warblers, *Phylloscopus trochilus*. Evolution 53: 1925-1935.
- Bensch S, Grahn M, Müller N, Gay L, Åkesson S (2009). Genetic, morphological, and feather isotope variation of migratory willow warblers show gradual divergence in a ring. Molecular Ecology 18: 3087-3096.
- Brotons L, Herrando S & Pons P (2008). Wildfires and the expansion of threatened farmland birds: the ortolan bunting *Emberiza hortulana* in Mediterranean landscapes. Journal of Applied Ecology 45: 1059–1066.
- Comolet-Tirman J, Jiguet F & Sibley J-P (2012). Le Bruant ortolan *Emberiza hortulana* en France : statuts et tendances [The Ortolan Bunting *Emberiza hortulana* in France : population sizes and trends]. Avril 2012. Rapport SPN 2012-25, Service du Patrimoine Naturel, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 56 pages.
- Dale S & Steifetten Ø (2011). The rise and fall of local populations of ortolan buntings *Emberiza hortulana*: importance of movements of adult males. Journal of Avian Biology 42: 114-122.
- Girardot P, Chaumont L & Mourguiart P (2009). Fall migration of the Ortolan Bunting along the Atlantic coast, south-western France. Pp 82-87 in Bernardy P (2009): Ökologie und Schutz des Ortolans (*Emberiza hortulana*) in Europa – IV. Internationales Ortolan-Symposium (Hitzacker / Elbe 8. – 10.06.2007). Naturschutz Landschaftspfl. Niedersachsen Cahier 45, Hanovre (Allemagne). 178 p
- Hobson KA, Bowan GJ, Wassenaar LI, Ferrand Y, Lormée H (2004) Using stable isotope measurements of feathers to infer geographical origins of migrating European birds. Oecologia 142: 477-488.
- Hobson K A, Van Wilgenburg SL, Wassenaar LI, Powell RL, Still CJ & Craine JM (2012). A multi-isotope ($\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$, δ^2H) feather isoscape to assign Afrotropical migrant birds to origins. Ecosphere 3:art44. <http://dx.doi.org/10.1890/ES12-00018.1>
- Jiguet F, Chiron F, Dehorter O, Dugué H, Provost P, Musseau R, Guyot G, Latraube F, Fontanilles P, Séchet E, Laignel J, Gruwier X & Le Névé A (2011) How many Aquatic Warblers *Acrocephalus paludicola* do stop in France during the autumn migration? Acta Ornithologica 46, 135-142.
- Julliard R, Bargain B, Dubos A & Jiguet F (2006) Identifying fall migration bottlenecks for the globally threatened aquatic warbler (*Acrocephalus paludicola*). Ibis 148: 735-743.
- Marquiss M, Newton I, Hobson KA, Kolbeinsson Y (2012) Origins of irruptive migrations by Common Crossbills *Loxia curvirostra* into northwestern Europe revealed by stable isotope analysis. Ibis 154: 400-409.

- Popa-Lisseanu AG, Sörgel K, Luckner A, Wassenaar LI, Ibanez C et al. (2012) A triple-isotope approach to predict the breeding origins of European bats. *PLoS ONE* 7(1): e30388. doi:10.1371/journal.pone.0030388
- Procházka P, Hobson KA, 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, Stokke BG, Jensen H, Fainová D, Bellinvia E, Fossøy F, Vikan JR, Bryja J, Soler M (2011) Low genetic differentiation among reed warbler *Acrocephalus scirpaceus* populations across Europe. *J Avian Biol* 42, 103-113.
- Reichlin TS, Hobson KA, Wassenaar LI, Schaub M, Tolkmitt D, Becker D, Jenni L, Arlettaz R (2010). Migratory connectivity in a declining bird species: using feather isotopes to inform demographic modeling. *Diversity & Distribution* 16, 643-654.
- Reichlin TS, Hobson KA, Van Wilgenburg SL, Schaub M, Wassenaar LI, Martín-Vivaldi M, Arlettaz R, Jenni L (2012). Conservation through connectivity: can isotopic gradients in Africa reveal winter quarters of a migratory bird? *Oecologia*. Doi 10.1007/s00442-012-2418-5.
- Salewski V. and Poluda A. First Report “Equipping Aquatic Warblers *Acrocephalus paludicola* with geolocators in the Supoy region, Ukraine. 1st to 14th July 2010.”

Annexe 5

Jiguet *et al.* (2016) An update of European population sizes and trends of the Ortolan Bunting (*Emberiza hortulana*). *Ornis Fennica* 93: 186-196

Review

An update of the European breeding population sizes and trends of the Ortolan Bunting (*Emberiza hortulana*)

Frédéric Jiguet*, Raphaël Arlettaz, Hans-Günther Bauer, Viktor Belik, José Luis Copete, Laurent Couzi, Michel Alexandre Czajkowski, Svein Dale, Valery Dombrovski, Jaanus Elts, Yves Ferrand, Régis Hargues, Guy M. Kirwan, Simonas Minkevicius, Markus Piha, Gunnar Selstam, Michał Skierczyński, Jean-Philippe Sibley & Aleksandr Sokolov

*F. Jiguet, Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation, UMR7204 Sorbonne Universités-MNHN-CNRS-UPMC, CP 135, 43 Rue Buffon, 75005 Paris, France. * Corresponding author's email: fjiguet@mnhn.fr*

R. Arlettaz, Division of Conservation Biology, Institute of Ecology and Evolution, University of Bern, Baltzerstrasse 6, CH-3012 Bern, Switzerland; and Swiss Ornithological Institute, Valais Field Station, Rue du Rhône 11, 1950 Sion, Switzerland

H.-G. Bauer, MPIO, Vogelwarte Radolfzell, Am Obstberg 1, D-78315 Radolfzell, Germany

V. Belik, Southern Federal University, Dept. of Zoology, 344006, Rostov-on-Don, Bolshaja Sadovaja 105, Russia

J.L. Copete, Handbook of the Birds of the World-Alive, Lynx Edicions, Montseny 8, E-08193 Bellaterra, Barcelona, Spain

L. Couzi, Ligue pour la Protection des Oiseaux Aquitaine, 33140, 429 Chemin de Leysotte, 33140 Villenave-d'Ornon, France

M.A. Czajkowski, OMPO, 59 rue Ampère, 75017 Paris, France

S. Dale, Norwegian University of Life Sciences, Dept of Ecology and Natural Resource Management, PO Box 5003, NO-1432 Ås, Norway

V. Dombrovski, National Academy of Sciences, ul. Akademichnaya 27, 220072 Minsk, Belarus

J. Elts, Estonian Ornithological Society, Veski 4, 51005 Tartu, Estonia; Department of Zoology, Institute of Ecology and Earth Sciences, University of Tartu, 46 Vanemuise St., 51014 Tartu, Estonia

Y. Ferrand, ONCFS, CNERA Avifaune migratrice, 39 Bd Albert Einstein, CS 42355, 44 323 Nantes Cedex 3, France

R. Hargues, Fédération Départementale des Chasseurs des Landes, 111 Chemin de l'Herté, 40465 Pontonx-sur-l'Adour, France

G.M. Kirwan, Research Associate, Field Museum of Natural History, 1400 South Lakeshore Drive, Chicago, IL 60605, USA

S. Minkevicius, Pajautos st. 11-40, LT 06203, Vilnius, Lithuania

M. Piha, Finnish Museum of Natural History – Luomus, P.O.Box 17 (Pohjoinen Rautatiekatu 13), FI-00014 University of Helsinki, Finland

G. Selstam, Dept of Molecular Biology, Faculty of Medicine, University of Umeå, Sweden

M. Skierczyński, Department of Behavioural Ecology, Adam Mickiewicz University, Poznan, Poland

J.-P. Sibley, Service du Patrimoine Naturel, Muséum national d'Histoire naturelle, CP41, 36 rue Geoffroy Saint-Hilaire, 75005 Paris, France

A. Sokolov, Belogorie State Nature Reserve, per Monastyrskij dom 3, p Borisovka 309342, Borisovskij r-n, Belgorod Region, Russia

Received 13 January 2016, accepted 5 April 2016

Following recent updates proposed by BirdLife International and further updates across Europe gathered in the context of a continent-wide study of the migration strategy of the species, we propose here an update of national population sizes and associated recent trends of the Ortolan Bunting (*Emberiza hortulana*). Previous estimates for the period 1999–2002 reported 5,200,000 to 16,000,000 breeding pairs, for an area extending east to European Russia, and south to the Caucasus and Turkey. The countries holding the largest populations were Turkey (3–10 million pairs) and Russia (1.5–5.0 million pairs). The updated results give approximately 3,319,000 to 7,057,000 pairs in Europe (for the period 2012–2014), representing a c. 50% decrease in numbers over the last decade. This decrease is partly due to overestimates proposed in previous reports for the key country, Turkey, which is now considered to support only 500,000 to 1,000,000 pairs. Russia still holds 2.0–4.3 million pairs, although with an estimated decline of c. 15–30% since 2000. Overall, within the 39 European countries assessed here, recent decadal trends (on average 2000–2012) in population size are reported as unknown in 15 countries, increasing in 2 countries (Germany and Serbia), stable or fluctuating in 6 countries, and decreasing in 16 countries including recent extinctions in Belgium, Hungary, Slovakia and the Netherlands. Overall, declining populations are mostly located in northern Europe, and fourteen of the 15 northern European countries with a known national trend have declining breeding populations, suggesting that northern breeders are of particular conservation concern.



1. Introduction

The intensification of agricultural practices across Europe is considered to be the major recent driver of bird population declines in farmland habitats (Donald *et al.* 2001). Loss of habitat heterogeneity and field margins, conversion of grassland to crops and widespread use of fertilizers, herbicides and pesticides have caused massive declines in food abundance and diversity, including seeds and invertebrates, for breeding birds (Vickery *et al.* 2001). In this context, the Ortolan Bunting (*Emberiza hortulana*) has suffered a major population decline across Europe in recent decades

(Goławski & Dombrowski 2002, Revaz *et al.* 2005, Vepsäläinen *et al.* 2005, Dale 2009, Menz & Arlettaz 2012). As it is a long-distance passerine migrant, population trends might also be influenced by potential pressures or changes in migration stopover and wintering areas (see Selstam *et al.* 2015).

A first step before trying to understand the potential causes of population declines is to quantify the losses. Here we propose an update of estimated national breeding population sizes, based on recent literature and extensive field work conducted in the context of a continent-wide study of the species' migration strategy.

2. Methods

2.1. Previous reference estimates

Baselines for this update are the numbers published by BirdLife International (2004), for the 39 countries listed in Table 1. According to this reference, the European breeding population was estimated to number 5,200,000–16,000,000 breeding pairs, for an area extending east to European Russia, and south to the Caucasus and Turkey. These numbers generally refer to population sizes estimated during the period 1999–2002. Countries holding the largest populations were reported to be Turkey (3–10 million pairs) and Russia (1.5–5.0 million pairs).

2.2. Updated estimates

To propose updated national population sizes for the 39 countries, we used three sources of information. The first one is the official reporting made by EU Member States under Article 12 of the Birds Directive (hereafter Art. 12), available on the website of the European Topic Centre on Biological Diversity (ETC-BD, 2015). The second source comes from ornithological experts participating in a continent-wide research program studying the migration strategy of the species, and their knowledge of national Ortolan Bunting populations, all of whom are co-authors of this paper.

The third one concerned non-EU countries, with recent estimates gathered by BirdLife International (2015) to prepare the recent update of the European Red List of Birds, a project funded by the European Commission. Population changes between the two periods reported in Table 1 were reprinted from BirdLife International 2015, except for Belarus as the updated information here reveals a different trend.

3. Results and discussion

3.1. National population sizes and trends

Table 1 presents an overview of the national population sizes as published by BirdLife International in 2004 (Birds in Europe) and the update by the ex-

perts co-authoring the present paper. We further discuss below the numbers and trends reported in Table 1 for countries for which we propose new data explaining and/or updating the figures published in BirdLife International (2015). Some of these countries have published national Red List status for the species (see IUCN 2012), which is reported here when available.

Belarus

Previous strongholds of the species in the south-east were visited in spring 2014 to locate singing males, and remnant populations were only found in the radio-contaminated exclusion area near Chernobyl. The total population is estimated to number at most between 1,000 and 3,000 males, which represents a decline of c. 34% in 12 years. BirdLife International (2015) reported 2,500 to 4,000 pairs in 2012.

Estonia

Only 200–400 pairs reported in 2014, a 90% decrease since BirdLife International (2004). A prime example of the magnitude of the decline comes from Lahemaa National Park, believed to be one of the strongholds of the species in Estonia, where c. 130 pairs bred at the end of the 1990s, but only 4 singing males were recorded during a thorough inventory in 2014 (data from the Estonian Ornithological Society). Art. 12 reporting mentioned 300–500 pairs in 2008–2012 (Elts *et al.* 2013, BirdLife International 2015).

Finland

There were 9,400 to 25,000 pairs in 2006–2012, a period which does not overlap with the estimates obtained from 1998–2002, thereby representing a decline of c. 60% in c. 10 years. The population estimate in 2014 is, however, updated here to 7,000–19,000 pairs based on the steep and steadily continuing decline of c. 13% per year (Väisänen & Lehtikoinen 2013). The rate of decrease is derived from the national line transect and point count data. These monitoring data suggest a national decline of 78% from 2004 to 2014, which is quite similar to the decline observed in adjacent Estonia, but involves here a larger population. Since the start of the national breeding survey, the species has lost 98% of its breeding numbers in 31 years (Väisänen & Lehtikoinen 2013). The species is

Table 1. National breeding population sizes of the Ortolan Bunting across Europe. The trend is the recent trend taken from BirdLife International (2015). The countries are categorized into northern and southern Europe.

Country	Birds in Europe (2004)	Year	Update 2014	Year	Trend	Northern/Southern
Albania	1,000–2,000	2002	1,000–2,000	2012	→	S
Andorra	4–10	2001	No new data	–	?	–
Armenia	15,000–30,000	2002	15,000–30,000	2012	?	–
Austria	15–25	2002	4–10	2012		N
Azerbaijan	20,000–100,000	2000	No new data	–	?	–
Belarus	2,500–4,000	2002	1,000–3,000	2014		N
Belgium	0	2000	0	2012	–	–
Bosnia & HG	?	–	1,500–2,000	2012	?	–
Bulgaria	25,000–50,000	2002	34,000–150,000	2012	F	S
Croatia	1,000–5,000	2002	3,500–6,000	2010	?	–
Czech Republic	100–200	2000	80–160	2012		N
Estonia	2,000–4,000	1998	200–400	2014		N
Finland	30,000–50,000	2002	7,000–19,000	2014		N
France	10,000–40,000	2002	5,000–8,000	2012		N
Georgia	present	–	–	–	?	–
Germany	5,600–7,000	1999	10,500–16,000	2009	↑	N
Greece	20,000–50,000	2000	20,000–50,000	2012	→	S
Hungary	10–15	2002	0	2012		S
Italy	4,000–16,000	2003	4,000–16,000	2012	?	–
Kosovo	500–1,000	2003	350–700	2014	?	–
Latvia	500–2,000	2000	144–7744	2004	?	–
Lithuania	200–800	2001	60–100	2012		N
Macedonia	3,000–10,000	2000	3,000–10,000	2012	?	–
Moldova	4,500–5,000	2000	2,000–3,000	2010	F	S
Montenegro	400–800	2003	400–800	2012	?	–
Netherlands	0–5	2000	0	2011		N
Norway	150–155	2002	20	2014		N
Poland	150,000–300,000	2002	197,000–298,000	2012		N
Portugal	500–2,500	2002	1,000–5,000	2012	?	–
Romania	125,000–255,000	2002	225,000–550,000	2013	?	–
Russia	1,500,000–5,000,000	2000	2,000,000–4,300,000	2013		N
Serbia	3,500–4,500	2003	26,000–42,000	2014	↑	S
Slovakia	0–5	1999	0	2012	?	–
Slovenia	200–300	2000	20–34	2012		S
Spain	200,000–225,000	1992	180,500–365,000	2012		S
Sweden	2,000–7,000	2000	2 600–5,000	2012		N
Switzerland	100–150	2002	0–1	2014		N
Turkey	3,000,000–10,000,000	2001	500,000–1,000,000	2014	→	S
Ukraine	58,000–67,000	2000	No new data	–		N
EUROPE	5,184,779–16,219,465	2004	3,318,882–7,056,959	2014	–	–

listed as Endangered on the Finnish national Red List (Rassi *et al.* 2010, Tiainen *et al.* 2016).

France

Recent analyses of the national breeding bird atlas (2009–2012) data provided an estimate of 5,000 to 8,000 pairs, distributed mainly in the south, a c.

68% decline compared to the estimate published in 2002 (10,000–40,000 pairs). Concomitantly, the national breeding bird survey reported a 50% decline for the period 2001–2014 (Jiguet *et al.* 2016). The numbers provided for Art. 12 reporting were overestimated because they were based on an extrapolation of only part of the final semi-quantita-

tive data collected during atlas work (2009–2012), whereas the final estimates of national population sizes were computed in 2014 (Issa & Muller 2015). So, contrary to BirdLife International (2015), the attested recent decrease can be considered as large (> 50%) and not moderate (20–49%), with the result that the species is now listed as Endangered on the French national Red List (IUCN France and MNHN in prep.).

Germany

Recent estimates imply a population increase, but it has been suggested that the previous reported estimates were much too low (Dürr & Ryslavý 2009). The current estimates are based on a much larger sample size and improved knowledge gained during field surveys for the recent breeding bird atlas (Gedeon *et al.* 2014). As to trends, there are also contradictory elements, as the species is still increasing in its current German strongholds (for example in eastern Lower Saxony), also due to conservation efforts, whereas in other areas numbers are decreasing. This might explain the stable trend found by the national breeding bird survey, and the stable long-term trend reported for Germany by BirdLife International (2015). In 2007, the set-aside scheme of the EU was abandoned in Germany; until then the Ortolan Bunting had benefited from improved habitat structure in suitable sandy habitats, but also from the tilling of grasslands in mosaic landscapes and from other conservation actions. In most parts of Germany, the species shows clear declines and even area losses. At the distribution edges, the set-aside scheme has not had the same positive effects on the species, and numbers have been continually declining. Finally, even if a positive population trend in the species' German stronghold is evident, there is a sex bias towards males indicating that reproduction is reduced (Gedeon *et al.* 2014), which is a clear sign of a species with fragmented, "unhealthy" populations (Dale 2001).

Norway

Norwegian counts represent males. The number of males was 152 in 2002 and 20 in 2014, representing a 87% decline. For pairs (so considering females), the trend is a decline of 88% (82 in 2002 to probably 10 females in 2014). BirdLife (2004) reported 150–155 pairs in 2002 but these figures are

in fact related to the number of males. The species is listed as Critically Endangered on the Norwegian national Red List (Kålås *et al.* 2015).

Poland

Despite the previous upper and lower values of the population size estimate being not dissimilar to the current one (see Table 1), the population is known to have declined by 20% during the first decade of the 2000s (Kosicki & Chylarecki 2012), hence the negative trend reported for that country.

Russia

BirdLife International (2004) reported 1.5–5.0 million pairs in European Russia as a whole in 2000. In the Rostov region in the late 1990s, the Ortolan Bunting was recorded in 48 of 54 surveyed 50×50 km squares. It was nesting in 25 squares, and probably nesting in another 22 squares. The number of pairs was estimated at 10,000–100,000 for 32 squares, at 1,000–10,000 pairs for 12 squares (Belik 2000). Subsequently, in southern Russia, numbers have decreased in the Stavropol (*vide* Lyubov Malovichko), Rostov and Voronezh regions. Numbers have remained stable in Belogorie reserve in the Belgorod region, but this population is confined to steppe with shrubs and trees that represents less than 1% of the region. In northern Russia, the species colonized the Karelian Isthmus and areas to the southeast (Leningrad, Vologda, Kostroma, Nizhny Novgorod to Perm) during 1930–1950, but started to decline in the early 1980s. It has since almost disappeared as a breeder and migrant in the Karelia and Leningrad regions (*vide* N.V. Lapshin, G.A. Noskov & T.A. Rymkevich). It has become rare or threatened elsewhere, perhaps even in the greater Moscow region where small numbers are sporadic. The Ortolan Bunting is classified in categories 2–4 in the Red List of threatened birds in Eastern Fennoscandia (1998) and in most parts of the northwestern and central Russia: Ryazan (2001), Leningrad, Tula and Tver (2002), Yaroslavl (2004), Vologda and Kaluga (2006), Moscow (2008), Kostroma (2009), Kaliningrad (2010), Vladimir, etc. (*vide* V. V. Romanov).

Overall in southern Russia, from Rostov and Volgograd southwards to Dagestan, the current breeding population is estimated at 1–3 million pairs, representing a decline of 10–20% in the last

ten years. The population in the rest of European Russia was estimated at 1.0–1.3 million pairs in 2012, localized in a southern belt of steppe habitats ranging from Belgorod to Orenburg. In this area, the species is considered in decline too. Therefore, a total of 2.0–4.3 million pairs are estimated to breed in Russia, but largely located in southern districts. Alexander Mischenko, Viktor Belik and other Russian colleagues (BirdLife International 2015) estimate that the number of Ortolan Buntings breeding in European Russia has decreased by 15–30% since 2000.

Serbia, Montenegro and Kosovo

BirdLife International (2004) reported 4,500–6,500 pairs for the former ‘Serbia’, which now comprises three countries, for which separate estimates for 2004 have been calculated (Puzović *et al.* 2003). Using data for the period 1998–2003, the population size could be divided into 500–1,000 pairs in Kosovo, 400–800 pairs in Montenegro and 3,500–4,500 pairs in Serbia. Recent estimates for 2014 amount to 350–700 pairs in Kosovo, 400–800 pairs in Montenegro, and 26,000–42,000 pairs in Serbia. In this context, it is difficult to infer population trends, as former estimates were certainly underestimates, although the Bird Protection and Study Society of Serbia (in litt. to BirdLife International) reported a recent increase in breeding numbers (by c. 10%), probably due to a reduction in agricultural land use and associated pressures.

Spain

The population is now considered to comprise 180,500–365,000 pairs and the species is reported to have colonized many post-fire Mediterranean areas, although overall a slight decrease was reported (–13% for 1998–2012; BirdLife International 2015), even if the population indices reveals strong fluctuations (see http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/escribano_hortelano_tcm7-219856.pdf). Trends can vary regionally, and in Catalonia, the SOCC (Seguiment d’Ocells Comuns a Catalunya) reports an overall decrease of –54% from 2002 to 2014 (<http://www.sioc.cat/fitxa.php?sci=0&sp=EMBHOR>).

Sweden

Recent estimates give 2,600–5,000 (probably 4,000) pairs in 2012, i.e. within the range of the previous estimate of 2,000–7,000 pairs (in 2000), although the species is considered to have declined nationally by c. 38% (for results of the Swedish national breeding bird survey see <http://www.fageltaxering.lu.se/node/35785>). The occupied range in Sweden has decreased every year since 2000. The species is listed as Vulnerable on the national Red List (ArtDatabanken 2015).

Switzerland

A lone singing male was detected in spring 2014, and again intermittently in 2015. As the national population was estimated at 100 to 150 pairs in 2002, the species is listed as Critically Endangered on the Swiss national Red List (Keller *et al.* 2010).

Turkey

BirdLife International (2004) reported 3–10 million pairs in Turkey in 2001, which represented c. 60% of the total European population. In an earlier review, Tucker & Heath (1994) reported even wider limits of 1–10 million pairs, based on discussion with observers active in the country in the late 1980s/early 1990s. Kirwan *et al.* (2008) reported that the species is a widespread and common summer visitor, with apparently stable populations, mainly breeding in uplands between 750 m and 2,600 m (exceptionally 3,300 m in the extreme east), more locally at lower altitudes in western and northern coastal regions. The species is completely absent as a breeder from large parts of central and western Turkey, and is local in Thrace (European Turkey). In some suitable areas, its altitudinal range can be much more restricted. For example on Uludağ, in western Turkey, the species is a common breeder between 300 and 1,200 m, but does not occur at higher elevations (Jetz 1995). Unfortunately, both qualitative and quantitative data on the species’ density in Turkey are still extremely scarce, especially at sites within the core range. The largest and most robust dataset (still lacking in density information) that we possess is for south-east Anatolia, an area of 75,358 km², or almost 10% of the Turkish landmass. Here, bird surveys were conducted in 657 squares, or 81.5% of the region, in 2001–2003 (Welch 2004). The survey recorded Ortolan Bunting in 52 of the

657 squares, widely scattered across the region, or 7.9% of all surveyed localities. However, breeding was not confirmed in any squares and was considered to be probable in just 17 squares, or c. 2.5% of all surveyed areas. Records in many other areas often involved migrants. Nevertheless, the species was observed in c. 50% of the 30 key areas for biodiversity (not only birds) identified during the project. In far eastern Turkey, the range of Ortolan Bunting overlaps with that of Grey-necked Bunting (*Emberiza buchanani*), whose population in Turkey is estimated by BirdLife International (2004) at 6,000–18,000 pairs. In this region, Ortolan is either replaced by Grey-necked, or occurs at lower densities (Kirwan *et al.* 2008). In 1993, GMK surveyed (using 1 km-long line transects) four low-elevation localities with suitable habitat in this region of overlap, recording Grey-necked at all four, but Ortolan at just one, where its numbers were c. 25% lower than Grey-necked. The Ortolan Bunting is generally mapped (in field guides and handbooks) as present at all of these areas in eastern and south-eastern Anatolia, despite being absent locally from many apparently suitable areas. As c. 15–20% of the country constitutes wholly unsuitable habitat for Ortolan Bunting (based on the map in Kirwan *et al.* 2008, all in western, south-western, northern and central Turkey) and Turkey's total land area is 779,452 km², this means that a minimum of 117,000 km² of the country might completely lack the species. In other words, if 10,000,000 pairs breed in Turkey, their density is > 15 pairs per km², or more than 4.5 pairs per km², if the lower limit of the BirdLife estimate was to be applied. Given that surveys (cited above) from parts of Turkey where the species is thought to be generally common demonstrate widespread absence at the local scale, these figures are, at least on the basis of the available evidence, far too optimistic. As the range size of Grey-necked Bunting in Turkey is perhaps just 5–10% of that of Ortolan Bunting and the two species probably occur at generally similar densities (albeit perhaps locally higher in Grey-necked), if the upper limit of the BirdLife estimate for the Grey-necked was correct and was extrapolated to the range of Ortolan Bunting, then the population of Ortolan might be no more than 360,000 pairs. Further anecdotal evidence of the species' true abundance in Turkey comes from Cyprus, where the species does not

breed, but recent estimates (based on data collected between 2003 and 2013) suggest that Ortolan Bunting is only the 45th most abundant passage migrant, with a total of 152 records involving 550 birds (Richardson 2014).

Without robust data, including specific density estimates, from more areas across the species' range in Turkey, however, it is impossible to say more than the BirdLife International (2004) upper limit of population appears likely to be an overestimate by a factor of ten. For now, we suggest that a population of 500,000 to 1,000,000 pairs is a much more reasonable estimate, and even this could be too high. This represents a reduction of 87%, which should be considered as a re-estimation of the population size, not an attested population decrease.

3.2. European population sizes and trends

According to these updates, we can propose a new estimated European population size for the Ortolan Bunting, by summing the most recent national population sizes summarized in Table 1 (taking values published by BirdLife International in 2004 where no updates are available). The result of this exercise is that approximately 3,319,000 to 7,057,000 pairs of Ortolan Bunting are estimated to breed in Europe in the period 2012–2014, compared to 5,185,000 to 16,240,000 reported in 2002 (BirdLife International 2004). As this difference is partly due to earlier overestimates, it is safer to exclude Turkey (unrealistic, inflated estimates in the past) to obtain a more realistic trend estimate between these two dates, and to consider cautiously countries for which we have no estimate for either the early 2000s or the early 2010s (i.e. Andorra, Azerbaijan, Bosnia-Herzegovina, Georgia, Ukraine). For all other countries with recent reliable information, a comparison of the geometric means of the upper and lower values of national population range sizes does not reveal the decline reported by experts, probably because earlier estimates were less precise. The case of Russia illustrates this well: the population size changed from 1.5–5 million to 2–4.3 million pairs, with a trend of geometric means of +7%, while all Russian experts agree upon an overall decline of 15–30% in

numbers, with no region where the species might have increased in numbers in the 2000s, but also regions where the species has almost disappeared.

Overall, within the 39 countries listed in Table 1, the breeding populations of Ortolan Bunting have unknown trends in 15 countries, are increasing in 2 countries (Germany and Serbia), stable or fluctuating numbers in 6 countries, and decreasing in 16 countries, including probable recent extinctions in Hungary, Slovakia and the Netherlands, plus Belgium, where the extinction is confirmed, as well as likely extinction in Switzerland. Nearly 40% of the countries have no monitoring data to permit estimation of a population trend for the species, while most long-lasting or recent declines were detected due to general breeding bird surveys (France, Finland, Sweden) or dedicated monitoring of the species in some strongholds (Russia). This highlights how important good national monitoring data are to monitor the changes of such species across Europe.

The trend in breeding numbers is however spatially variable. Some southern countries have stable, fluctuating or increasing populations (Serbia, Greece, Bulgaria and possibly Turkey), almost all western and northern European populations are declining dramatically (Fennoscandia, Poland, Baltic states, France), while eastern populations, including Belarus, Ukraine and the Russian strongholds of the species, have faced important declines during the last decade. If we divide the 39 European countries into two groups according to their latitude (with a split at around 45–46°N; see last column of Table 1 for the classification of each country with a known trend within a group), it appears that the trends in breeding numbers differ between northern and southern countries, with more declines in the north (14 countries with declining populations compared to 1 increasing/stable/fluctuating in the northern group; 3 declining compared to 6 stable/fluctuating/increasing in the southern group; Fisher's exact test, $P = 0.0037$). There are more southern countries with unknown trends, because of missing or incomplete data. However, the quality of the data used to estimate the reported trends (as poor, medium or good) is the same irrespective of the direction of the trend (negative, or not negative e.g. stable, positive or fluctuating; Fisher's exact test, $P = 0.15$).

The reasons for such a strong decline in some northern countries are not clear, but probably involve multiple factors. As reasons for declines in the species, Menz & Arlettaz (2012) mentioned habitat loss, climate change on the breeding grounds, altered population structure and dynamics, hunting on migration, and environmental changes in the wintering areas. Published studies show that factors on the breeding grounds may have had a negative effect on populations, especially the loss of small-scale environmental heterogeneity in farmland landscapes (Vepsäläinen *et al.* 2005, 2007). However, the Ortolan Bunting has also decreased in areas where major changes have not occurred, e.g. in Finland and Sweden. This fact and occasional population crashes (e.g. –20% in 2006–2007 in Finland) makes it plausible that the major drivers of the decline are occurring along the migration flyway(s) or on the wintering grounds, including anthropogenic and climate change-driven habitat deterioration. Northern and southern breeding populations certainly face different changes in their habitats and environmental conditions, as ongoing land use and climatic changes could have different impacts on birds in southern and northern Europe (Barbet-Massin *et al.* 2012, Thuiller *et al.* 2014). Northern and southern populations might also have different migration routes and wintering grounds, and thus face different pressures along their migration flyways, as might do populations using the eastern or the western flyways. Future research that attempts to identify which populations use which flyways, and their respective wintering areas, could shed new light on the varying fates of European breeding populations. Finally, many breeding populations have become small and isolated, often with a biased sex ratio because of a lack of females, so that there are few management options that may help recovery. In Norway, a long-term individual-based monitoring of breeding populations revealed that the decline was caused by a normal behaviour of female dispersal, and not by poor breeding success or low survival (Dale 2009). Natal dispersal is higher in females (Dale 2001), while such a breeding dispersal might be maladaptive in the context of habitat fragmentation and population isolation (no close sites with displaying males), and could amplify the ongoing declines.

3.3. Conclusion

Currently, the Ortolan Bunting is evaluated as Least Concern (with extinction) on the IUCN Red List (BirdLife International 2015), because the species has a large range and a large population size. While a population decline is recognized, this is not considered sufficiently rapid to reach the thresholds for Vulnerable status. The recent information gathered for Article 12 reporting and for this paper suggests strong ongoing declines, at least in northern and eastern countries. Therefore the regional status of the species could be revisited, based on direct observations and an index of abundance appropriate to the taxon (IUCN 2012). In order to complete this exercise and permit the species' global status to be re-evaluated, equivalent population data are also required for the rest of the breeding range in Central Asia and the Middle East. The same is needed also in European countries where the trend is currently reported as unknown, highlighting the importance of operating robust national monitoring schemes to efficiently monitor changes in bird numbers across a species' range. All this calls for urgent research that provides the necessary evidence-base about species decline across Europe so as to prompt proper conservation action.

Acknowledgements. The continent-wide study of the Ortolan's migration strategy, whose scientific committee is publishing this report, is funded by the Fédération Départementale des Chasseurs des Landes, Conseil Général des Landes, Conseil Régional d'Aquitaine, Ministère de l'Ecologie et Du Développement Durable, Association Départementale des Chasses Traditionnelles de la Matole, Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN Paris) and the CNRS. It is scientifically supervised by the MNHN and the Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS). The committee is grateful to Ian Burfield (BirdLife International) for access to recent estimates obtained for the European Red List of Birds before its publication. We thank Johan Ekroos, Henning Heldbjerg and an anonymous referee for comments on an earlier version of the manuscript.

Peltosirkun kannankoot ja -muutokset Euroopassa

Peltosirkku on harvinaistunut monin paikoin Euroopassa, minkä vuoksi on tärkeää saada ajan-

tasaista tietoa lajin kannankoosta ja -muutoksista mahdollisimman laajasti lajin esiintymisalueelta. Koostimme tähän artikkeliin päivitettyt arviot peltosirkun kansallisista kannankooista ja -muutoksista. Nämä perustuvat peltosirkun mantereenaajuisen muuttostrategiatutkimuksen yhteydessä kerättyyn tietoon sekä BirdLife Internationalin julkaisemiin katsauksiin.

Aiemman, vuosien 1999–2002, arvion mukaan peltosirkun kannan esitettiin olleen 5,2–16 miljoonaa paria Euroopan, Euroopan puoleisen Venäjän, Kaukasian ja Turkin kattamalla alueella. Suurimpien populaatioiden esitettiin tuolloin olevan Turkissa (3–10 miljoonaa paria) ja Venäjällä (1,5–5,0 miljoonaa paria). Nyt päivitettyjen tulosten mukaan alueen kokonaisparimäärä arvioitiin vuosina 2012–2014 vuosikymmenen takaiseen parimääräarvioon verrattuna n. 50 % pienemmäksi (3,3–7,1 miljoonaa paria). Vähenneminen johtuu osittain aiemmasta Turkin populaatiokoon yliarviosta, sillä nykyinen arvio Turkin populaatiokoolle on vain 0,5–1,0 miljoonaa paria. Venäjän Euroopan puoleisen osan kannan arvioidaan olevan yhä suuri käsittäen 2,0–4,3 miljoonaa paria, vaikka kanta on siellä vähentynyt 15–30 % vuodesta 2000.

Viimeisen n. kymmenen vuoden (keskimäärin vuodesta 2000 vuoteen 2012) kannanmuutos 39 maassa osoitti, että peltosirkun kanta väheni 16 maassa sisältäen neljä maata, joista laji on äskettäin kuollut sukupuuttoon (Belgia, Unkari, Slovakia ja Alankomaat). Laji runsastui kahdessa maassa (Saksa ja Serbia), kuudessa maassa kannankehitys oli vakaa tai vaihteleva ilman selvää pitkäaikaismuutosta, ja 15 maan osalta kannanmuutosta ei oltu arvioitu. Peltosirkun suojelutilanne on erityisen huolestuttava Pohjois-Euroopassa, missä 15 arvioidusta maasta 14:ssä pesimäkannat ovat vähentyneet.

References

- ArtDatabanken 2015: Rödlistade arter i Sverige 2015. — ArtDatabanken SLU, Uppsala. Accessed at <http://www.artdatabanken.se/media/2013/hela-boken.pdf>, page 83.
- Barbet-Massin, M., Thuiller, W. & Jiguet, F. 2012: The fate of European breeding birds under climate, land-use and dispersal scenarios. — *Global Change Biology* 18: 881–890.

- Belik, V.P. 2000: Birds of the steppe part of the Don river basin: Formation of birds fauna, its anthropogenic transformation and some conservation problems. — Rostov-on-Don: Publishing house of the Rostov State Pedagogical University. (In Russian)
- BirdLife International 2004: Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status. — BirdLife Conservation Series N° 12. BirdLife International, Cambridge, UK.
- BirdLife International 2015: Species factsheet: *Emberiza hortulana*. — Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 25/11/2015.
- Dale, S. 2001: Female-biased dispersal, low female recruitment, unpaired males, and the extinction of small and isolated bird populations. — *Oikos* 92: 344–356.
- Dale, S. 2009: Diagnosing causes of population decline of ortolan buntings in Norway: importance of dispersal and local patch dynamics. — In *Ökologie und Schutz des Ortolans (Emberiza hortulana) in Europa – IV. Internationales Ortolan-Symposium* (ed. Bernardy, P.): 29–33. Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen 45.
- Donald, P.F., Green, R.E. & Heath, M.F. 2001: Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. — *Proceedings of the Royal Society B* 268: 25–29.
- Dürr, T. & Ryslavy, T. 2009: Zur Bestandssituation des Ortolans in Brandenburg. — In *Ökologie und Schutz des Ortolans in Europa – IV. Internationales Ortolan-Symposium* (ed. Bernardy, P.): 13. Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen 45.
- Elts, J., Leito, A., Leivits, A., Luigujõe, L., Mägi, E., Nellis, R., Nellis, R., Ots, M. & Pehlak, H. 2013: Status and numbers of Estonian birds, 2008–2012. — *Hirundo* 26: 80–112. (In Estonian with English summary)
- European Topic Centre on Biological Diversity (ETC-BD) 2015: — Downloaded from <http://bd.eionet.europa.eu/article12/summary?period=1&subject=A379> on 27/01/2015.
- Gedeon, K., Grüneberg, C., Mitschke, A., Sudfeldt, C., Eikhorst, W., Fischer, S., Flade, M., Frick, S., Geiersberger, I., Koop, B., Kramer, M., Krüger, T., Roth, N., Ryslavy, T., Stübing, S., Sudmann, S.R., Steffens, R., Vökler, F. & Witt, K. 2014: Atlas Deutscher Brutvogelarten. Atlas of German Breeding Birds. — Stiftung Vogelmonitoring Deutschland und Dachverband Deutscher Avifaunisten, Münster, Germany.
- Goławski, A. & Dombrowski, A. 2002: Habitat use of yellowhammers *Emberiza citrinella*, ortolan buntings *E. hortulana*, and corn buntings *Miliaria calandra* in farmland of east-central Poland. — *Ornis Fennica* 79: 164–172.
- Issa, N. & Muller, Y. (coord.) 2015: Atlas des Oiseaux de France. — Delachaux & Niestlé, Paris, France.
- IUCN 2012: IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition. — Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN.
- Jetz, W. 1995: Birds of Turkey 11: Uludağ. — Kasperek Verlag, Heidelberg.
- Jiguet, F., Gonzalez, D., Andrade, C. & Fontaine, B. 2016: STOC et SHOC, les programmes de suivi des oiseaux communs au Muséum par les ornithologues : quelles nouvelles ? — *Ornithos* (in press)
- Kålås, J.A., Dale, S., Gjershaug, J.O., Husby, M., Lislvand, T., Strann, K.-B. & Strøm, H. 2015: Fugler (Aves). Norsk rødliste for arter 2015. — Artsdatabanken, Norge.
- Keller, V., Gerber, A., Schmid, H., Volet, B. & Zbinden, N. 2010: Liste rouge oiseaux nicheurs. Espèces menacées en Suisse, état 2010. Office fédéral de l'environnement, Berne, et Station ornithologique suisse, Sempach. — *L'environnement pratique* n° 1019.
- Kirwan, G.M., Boyla, K., Castell, P., Demirci, B., Özen, M., Welch, H. & Marlow, T. 2008: The birds of Turkey: the distribution, taxonomy and breeding of Turkish birds. — Christopher Helm, London.
- Kosicki, J.Z. & Chyltracki, P. 2012: Habitat selection of the Ortolan Bunting *Emberiza hortulana* in Poland: predictions from large-scale habitat elements. — *Ecological Research* 27: 347–350.
- Menz, M.H.M. & Arlettaz, R. 2012: The precipitous decline of the ortolan bunting *Emberiza hortulana*: time to build on scientific evidence to inform conservation management. — *Oryx* 46: 122–129.
- Puzović, S., Simić, D., Saveljić, D., Gergelj, J., Tucakov, M., Stojnić, N., Hulo, I., Ham, I., Vizi, O., Šćiban, M., Ružić, M., Vučanović, M. & Jovanović, T. 2003: Birds of Serbia and Montenegro – breeding population estimates and trends: 1990–2002. — *Ciconia* 12: 35–120.
- Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (coord.) 2010: Suomen lajien uhanalaisuus — The Red List of Finnish Species, page 329. Accessed at: http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Erillisjulkaisut/Suomen_lajien_uhanalaisuus_Punainen_kir%284709%29
- Revaz, E., Posse, B., Gerber, A., Sierro, A. & Arlettaz, R. 2005: Quel avenir pour le Bruant ortolan *Emberiza hortulana* en Suisse? — *Nos Oiseaux* 52: 67–82.
- Richardson, C. 2014: The status, frequency and abundance of passerine passage migrants and seasonal visitors in Cyprus 2003–2013. — *Sandgrouse* 36: 197–236.
- Selstam, G., Sondell, J. & Olsson, P. 2015: Wintering area and migration routes for Ortolan Buntings *Emberiza hortulana* from Sweden determined with light-geologgers. — *Ornis Svecica* 25: 3–14.
- Thuiller, W., Pironon, S., Psomas, A., Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Lavergne, S., Pearson, P.B., Renaud, J., Zupan, L. & Zimmermann, N.E. 2014: The European functional tree of bird life in face of global change. — *Nature Communications* 5: 3118, DOI: 10.1038/ncomms4118
- Tiainen, J., Mikkola-Roos, M., Below, A., Jukarainen, A., Lehtikoinen, A., Lehtiniemi, T., Pessa, J., Rajasärkkä, A., Rintala, J., Sirkiä, P. & Valkama, J. 2016: Suomen

- lintujen uhanalaisuus 2015 – The 2015 Red List of Finnish Bird Species. — Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. 49 pages.
- Tucker, G.M. & Heath, M.F. 1994: Birds in Europe: their conservation status. — BirdLife International, Cambridge, UK.
- Väisänen, R.A. & Lehikoinen, A. 2013: Suomen maalinuston pesimäkannan vaihtelut vuosina 1975–2012. — Linnut vuosikirja 2013: 62–81.
- Vepsäläinen, V., Pakkala, T., Piha, M. & Tiainen, J. 2005: Population crash of the ortolan bunting *Emberiza hortulana* in agricultural landscapes of southern Finland. — Annales Zoologici Fennici 42: 91–107.
- Vepsäläinen, V., Pakkala, T., Piha, M. & Tiainen, J. 2007: The importance of breeding groups for territory occupancy in a declining population of a farmland passerine bird. — Annales Zoologici Fennici 44: 8–19.
- Vickery, J.A., Tallowin, J.R., Feber, R.E., Asteraki, E.J., Atkinson, P.W., Fuller, R.J. & Brown, V.K. 2001: The management of lowland neutral grassland in Britain: effects of agricultural practices on birds and their food resources. — Journal of Applied Ecology 38: 647–664.
- Welch, H.J. (ed.) 2004: GAP Biodiversity Research Project 2001–2003 final report. — Doğal Hayatı Koruma Derneği, Istanbul.