

Flux migratoire de quatre espèces de passereaux migrateurs trans-sahariens
au Cap Corse : influence des conditions météorologiques locales et
tendances à long terme



Pouillot fitis, *Phylloscopus trochilus*



Pouillot siffleur, *Phylloscopus sibilatrix*



Fauvette grisette, *Sylvia communis*



Fauvette des jardins, *Sylvia borin*

Marianne Mugabo

Mémoire corrigé par Luc Madec et soutenu le 21 juin 2006

Stage effectué à l'Unité de Conservation des Espèces, Restauration et Suivi des Populations

UMR 5173 MNHN/CNRS/P6,

du 3 Avril au 15 juin 2006,

sous la direction de Pierre-Yves Henry



Remerciements

Un grand merci à Pierre-Yves pour ses conseils, sa pédagogie et sa disponibilité malgré un emploi du temps plus que chargé ! Merci à Romain pour ses tuyaux sur les GAMs et les corrections de dernières minutes.

Je tiens également à remercier Denis Couvet et toute l'équipe de m'avoir accueillie pour ces deux mois et demi de stage.

Merci à tous les stagiaires et thésards de la salle du fond pour les conseils, les coups de mains et le soutien pendant la rédaction du rapport.

Un grand merci à Gilles qui m'a aidée à résoudre les problèmes rencontrés lors de la préparation des données et surtout qui m'a donné l'occasion de passer 10 jours à la station de suivi de Barcaggio. Je me suis vraiment éclatée pendant ces 10 jours malgré les réveils à 5h et le manque d'oiseaux. Merci pour les conseils, pour ta super bonne cuisine et pour m'avoir fait goûter au Cap Corse® (je vais être obligée de revenir en Corse pour me réapprovisionner !). Merci Arnaud pour tes blagues de haut niveau, pour tes super photos (toujours à notre avantage...), pour tes arrosages intempestifs et pour ta bonne humeur. Merci Cécile pour tes conseils sur le baguage, le démaillage, le montage des filets... Merci Pietro pour m'avoir fait partager tes connaissances quasi illimitées sur les oiseaux et pour tout le reste. Merci à tous les autres avec qui j'ai partagé ce super séjour. En bref, je ne suis pas prête d'oublier ces 10 jours qui m'ont suffi pour devenir accro au baguage et m'ont permis d'oublier tous mes soucis. J'espère vraiment pouvoir revenir l'année prochaine !

Merci à Pierre et François pour m'avoir proposé de participer à une session de STOC-CMR à Fontainebleau. Maintenant je suis experte (enfin presque) en montage/démontage des filets et en nœuds pour tenir les haubans à défaut d'être une spécialiste du baguage et de la reconnaissance des oiseaux !

Merci à ma mère pour avoir supporté tous mes coups de fils, pour les corrections des fautes d'orthographe (d'ailleurs y'a intérêt à plus y'en avoir !) et pour tout le reste : heureusement que tu es là !

Lucie, mille mercis pour m'avoir remonté le moral un nombre incalculable de fois (mais bon heureusement c'était réciproque !), pour les coups de gueule et les coups de cœur (je sais je t'ai un peu plagié), pour le super week-end passé à Lyon, ...

Merci également à Cléa pour nos sorties ciné, resto et autres, indispensables pour me changer les idées.

Merci Gaëlle pour m'avoir accueillie chez toi le temps d'un week-end bien sympa ! Et pour finir, merci à tous les participants du forum et notamment à Thomas, son créateur, pour les conseils, les débats cinématographiques passionnés, ... Tous vos mails m'ont bien requinquée après des journées interminables passées devant mon ordinateur.

Sommaire

I/ Introduction.....	1
II/ Matériel et méthodes	2
1) Site d'étude.....	2
2) Protocole de suivi	3
3) Variables météorologiques	3
a. Données brutes	3
b. Variables climatiques expliquant les variations inter-journalières des effectifs	3
4) Analyses des données.....	5
a. Modélisation des variations inter-journalières des effectifs.....	5
<i>Phénologie intrinsèque de la migration</i>	<i>5</i>
<i>Influence des conditions climatiques.....</i>	<i>5</i>
<i>Influence des conditions climatiques des trois jours précédant la capture</i>	<i>6</i>
b. Modélisation des variations inter-annuelles des effectifs : recherche de tendances à long terme.....	6
III/ Résultats	7
1) Modélisation des variations inter-journalières des effectifs.....	7
a. Phénologie intrinsèque de la migration.....	7
b. Influence des conditions climatiques	8
<i>Détermination des meilleures variables explicatives.....</i>	<i>8</i>
<i>Influence des conditions climatiques des trois jours précédant la capture</i>	<i>9</i>
2) Modélisation des variations inter-annuelles des effectifs : recherche de tendances à long terme.....	11
a. Tendances linéaires	11
b. Tendances non-linéaires	11
IV/ Discussion.....	12
1) Variations inter-journalières des effectifs : influence des conditions climatiques..	12
2) Variations inter-annuelles des effectifs : tendances à long terme	15
Bibliographie.....	16
ANNEXE 1 : Présentation de la structure d'accueil	19
ANNEXE 2 : Bilan personnel du stage.....	20
ANNEXE 3 : Estimation des pentes pour chaque variable explicative	21

I/ Introduction

Au cours des 25 dernières années, les effectifs reproducteurs européens d'un certain nombre d'espèces d'oiseaux ont décliné [Thomas et *al.*, 2004 ; Gregory et *al.*, 2005]. Les espèces inféodées aux milieux agricoles présentent les déclinés les plus marqués [Gregory et *al.*, 2005] avec 13 des 15 espèces communes suivies par l'*European Bird Census Council* [EBCC, 2006] en déclin depuis 1980. Néanmoins, les effectifs reproducteurs de certaines espèces inféodées aux milieux forestiers et aux espaces verts en milieux urbains sont également concernées [Gregory et *al.*, 2005] : 20 espèces communes sur les 33 suivies par l'EBCC sont en déclin. Ce phénomène est notamment lié à la dégradation des habitats, induite principalement par l'intensification des pratiques agricoles [Thomas et *al.*, 2004 ; Gregory et *al.*, 2005] et au réchauffement climatique [Julliard et *al.*, 2004 ; Thomas et *al.*, 2004]. Toutefois, très peu d'estimations de tendances sont disponibles pour les espèces migratrices en dehors de leurs aires de reproduction, puisque peu de suivis sont effectués sur les sites de migration et sur les aires d'hivernage. Or, cela pourrait permettre d'améliorer la compréhension des mécanismes impliqués dans le déclin de ces espèces. Ainsi, le but de cette étude est de déterminer les tendances à long terme des effectifs de quatre espèces migratrices trans-sahariennes grâce à un suivi effectué sur un site de migration insulaire méditerranéen (au Cap Corse) de 1992 à 2005, puis de les comparer aux effectifs reproducteurs européens.

Les quatre espèces étudiées appartiennent à l'ordre des Passériformes et à la famille des Sylviidés : le Pouillot fitis *Phylloscopus trochilus* (code espèce : PHYLUS) ; le Pouillot siffleur *P. sibilatrix* (PHYSIB) ; la Fauvette grisette *Sylvia communis* (SYLCOM) et la Fauvette des jardins *S. borin* (SYLBOR). Leurs quartiers d'hivernage se situent en Afrique sub-saharienne [Cramp, 1992] et leurs aires de reproduction s'étendent sur toute l'Europe [Burfield et Van Bommel, 2004 ; Rubolini et *al.*, 2004]. La Fauvette grisette est inféodée aux milieux buissonnants ouverts (notamment en milieux agricoles), le Pouillot fitis et la Fauvette des jardins sont inféodés aux milieux buissonnants à forestiers, le Pouillot siffleur étant spécialiste des milieux forestiers [Gregory et *al.*, 2005 ; EBCC]. Ces espèces ont été choisies suivant trois critères: (1) un nombre d'individus capturés par an relativement élevé ; (2) des espèces proches afin que les comparaisons entre espèces soient peu confondues par d'éventuelles différences d'origine phylogénétique [Møller et Birkhead, 1992] (elles appartiennent à deux genres distincts d'une même famille [Cramp, 1992]) ; (3) les tendances des effectifs reproducteurs sont disponibles à l'échelle européenne [EBCC, 2006].

J'ai analysé les variations du flux migratoire (nombre d'individus capturés par jour = N) à

deux échelles temporelles : variations inter-journalières et inter-annuelles. Les variations inter-journalières du flux migratoire sont déterminées par quatre principaux facteurs : (1) la phénologie intrinsèque de la migration : au début et à la fin de la saison de migration, l'intensité du flux migratoire est plus faible qu'au milieu de la saison [Richardson, 1990 ; Erni et *al.*, 2002] ; (2) la pluie et (3) le vent [Alerstam, 1990 ; Erni et *al.*, 2002 et 2005 ; Schaub et *al.*, 2003], les autres variables météorologiques telles que la température et la pression atmosphérique n'ayant qu'une influence secondaire sur les fluctuations des effectifs migrateurs [Alerstam, 1990 ; Richardson, 1990 ; Erni et *al.*, 2002] ; (4) le délai de la migration induit par des conditions météorologiques défavorables : forte augmentation du flux migratoire dans les quelques jours qui suivent (p. ex. la pluie [Erni et *al.*, 2002] ; le vent [Battley, 1997]). J'ai donc évalué ces différents effets pour chacune des espèces étudiées afin d'identifier leurs réactions aux conditions météorologiques : d'après la théorie de la migration optimale [Richardson, 1990, Liechti et Bruderer, 1998], les oiseaux choisiraient les conditions climatiques les plus favorables pour migrer. Cela a permis de déterminer de quelle façon ces espèces utilisent le site de suivi : site de halte migratoire (séjour de plusieurs jours pour reconstituer leurs réserves énergétiques, entre périodes de migration active), site de transit (oiseaux en migration rampante, de proche en proche, présents lorsque les conditions sont favorables à la traversée de la mer Méditerranée) ou site d'accumulation (oiseaux en migration rampante s'accumulant sur le site lorsque les conditions ne leur permettent pas de quitter l'île).

Une fois le flux migratoire ajusté pour la phénologie intrinsèque de la migration et pour l'effet des conditions météorologiques locales, j'ai testé et estimé les tendances inter-annuelles linéaires et non-linéaires à long terme des effectifs migrateurs. Enfin, j'ai comparé ces tendances à celles estimées pour les effectifs reproducteurs. Ainsi, les effectifs migrateurs de fauvettes des jardins, fauvettes grisettes, pouillots fitis et pouillots siffleurs devraient respectivement être stables, en légère augmentation, en légère baisse et en fort déclin [EBCC, 2006].

II/ Matériel et méthodes

1) Site d'étude

Cette étude porte sur 14 années de suivi de la migration pré-nuptiale, du 16 avril au 15 mai 1992 à 2005, effectué à la station de baguage de Barcaggio. Cette station est située sur la commune d'Ersa, à l'extrémité nord du Cap Corse (E09°24', N43°00' ; Haute Corse, France). Les habitats dominants sont le maquis, des zones humides dulçaquicoles littorales (formations

lagunaires de phragmitaies et prés humides de jonçailles), une saulaie rivulaire et une ancienne oliveraie. Le maquis est à deux stades différents de succession : le maquis bas (1,50 à 3 m) à bruyères et arbousiers et le maquis élevé (3 à 10 m) avec quelques chênes. Cette diversité d'habitats en fait un site très favorable pour les passereaux migrateurs [Thibault, 1983].

Le site de Barcaggio est suivi depuis 1979 par les membres du Groupe Ornithologique Corse. Depuis 1991 cette station est également intégrée dans le programme international de recherche sur la migration printanière des oiseaux en Méditerranée occidentale « *Piccole Isole* » [Pilastro et al., 1998 ; Rubolini et al., 2004].

2) Protocole de suivi

La capture des oiseaux se fait à l'aide de filets japonais verticaux répartis dans les différents milieux qui composent le site, leur position variant peu d'une année à l'autre. Ils sont ouverts du lever du jour à la tombée de la nuit. Toutefois, la durée d'ouverture journalière pouvant varier suivant les conditions climatiques, j'ai dû ajuster les effectifs capturés à l'effort de capture, égal à la durée d'ouverture (en heures) multipliée par la longueur totale de filets ouverts (en mètres ; effort moyen = 3225,02 m.h ± 71,26 (erreur standard)). J'ai donc systématiquement intégré l'effort de capture (variable « effort ») dans les modèles expliquant les variations inter-journalières du flux migratoire.

Les données collectées sont archivées au Centre de Recherche sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (CRBPO). Ici, seules les données de flux migratoire par espèce ont été utilisées. Les individus capturés plusieurs fois au cours d'un même jour n'ont été comptés qu'une seule fois.

3) Variables météorologiques

a. Données brutes

Les données météorologiques des mois d'avril et de mai, de 1992 à 2005, proviennent de la station Météo France de l'aéroport de Bastia (E09°28'9, N42°32'9). Elles comprennent le volume des précipitations (en mm), la direction moyenne du vent (rose géographique) et la vitesse moyenne du vent (en Km.h⁻¹) quotidiens. Ces données sont manquantes du 2 au 15 mai 1998 et 2000.

b. Variables climatiques expliquant les variations inter-journalières des effectifs

Les effets des conditions climatiques ont été modélisés grâce à différentes variables météorologiques. Concernant l'effet de la pluie, soit le flux migratoire est expliqué par la quantité de pluie (plus le volume des pluies est important plus le flux migratoire est faible),

soit il est expliqué par des conditions météorologiques dépressionnaires ou anticyclonales (flux migratoire important quand il ne pleut pas et faible quand il pleut). Une variable continue (variable PluieQ) et une variable discrète (variable PluieCI) à deux classes - sans (volume < 2 mm) et avec pluie (volume ≥ 2 mm ; classes définies par Schaub et *al.*, 2003) - ont donc été utilisées. Le même raisonnement a été appliqué à la vitesse du vent : variable continue (variable Fvent en m.s⁻¹) et variable discrète (variable FventCI) à deux classes : vents modérés (vitesse < 6 m.s⁻¹), vents forts (vitesse > 6 m.s⁻¹ ; classes définies par Schaub et *al.*, 2003). L'effet de la direction du vent a également été évalué de deux façons : (1) sans *a priori* biologique, sur la base de 8 classes indépendantes (N, NE, E, SE, S, SO, O et NO ; les vents de direction x vont vers x) ; (2) en se basant sur la théorie de la migration optimale [Liechti et Bruderer, 1998] selon laquelle les oiseaux choisiraient préférentiellement les conditions de vent qui leur sont le plus favorable pour atteindre leurs aires de reproduction [Alerstam, 1990 ; Richardson, 1990 ; Erni et *al.*, 2002 et 2005 ; Schaub et *al.*, 2003]. En effet, selon leur direction, les vents sont plus ou moins favorables à la migration des oiseaux : les vents arrières aident les oiseaux à atteindre leur destination, les vents frontaux leurs sont défavorables, les vents latéraux étant faiblement favorables ou défavorables [Richardson, 1990 ; Erni et *al.*, 2002]. J'ai donc calculé la direction moyenne de destination des oiseaux migrant par le site de suivi : $d = 25^\circ \pm 9,7$ soit Nord-Nord-est, (utilisation des 16 recaptures d'oiseaux bagués en période de reproduction ou au cours de la même période de migration) ; avant de définir une variable regroupant ces trois classes de vent (variable Dvent : vents arrières = $d \pm 22,5^\circ$; vents frontaux = $157,5^\circ$ à $247,5^\circ$; vents latéraux = autres directions).

Suivant le même concept issu de la théorie de la migration optimale, Erni et *al.* (2002, 2005) ont défini une variable synthétisant les effets de la vitesse et de la direction du vent :

$$\text{gain} = s - \sqrt{(s^2 + w^2 - 2sw\cos(\alpha))}$$

Le gain tient compte de la vitesse du vent en m.s⁻¹ (w), de la vitesse moyenne de vol de l'oiseau (s = 12 m.s⁻¹ dans des conditions de vent calme [Erni et *al.*, 2002]), de la direction du vent et de la direction moyenne de destination des oiseaux (α = angle entre ces deux directions). Il définit ainsi la distance sur laquelle un oiseau est entraîné par rapport à sa destination, seulement sous l'effet du vent et dans un intervalle de temps fixe.

Le gain est négatif quand le vent éloigne l'oiseau de son but et positif quand il l'aide à atteindre son but. Cependant, la formule n'a pas de sens lorsque la vitesse d'un vent arrière est supérieure à la vitesse de vol de l'oiseau car elle considère que l'oiseau est entraîné plus loin que son but. Dans ces cas de figure, le gain est égal à la vitesse du vent arrière moins la valeur

absolue de sa composante latérale soit $|\alpha|$ (si la direction du vent n'est pas exactement égale à la direction de l'oiseau) [Erni et *al.*, 2005 et *in litt.*].

4) Analyses des données

Dans toutes les analyses, N , le nombre d'individus capturés par jour, est considéré comme suivant une distribution de Poisson [Erni et *al.*, 2002]. Les modèles utilisés sont donc de type régressions de Poisson (ou régressions log-linéaire multiples).

a. **Modélisation des variations inter-journalières des effectifs**

Phénologie intrinsèque de la migration

J'ai modélisé la phénologie intrinsèque de la migration par espèce à l'aide de modèles additifs généralisés ou GAMs (Generalized Additives Models). Ces modèles permettent de tester et d'estimer des patrons de variations lissés non-linéaires (ici grâce à la fonction de lissage « spline »), le nombre de degrés de liberté optimal pour le lissage étant déterminé lors de l'ajustement du modèle [Fewster et *al.*, 2000]. Ainsi, les estimations d'effectifs moyens capturés par jour lissés ont été obtenus en appliquant la fonction « spline » à la variable jour (modèle $N = s(\text{jour}) + \epsilon$), à partir des effectifs capturés par jour durant les 14 années de suivi.

L'évaluation du rôle des différentes variables météorologiques et l'estimation des tendances inter-annuelles ont également été effectuées à l'aide de GAMs afin de comparer les modèles ajustés pour la phénologie intrinsèque de la migration.

Influence des conditions climatiques

Le pouvoir explicatif des différentes variables météorologiques a été évalué par sélection de modèles sur la base du Critère d'Information d'Akaike (AIC ; [Anderson et *al.*, 2000 et 2001]). Le modèle corrigeant uniquement pour l'effet de la phénologie correspond au modèle nul. Contrairement aux tests de significativité, cet outil est adapté aux analyses exploratoires, c'est-à-dire ayant pour but de rechercher les variables explicatives les plus probables et non de tester des hypothèses [Anderson et *al.*, 2000 ; Fewster et *al.*, 2000]. Cette méthode permet de plus de comparer l'ajustement de modèles non-emboîtés (qui ont des paramètres différents ; p. ex. : variables de pluie et de vent).

Le modèle avec le plus faible AIC réalise le meilleur compromis entre l'ajustement du modèle aux données (quantifié par la déviance résiduelle) et la parcimonie (nombre de paramètres minimum) [Anderson et *al.*, 2000] : **AIC = déviance résiduelle + 2np** avec déviance résiduelle, une mesure de la variation de la variable dépendante non expliquée par le modèle, et np, le nombre de paramètres du modèle, soit l'ordonnée à l'origine plus le nombre de pentes prises en compte dans le modèle.

Néanmoins, l'AIC n'est pas conservatif lorsque les données sont surdispersées, c'est-à-dire lorsque le coefficient de surdispersion \hat{C} s'éloigne de 1 [Anderson et al., 2001] :

$$\hat{C} = \text{déviance résiduelle} / \text{degrés de liberté résiduels}$$

Celui-ci étant très supérieur à 1 pour les quatre espèces étudiées (\hat{C} moyen : Pouillot fitis = $8,62 \pm 0,02$, Pouillot siffleur = $5,00 \pm 0,01$, Fauvette grisette = $3,84 \pm 0,01$ et Fauvette des jardins = $3,24 \pm 0,02$), un AIC corrigé a été utilisé [Anderson et al., 2001]. Celui-ci rend la sélection du modèle le plus probable robuste par rapport à la surdispersion des données :

$$QAIC = (\text{déviance résiduelle} / \hat{C}) + 2np \quad (\text{utilisation du } \hat{C} \text{ du modèle avec l'AIC le plus faible parmi les modèles réalisés à partir du même jeu de données}).$$

Les modèles dont les QAIC diffèrent de moins de deux points sont considérés comme statistiquement équivalents [Anderson et al., 2000]. Pour l'identification des meilleurs modèles, j'ai d'abord évalué les variables une par une (modèles généraux) avant d'inclure les meilleures variables explicatives de chaque espèce dans un seul modèle (p. ex. : modèles PHYLUS). Ainsi, un effet est retenu comme influençant le flux migratoire lorsqu'il est présent dans les meilleurs modèles. J'ai ensuite appliqué le meilleur modèle d'une espèce aux trois autres espèces afin de vérifier qu'il n'existait pas un modèle commun aux quatre espèces.

Influence des conditions climatiques des trois jours précédant la capture

Les variables météorologiques peuvent agir sur le flux migratoire avec un certain délai. J'ai donc ajouté dans le meilleur modèle de chaque espèce, les variables météorologiques avec un délai de un (noté J-1), deux (J-2) et trois (J-3) jours. Puis, afin d'évaluer la réponse des oiseaux aux conditions météorologiques, j'ai calculé les pentes (notées β) des effets de chaque variable explicative sur le flux migratoire des quatre espèces étudiées.

b. Modélisation des variations inter-annuelles des effectifs : recherche de tendances à long terme

Après avoir identifié le meilleur modèle ajustant pour les effets de l'effort de capture, de la phénologie de la migration et des conditions météorologiques, j'ai testé l'existence de tendances inter-annuelles linéaires et non-linéaires des effectifs par des analyses de déviance (ANODEV : suit la loi « F » de Fisher).

Les tendances linéaires ont été testées et quantifiées en incluant dans le meilleur modèle la variable « année » comme une variable continue linéaire. Dans le cas de tendances linéaires significatives, la pente (notée β , correspondant au taux de croissance annuel) et son erreur standard ont été estimées et comparées aux estimations pour les effectifs reproducteurs

européens de 1990 à 2003 (l'EBCC fourni le taux de multiplication annuel soit $\exp(\text{taux de croissance annuel})$).

Les tendances non-linéaires ont été testées en incluant dans le meilleur modèle la variable continue linéaire « année », lissée. Pour illustrer le patron de variations inter-annuelles non-linéaires lissées, les résidus des modèles sans la variable « année » ont été calculés puis analysés à l'aide d'un GAM avec comme seule variable explicative la variable « année » lissée. Les prédictions de ce modèle et la précision d'estimation (erreur standard) ont été utilisées pour comparer le patron de variations inter-annuelles non-linéaires des effectifs migrateurs à celui des effectifs reproducteurs fournis par l'EBCC.

Les modélisations et les tests statistiques ont été réalisés avec le logiciel SPLUS2000 (Math Soft Inc, v 5.1.) sauf pour l'estimation des pentes qui ont été obtenues avec la fonction « gam » du logiciel R [Ithaca et Gentleman, 1996] version 2.2.1 (en ligne sur <http://www.r-project.org/>).

III/ Résultats

Cette étude inclue les captures de 3682 pouillots fitis, 1209 pouillots siffleurs, 1782 fauvettes grisettes et 1713 fauvettes des Jardins.

1) Modélisation des variations inter-journalières des effectifs

a. Phénologie intrinsèque de la migration

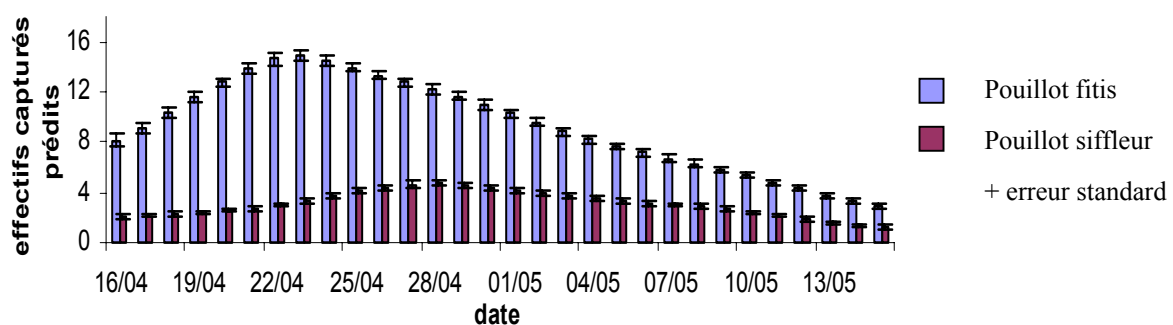


Fig. 1a : Phénologie intrinsèque de la migration du Pouillot fitis et du Pouillot siffleur

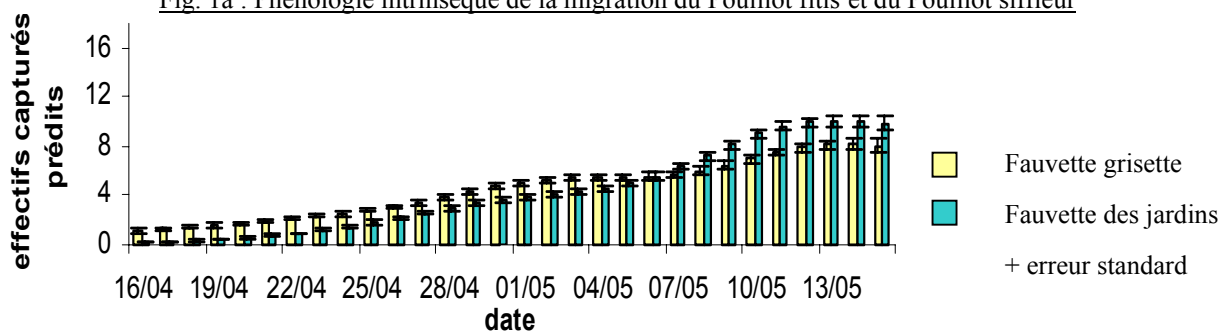


Fig. 1b : Phénologie intrinsèque de la migration de la Fauvette grisette et de la Fauvette des jardins

L'essentiel de la période de migration des deux espèces de pouillots est couverte par la période de suivi. Des passages précoces pourraient toutefois passer inaperçus (Fig. 1a).

La saison de migration de la Fauvette grisette et de la Fauvette des jardins débute respectivement un peu avant et en même temps que la période de suivi. Leur pic de migration a lieu en fin ou hors de la période de suivi (Fig. 1b).

b. Influence des conditions climatiques

Détermination des meilleures variables explicatives

Seuls les meilleurs modèles de chaque espèce sont présentés (Tab. 1) : un seul modèle est sélectionné chez le Pouillot siffleur (modèle 28), deux modèles sont équivalents chez le Pouillot fitis (modèles 20 et 22 : $\Delta QAIC_{22-20} = 1.12$) et chez la Fauvette grisette (modèles 29 et 16 : $\Delta QAIC_{16-29} = 1.18$) et trois sont équivalents chez la Fauvette des jardins (modèles 29, 5 et 32 : $\Delta QAIC_{5-29} = 1.48$; $\Delta QAIC_{32-29} = 1.53$; Tab. 1). Dans le cas des modèles équivalents, la similarité entre les espèces a été favorisée. Ainsi, les modèles incluant l'effet de la vitesse du vent ont été conservés : modèle 22 chez le Pouillots fitis et modèle 29 chez la Fauvette grisette (Tab. 1). Selon ce même principe, le même modèle que la Fauvette grisette a été conservé pour la Fauvette des jardins (Tab. 1).

La pluie influence les variations inter-journalières des effectifs des deux espèces de pouillots. L'effet de la quantité de pluie (PluieQ) est retenue pour le Pouillot fitis alors que c'est l'occurrence de pluie (PluieCl) qui est retenue pour le Pouillot siffleur (Tab. 1).

L'effet des deux variables définies sur la base de la théorie de la migration optimale (variables « Dvent » et « gain ») n'est retenu chez aucune des quatre espèces étudiées.

La vitesse du vent est influente pour les quatre espèces. Le Pouillot fitis et les deux espèces de fauvettes sont sensibles à la vitesse du vent en continu alors que le Pouillot siffleur répond aux grandes catégories de vents : vents modérés et vents forts (Tab. 1).

L'effet de la direction du vent scindée en 8 classes est retrouvé dans 6 des 7 modèles présentés (Tab. 1). Seul le flux migratoire du Pouillot fitis est influencé par des vents favorables : vents arrière de direction Nord-est. Le Pouillot siffleur et les deux espèces de fauvettes répondent à des vents défavorables : vents frontaux respectivement de direction Sud et Sud-ouest. Le flux migratoire des deux espèces de pouillots est influencé par certains vents latéraux : vents de direction Nord-ouest pour les deux espèces et vents de direction Est pour le Pouillot siffleur.

La part de déviance expliquée par le meilleur modèle reste relativement faible pour les

quatre espèces étudiées (PHYLUS = 13,70%, PHYSIB = 5,15%, SYLCOM = 14,18%, SYLBOR = 18,51%).

Influence des conditions climatiques des trois jours précédant la capture (Annexe 3)

Chez la Fauvette des jardins, aucun délai n'est retenu tandis que chez la Fauvette grise, l'effet des conditions méthodologiques se répercute jusqu'à deux jours après (modèle X). Chez le Pouillot fitis et le Pouillot siffleur, respectivement trois et quatre modèles sont équiprobables (Pouillot fitis : modèles XI, X et VI : $\Delta QAIC_{VI-X} = 0.56$, $\Delta QAIC_{VI-XI} = 1.33$; Pouillot siffleur : modèles X, VII, XI et IX : $\Delta QAIC_{XI-XI} = 0.25$, $\Delta QAIC_{IX-VII} = 1.29$, $\Delta QAIC_{IX-X} = 1.72$; Tab. 2). Le modèle X a été conservé car il est commun aux deux espèces de pouillots et à la Fauvette grise.

L'introduction d'un délai dans l'influence des variables météorologiques a amélioré la part de déviance expliquée pour les trois espèces concernées (PHYLUS : +3,86 %, PHYSIB : +10,63 %, et SYLCOM : +3,84 %).

L'effet de la pluie sur le flux migratoire du Pouillot fitis est négatif le jour de la capture ($\beta = -0.03$), positif le jour précédant ($\beta = 0.01$) et nul deux jours avant ($\beta = 0.00$) alors qu'il est positif pour les trois jours chez le Pouillot siffleur ($\beta_J = 0.27$, $\beta_{J-1} = 0.57$, $\beta_{J-2} = 0.22$).

La vitesse du vent affecte négativement le flux migratoire le jour de la capture pour les quatre espèces étudiées ($\beta_{PHYLUS} = -0.01$, $\beta_{PHYSIB} = -0.20$, $\beta_{SYLCOM} = -0.06$, $\beta_{SYLBOR} = -0.19$) et le jour précédant pour les deux espèces de pouillots ($\beta_{PHYLUS} = -0.01$, $\beta_{PHYSIB} = -0.42$, $\beta_{SYLCOM} = 0$). Par contre, elle affecte positivement le flux migratoire des deux espèces de pouillots et de la Fauvette grise deux jours avant la capture ($\beta_{PHYLUS} = 0.03$, $\beta_{PHYSIB} = 0.27$, $\beta_{SYLCOM} = 0.05$).

L'effet des vents de direction Nord-est est positif sur le flux migratoire du Pouillot fitis et de même amplitude les trois jours ($\beta_J = 0.34$, $\beta_{J-1} = 0.37$, $\beta_{J-2} = 0.31$). Les vents de direction Nord-ouest affectent négativement le flux migratoire des deux espèces de pouillots le jour de la capture et le jour précédant et positivement deux jours avant (PHYLUS : $\beta_J = -1.11$, $\beta_{J-1} = -0.32$, $\beta_{J-2} = 0.36$, PHYSIB : $\beta_J = -1.45$, $\beta_{J-1} = -0.82$, $\beta_{J-2} = 0.39$). L'effet des vents de direction Sud sur le flux migratoire du Pouillot siffleur est peu cohérent puisque positif le jour de la capture et deux jours avant mais négatif le jour précédant la capture ($\beta_J = 0.23$, $\beta_{J-1} = -0.15$, $\beta_{J-2} = 0.39$), alors que l'effet des vents de direction Est est négatif les trois jours ($\beta_J = -0.40$, $\beta_{J-1} = -0.26$, $\beta_{J-2} = -0.26$). L'effet des vents de direction Sud-ouest sur le flux migratoire de la Fauvette grise et de la Fauvette des jardins est respectivement positif pour les trois jours (SYLCOM : $\beta_J = 0.32$, $\beta_{J-1} = 0.51$, $\beta_{J-2} = 0.47$) et négatif le jour de la capture (SYLBOR : $\beta_J = -0.31$).

Tab. 1 : sélection des meilleurs modèles expliquant les fluctuations inter-journalières des effectifs :

N°	Modèle	variables explicatives	déviante résiduelle				nombre de paramètres				QAIC			
			PHYLUS	PHYSIB	SYLCOM	SYLBOR	PHYLUS	PHYSIB	SYLCOM	SYLBOR	PHYLUS	PHYSIB	SYLCOM	SYLBOR
0	Nul		3475.74	1818.95	1573.98	1324.63								
1	Général	Effort	3133.21	1818.47	1390.85	1198.20	2.01	2.00	2.02	2.01	375.98	378.36	372.76	401.53
5	Général	effort+Fvent	3117.00	1802.15	1372.42	1088.03	3.01	3.00	3.02	3.00	376.06	377.00	369.88	366.96
16	Général	effort+SO	3104.35	1816.67	1362.85	1195.19	3.01	3.00	3.02	3.01	374.56	379.99	367.34	402.53
20	PHYLUS	effort+NO+NE+PluieQ	3007.04				5.01				367.01			
22	PHYLUS	effort+NO+NE+PluieQ+Fvent	2999.64	1770.32	1354.60	1078.79	6.01	6.00	6.03	6.00	368.13	376.45	371.15	369.89
28	PHYSIB	effort+NO+S+E+FventCI+PluieCI	3030.60	1725.27	1368.22	1130.24	8.01	7.01	7.03	7.01	375.80	369.19	376.76	388.98
29	SYLCOM	effort+SO+Fvent	3094.62	1798.40	1350.84	1079.43	9.01	4.00	4.03	4.00	385.40	378.23	366.16	366.11
32	SYLBOR	effort+NE+Fvent				1084.04				4.00				367.64

Seuls les meilleurs modèles de chaque espèce, le modèle nul et le modèle ajustant pour l'effort de capture sont présentés. Tous prennent en compte la phénologie intrinsèque de la migration.

Le nombre de paramètres n'est pas entier du fait du nombre de degrés de liberté utilisés par le lissage dans les GAMs.

Les modèles finaux sont indiqués en gras.

Tab. 2 : sélection des meilleurs modèles incluant un délai de 1 à 3 jours dans l'effet des conditions climatiques sur le flux migratoire :

N°	Variables explicatives	déviante résiduelle				nombre de paramètres				QAIC			
		PHYLUS	PHYSIB	SYLCOM	SYLBOR	PHYLUS	PHYSIB	SYLCOM	SYLBOR	PHYLUS	PHYSIB	SYLCOM	SYLBOR
0		3430.82	1800.33	1556.23	1320.76								
I	Effort	3104.78	1799.74	1373.68	1193.93	2.01	2.00	2.02	2.01	383.71	409.57	375.51	394.24
II	Effort+J	2976.36	1708.63	1335.57	1075.92	6.01	7.01	4.02	4.00	376.01	399.05	369.21	359.65
III	effort+J-1	3033.11	1648.67	1329.44	1183.50	6.01	7.02	4.03	4.01	382.95	385.56	367.55	394.83
IV	effort+J-2	3055.45	1709.59	1340.31	1185.47	6.01	7.00	4.02	4.01	385.68	399.26	370.49	395.47
V	effort+J-3	3009.70	1750.13	1366.21	1184.05	6.01	7.00	4.02	4.01	380.10	408.40	377.49	395.00
VI	effort+J+J-1	2898.25	1592.18	1305.60	1072.79	10.01	12.02	6.03	6.00	374.46	382.84	365.11	362.63
VII	effort+J-1+J-2	2971.36	1562.62	1308.36	1168.70	10.01	12.02	6.03	6.01	383.40	376.18	365.86	393.99
VIII	effort+J-2+J-3	2970.93	1676.32	1338.24	1178.03	10.01	12.00	6.02	6.01	383.35	401.76	373.92	397.04
IX	effort+J-1+J-2+J-3	2887.36	1523.88	1306.85	1161.45	14.01	17.02	8.02	8.01	381.13	377.45	369.44	395.61
X	Effort+J+J-1+J-2	2828.28	1516.26	1283.58	1060.39	14.01	17.02	8.03	8.00	373.90	375.73	363.16	362.57
XI	effort+J+J-1+J-2+J-3	2756.54	1478.39	1283.00	1055.91	18.01	22.02	10.03	10.00	373.13	377.20	366.99	365.10

Tous les modèles testant à quel délai les variables météorologiques agissent sur les variations inter-journalières des effectifs sont présentés.

Le nombre de paramètres n'est pas entier du fait du nombre de degrés de liberté utilisés par le lissage dans les GAMs.

Les modèles finaux sont indiqués en gras.

2) Modélisation des variations inter-annuelles des effectifs : recherche de tendances à long terme

a. Tendances linéaires

Le flux migratoire du Pouillot siffleur, de la Fauvette grisette et de la Fauvette des jardins présentent des tendances inter-annuelles linéaires significatives (PHYSIB : $F_{1,01 ; 340,14} = 13,89$ et $P < 10^{-3}$, SYLCOM : $F_{1,01 ; 349,09} = 17,27$ et $P < 10^{-4}$, SYLBOR : $F_{1,00 ; 353,10} = 7,79$ et $P < 10^{-2}$) ; alors que les effectifs du Pouillot fitis sont stables (PHYLUS : $F_{1,00 ; 343,11} = 2,81$ et $P > 0,05$).

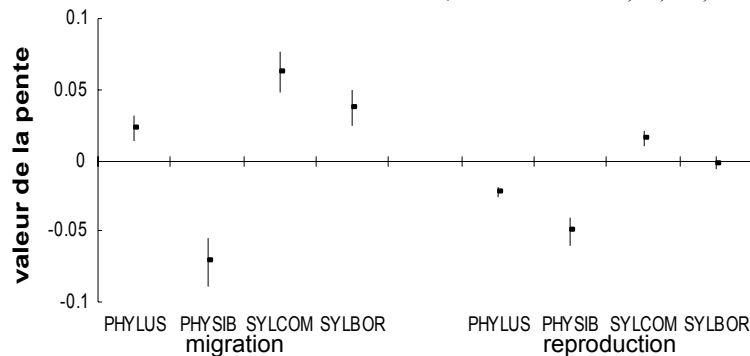


Fig. 2 : Pente et intervalle de confiance à 95% pour les tendances inter-annuelles linéaires des effectifs en migration et en reproduction

Les quatre espèces sont rangées dans le même ordre en migration et en reproduction, sur la base de la pente des tendances inter-annuelles, avec par ordre croissant : le Pouillot siffleur, le Pouillot fitis, la Fauvette des jardins et la Fauvette grisette (Fig. 2).

Les effectifs reproducteurs du Pouillot fitis ont faiblement décliné ($\beta_{\text{reproduction}} = -0,022$, $IC_{95} [-0,026 ; -0,019]$) tandis que les effectifs migrateurs sont restés stables (cf. test F ci-dessus) ou ont légèrement augmenté ($\beta_{\text{migration}} = 0,023$, $IC_{95} [0,014, 0,032]$; Fig. 2). Les effectifs migrateurs de passage au Cap Corse et les effectifs reproducteurs européens du Pouillot siffleur ont significativement décliné au cours de la période d'étude, le déclin étant du même ordre de grandeur ($\beta_{\text{migration}} = -0,072$, $IC_{95} [-0,089, -0,055]$; $\beta_{\text{reproduction}} = -0,050$, $IC_{95} [-0,060 ; -0,040]$; Fig. 2). Chez la Fauvette grisette, les effectifs migrateurs et reproducteurs ont significativement augmenté, la croissance étant plus élevée pour les effectifs migrateurs ($\beta_{\text{migration}} = 0,061$, $IC_{95} [0,047 ; 0,076]$; $\beta_{\text{reproduction}} = 0,015$, $IC_{95} [0,010 ; 0,021]$; Fig. 2). Enfin, chez la Fauvette des jardins, les effectifs migrateurs ont significativement augmenté au cours de la période d'étude tandis que les effectifs reproducteurs sont restés stables ($\beta_{\text{migration}} = 0,036$, $IC_{95} [-0,049 ; -0,024]$; $\beta_{\text{reproduction}} = -0,002$, $IC_{95} [-0,007 ; 0,003]$; Fig. 2).

b. Tendances non-linéaires

Les variations inter-annuelles non-linéaires des effectifs sont significatives chez les quatre espèces étudiées (PHYLUS : $F_{3,93 ; 340,18} = 4,30$ et $P < 10^{-2}$; PHYSIB : $F_{3,92 ; 337,24} = 9,91$ et $P < 10^{-6}$; SYLCOM : $F_{3,93 ; 346,17} = 6,17$ et $P < 10^{-4}$; SYLBOR : $F_{3,96 ; 350,15} = 5,42$ et $P < 10^{-3}$).

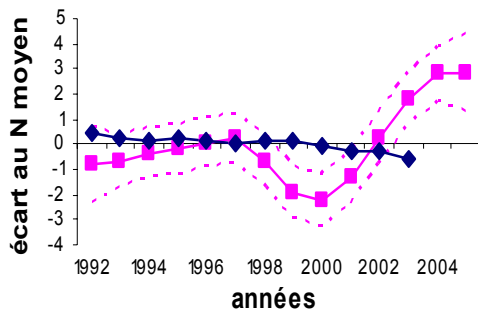


Fig. 3a : Pouillot fitis

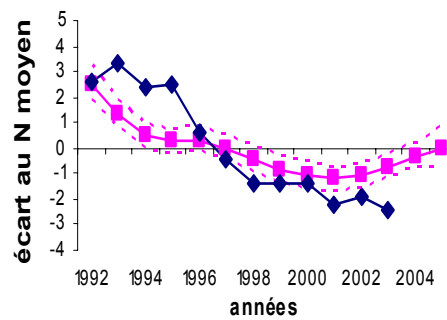


Fig. 3b : Pouillot siffleur

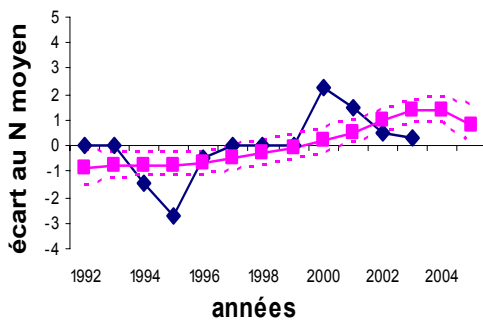


Fig. 3c : Fauvette grisette

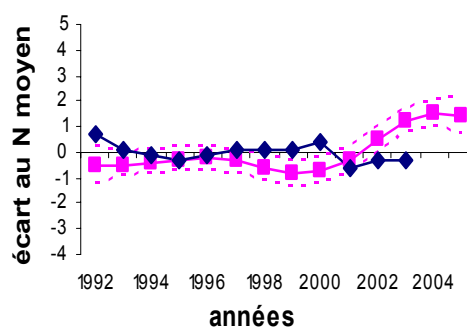


Fig. 3d : Fauvette des jardins

Fig. 3 : Tendances inter-annuelles non-linéaires à long terme des effectifs reproducteurs et migrateurs (+ erreur standard) des quatre espèces étudiées :

- migration : écarts au N moyen ajustés pour les effets de l'effort de capture, de la phénologie intrinsèque de la migration et des conditions météorologiques
- reproduction : écarts au N moyen ajustés uniquement pour l'effort de capture [EBCC, 2006].

Les effectifs migrateurs du Pouillot fitis étaient relativement stables jusqu'en 1997, diminuant ensuite jusqu'en 2000, augmentant enfin fortement de 2001 à 2005. En parallèle, ses effectifs reproducteurs ont décliné faiblement mais de manière continue (Fig. 3a). Les effectifs migrateurs du Pouillot siffleur ont fortement décliné de 1992 à 2001 puis ont commencé à augmenter à partir de 2002 alors que sur l'ensemble de cette période, ses effectifs reproducteurs ont fortement décliné (Fig. 3b). Les effectifs migrateurs de la Fauvette grisette ont augmenté de 1992 à 2003. Par contre, ses effectifs reproducteurs ont varié sans patron temporel évident (Fig. 3c). Les effectifs migrateurs de la Fauvette des jardins sont restés stables de 1992 à 2000, augmentant fortement à partir de 2001, alors que ses effectifs reproducteurs sont restés relativement stables au cours de cette période (Fig. 3d).

IV/ Discussion

1) Variations inter-journalières des effectifs : influence des conditions climatiques

Le gain par le vent et la variable « Dvent » composée des classes de vents arrière, frontaux et latéraux n'expliquent pas les variations inter-journalières du flux migratoire des quatre espèces étudiées. Ce résultat est surprenant car en désaccord avec les différentes études réalisées dans le cadre de la théorie de la migration optimale [Alerstam, 1990 ; Richardson, 1990 ; Liechti et Bruderer, 1998 ; Erni *et al.*, 2002 et 2005 ; Schaub *et al.*, 2003].

Le flux migratoire des quatre espèces est influencé négativement par la vitesse du vent. Par contre, les fauvettes et les pouillots se distinguent dans leur réponse à la direction du vent : les fauvettes répondent uniquement aux vents de direction Sud-ouest tandis que les pouillots sont sensibles à plusieurs directions de vent. De même, seuls les pouillots sont sensibles à la pluie. Ils ne répondent donc pas aux mêmes conditions météorologiques, ce qui indiquerait des stratégies et/ou des voies de migration différentes. Des différences sont également à noter à l'échelle de l'espèce. En effet, la Fauvette des jardins répond uniquement aux conditions climatiques du jour même, les autres espèces étant également sensibles aux conditions climatiques des deux jours précédents (en accord avec les résultats obtenus par Battley (1997) et Erni et *al.*(2002)). De plus, les vents frontaux de direction Sud-ouest n'influencent pas de la même façon les deux espèces de fauvettes : ils ont un effet négatif sur le flux migratoire de la Fauvette des jardins et positif sur celui de la Fauvette grisette. Les deux espèces de pouillots diffèrent dans leur réponse à la pluie, le Pouillot fitis étant sensible à la quantité de pluie et le Pouillot siffleur aux conditions dépressionnaires. Cependant, chez le Pouillot fitis, cet effet ne paraît pas très robuste, les valeurs de pente étant très faibles. Néanmoins, le volume et le nombre de jours de pluie étant très faible au printemps au Cap Corse (volume moyen de pluie par jour = 2.05 mm \pm 6.89 (écart type), nombre moyen de jour de pluie sur la période de suivi = 4.57 jours.an-1 \pm 2.65 (e.t.)), la portée générale des résultats obtenus sur l'effet de la pluie pourrait être limitée. Malgré cela, un important effet d'accumulation sur le site de suivi est observé pour le Pouillot siffleur lorsqu'il pleut. Concernant la direction du vent, le Pouillot fitis répond aux vents de direction Nord-est tandis que le Pouillot siffleur répond aux vents de direction Sud et Est. La réponse du Pouillot siffleur aux vents latéraux de direction Est (nombre d'individus capturé plus faible le jour même et les jours suivants) suggère que ces vents déplaceraient la voie de migration : des individus passant normalement par la Corse étant poussés vers l'Italie. Il existerait donc des stratégies et/ou des voies de migration sensiblement différentes entre les deux genres représentés mais également au sein d'un même genre.

Le fait que les variables « gain » et « Dvent » ne soient pas explicatives signifierait que les oiseaux de passage au site de suivi ne sont pas en migration active. De plus, la durée de séjour des oiseaux sur le site est très faible (durée moyenne entre la première et la dernière capture (pour les recaptures) : PHYLUS : 1,39 jours \pm 0,12, PHYSIB : 2,20 jours \pm 0,16, SYLCOM : 1,66 \pm 0,20 et SYLBOR : 1,55 jours \pm 0,15 ; résultats non présentés). Il ne constituerait donc pas un site de halte migratoire. Par ailleurs, plusieurs arguments désignent le site de suivi comme site de transit. En effet, la réponse de la Fauvette grisette et des deux espèces de

pouillots à la vitesse du vent suggère une accumulation des oiseaux en amont du site de suivi, lorsque les conditions sont défavorables, avec un flux migratoire moins important les jours venteux (l'inverse était attendu dans le cas d'un site d'accumulation) et plus élevé les jours suivants. Le même type de réponse est observé chez les pouillots pour les vents latéraux de direction Nord-ouest. De plus, la réponse du Pouillot fitis aux vents arrière de direction Nord-est (flux migratoire plus important le jour même et les jours suivants) suggère une présence des oiseaux sur le site lorsque les conditions sont favorables à la traversée de la Méditerranée. Cependant, la réponse du Pouillot siffleur aux conditions dépressionnaires irait plutôt dans le sens d'un site d'accumulation. De même, le flux migratoire de la Fauvette grisette est plus important les jours de vents de direction Sud-ouest et les jours suivants. Un déplacement de la voie de migration, des oiseaux passant normalement par l'Italie pouvant être poussés vers la voie de migration passant par la Corse par des vents de direction Sud-ouest, pourrait néanmoins expliquer ce phénomène. Le site de suivi serait donc un site de transit par lequel les quatre espèces passent avant d'entamer la traversée de la Méditerranée.

Les conditions météorologiques locales n'expliquent qu'une faible partie des variations inter-journalières du flux migratoire (part de déviance expliquée par les meilleurs modèles inférieure à 20%), suggérant que des effets importants n'ont pas été pris en compte. Ces résultats sont en désaccord avec la littérature puisque les conditions locales de pluie et de vent devaient expliquer la majorité de la déviance (Erni et al., 2002 : 70%). Plusieurs explications sont possibles : les conditions météorologiques locales et régionales (sur la Méditerranée occidentale) pourraient être faiblement corrélées. Or, la migration est adaptée aux conditions météorologiques à large échelle, même si les oiseaux répondent uniquement à leurs manifestations locales [Richardson, 1990] ; Bastia pourrait être un mauvais indicateur à l'échelle locale des conditions météorologiques à la station de suivi. Une analyse multi-site reposant sur l'ensemble des sites du programme *Piccole Isole* (actuellement 38 sites insulaires ou côtiers) et prenant en compte les conditions climatiques à l'échelle locale et régionale permettrait une meilleure compréhension des réponses des oiseaux migrants aux conditions météorologiques. Il serait par ailleurs intéressant d'intégrer dans les modèles des interactions entre les variables météorologiques [Erni et al., 2002 et 2005, Schaub et al. 2003]. Ces résultats indiquent également que le déterminisme de la présence sur le site serait plus complexe que la simple prédiction du flux migratoire, tel que documenté par Erni et al. (2002). En effet, les individus capturés pourraient être un mélange d'individus en migration rampante de jour, en migration active de nuit ou qui ne sont pas en condition de quitter l'île, errant en Corse avant de traverser.

2) Variations inter-annuelles des effectifs : tendances à long terme

Sur les aires de reproduction, les effectifs des deux espèces de pouillots ont tendance à décliner tandis que ceux des deux espèces de fauvettes sont stables ou en légère augmentation. Par contre, une tendance à l'augmentation est observée pour les effectifs migrateurs des quatre espèces à partir de 2000-2001, cette tendance étant plus forte chez le Pouillot fitis et chez les deux espèces de fauvettes. Une avancée dans la phénologie de la migration pourrait expliquer cette augmentation puisque, en réponse au réchauffement climatique, les oiseaux ont tendance à arriver plus tôt sur les aires de reproduction [Hüppop et Hüppop, 2003 ; Vähätalo et *al.*, 2004 ; Sparks et *al.*, 2005]. En effet, des conditions environnementales favorables dans les quartiers d'hivernage sub-sahariens [Saino et *al.*, 2004] et en cours de migration [Hüppop et Hüppop, 2003 ; Both et *al.*, 2005] leur permettent de migrer plus vite. Il serait donc intéressant de tester l'existence d'une corrélation entre les effectifs migrateurs annuels et les conditions climatiques annuelles en Afrique et en Europe. Néanmoins, cet argument s'appliquerait plutôt aux fauvettes car, contrairement aux pouillots, la période de suivi ne couvre pas la totalité de la saison de migration. Un passage plus tôt par le site de suivi se traduirait donc par une augmentation des effectifs migrateurs des fauvettes uniquement, sans changement significatif des effectifs reproducteurs. Par ailleurs, les oiseaux empruntant la voie de migration qui passe par la Corse se reproduisent essentiellement à l'Est, et au Nord/Est de l'Europe [Cramp, 1992]. Or, dans ces régions, qui concentrent les plus grosses populations de ces espèces, les effectifs se sont stabilisés (pour les quatre espèces) ou sont en augmentation (Pouillots fitis et Fauvette grisette principalement) depuis quelques années [Burfield et Van Bommel, 2004 ; Gregory et *al.*, 2005], contrairement aux populations du reste de l'Europe. Les tendances des effectifs reproducteurs étant estimées pour toute l'Europe, cela expliquerait les différences observées entre les deux suivis. Une meilleure détermination des voies de migration des quatre espèces ainsi que des aires de reproduction spécifiques des oiseaux migrant par la Corse semble donc nécessaire [Cramp, 1992].

Chez le Pouillot siffleur, les déclinés estimés pour les tendances linéaires et non-linéaires en cours de migration sont en accord avec ceux estimés sur les aires de reproduction. Chez les trois autres espèces et surtout chez le Pouillot fitis, les tendances estimées pour les deux suivis ne sont pas totalement cohérentes. L'augmentation des effectifs migrateurs au cours des dernières années pourrait expliquer les différences de tendances linéaires observées entre les deux suivis. Par ailleurs, les espèces sont rangées dans le même ordre sur les deux suivis. L'hypothèse selon laquelle cette augmentation ne traduirait pas une augmentation des effectifs de l'ensemble de populations des ces espèces serait donc cohérente.

Bibliographie

- Alerstam, T.**, 1990. Weather and Wind (Chapter 4.8). In : Bird Migration. Cambridge ; New York : Cambridge University Press ed., 420p.
- Anderson, D. R., K. P. Burnham et W. L. Thompson**, 2000. Null hypothesis testing : problems, prevalence, and an alternative. *Journal of Wildlife Management*. 64 (4) : 912-923.
- Anderson, D. R., W. A. Link, D. H. Johnson et K. P. Burnham**, 2001. Suggestions for presenting the results of data analyses. *Journal of Wildlife Management*. 65 (3) : 373-378.
- Battley, P. F.**, 1997. The northward migration of arctic waders in New Zealand : departure behaviour, timing and possible migration routes of Red Knots and Bar-tailed Godwits from Farewell Spit, North-West Nelson. *Emu*. 108-120.
- Both, C., R. G. Bijlsma et M.G. Visser**, 2005. Climatic effects on timing of spring migration and breeding in a long-distance migrant, the pied flycatcher *Ficedula hypoleuca*. *Journal of Avian Biology*. 36 : 368-373.
- Burfield, I. et F. Van Bommel**, 2004. Birds in Europe – Population estimates, trends and conservation status. Cambridge : BirdLife International Ed. ; BirdLife Conservation Series No. 12, 374p.
- Cramp, S.**, 1992. Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa – The Birds of the Western Palearctic – Volume VI Warblers. Oxford : Oxford University Press ed., 728 p.
- EBCC : European Bird Census Council**. Welcome to a website of EBCC : Trends of common birds in Europe. Disponible sur : <http://www.ebcc.info>. (Page consultée le 17 mai 2006).
- Erni, B., F. Liechti, L. G. Underhill et B. Burderer**, 2002. Wind and rain govern the intensity of nocturnal bird migration in central Europe- a log-linear regression analysis. *Ardea*. 90 (1) : 155-166.
- Erni, B., F. Liechti et B. Burderer**, 2005. The role of wind in passerine autumn migration between Europe and Africa. *Behavioral Ecology*. 16 : 732-740.
- Fewster, R. M., S. T. Buckland, G. M. Siriwardena, S. R. Baillie et J. D. Wilson**, 2000. Analysis of population trends for farmland birds using generalized additive models. *Ecology*. 81 (7) : 1970-1984.
- Gregory, R. D., A. Van Strien, P. Vorisek, A. W. Gmelig Meyling, D. G. Noble, R. P. B. Foppen et D. W. Gibbons**, 2005. Developing indicators for European birds. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 360 : 269-288.

- Hüppop, O.** et **K. Hüppop**, 2003. North Atlantic Oscillation and timing of spring migration in birds. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 270 : 233–240.
- Ithaca, R.** et **R. Gentleman**, 1996. R : A language of data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics.* 5 : 299-314.
- Julliard, R., F. Jiguet** et **D. Couvet**, 2004. Evidence for the impact of global warming on the long-term population dynamics of common birds. *Proc. R. Soc. Lond. B (Suppl.).* 271 : 490-492.
- Liechti, F.** et **B. Bruderer**, 1998. The relevance of wind for optimal migration theory. *Journal of Avian Biology.* 19 : 561-568.
- Møller, A. P.** et **T. R. Birkhead**, 1992. A pairwise comparative method as illustrated by copulation frequency in birds. *The American Naturalist.* 139 (3) : 644-656.
- Pilastro, A., S. Macchio, A. Massi, A. Montemaggiori** et **F. Spina**, 1998. Spring migratory routes of eight trans-Saharan passerines through the central and western Mediterranean; results from a net work of insular and coastal ringing sites. *Ibis.* 140 : 591-598.
- Richardson, W. J.**, 1990. Timing of bird migration in relation to weather (Chapter 1). Updated review. **In** : *Bird Migration : Physiology and Ecophysiology.* Ed. By E. Gwinner. Berlin ; New York : Springer-Verlag, 435.
- Rubolini, D., F. Spina** et **N. Saino**, 2004. Correlates of timing of spring migration in birds : a comparative study of trans-Saharan migrants. *Biological Journal of the Linnean Society.* 84 : 199-210.
- Saino, N., T. Szép, M. Romano, D. Rubolini, F. Spina** et **A. P. Møller**, 2004. Ecological conditions during winter predict arrival date at the breeding quarters in a trans-Saharan migratory bird. *Ecology Letters.* 7: 21–25.
- Schaub, M., F. Liechti** et **L. Jenni**, 2004. Departure of migrating European Robins, *Erithacus rubecula*, from a stopover site in relation to wind and rain. *Animal Behaviour.* 64 : 229-237.
- Sparks, T. H., F. Bairlein, J. G. Bojarinova, O. Hüppop, E. A. Lehikoinen, K. Rainio, L. V. Sokolov** et **D. Walker**, 2005. Examining the total arrival distribution of migratory birds. *Global Change Biology.* 11 : 22-30.
- Thibault, J. C.**, 1983. *Les Oiseaux de la Corse.* Ajaccio : parc naturel régional de la Corse, 255 p.
- Thomas, J. A., M. G. Telfer, D. B. Roy, C. D. Preston, J. J. D. Greenwood, J. Asher, R. Fox, R. T. Clarke** et **J. H. Lawton**, 2004. Comparative losses of British butterflies, birds, and plants and the global extinction crisis. *Science.* 303 : 1879-1881.

Vähätalo, A. V., K. Rainio, A. Lehikoinen et E. Lehikoinen, 2004. Spring arrival of birds depends on the North Atlantic Oscillation. *Avian Biology*. 35 (3) : 210-216.

ANNEXE 1 : Présentation de la structure d'accueil

J'ai effectué mon stage de Master 1 au Centre de Recherche sur la Biologie des Populations d'Oiseaux, implanté dans l'Unité Mixte de Recherche 5173, du Département Ecologie et Gestion de la biodiversité, au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.

L'activité de recherche du Muséum consiste à inventorier, à ordonner et à comprendre la diversité biologique et écologique, son origine, son rôle et sa dynamique et contribue ainsi à sa gestion durable. Le Muséum est donc un centre national de référence pour la connaissance et la gestion de la nature et de la biodiversité.

Le département de recherche Ecologie et gestion de la biodiversité est dirigé par Robert Barbault. Il propose des scénarii de l'évolution de la nature et produit les connaissances nécessaires à la définition des mesures de gestion. Il apporte également des réponses scientifiques aux questions que soulève la mise en oeuvre des directives européennes.

L'Unité Mixte de Recherche 5173 : Conservation des espèces, Restauration et Suivi des Populations est dirigée par Denis Couvet. Les projets de recherche effectués par cette unité portent sur la biologie des organismes et des populations et en particulier sur les processus responsables d'un déséquilibre démographique (invasion, déclin, extinction), en considérant à la fois le cas des espèces rares et celui des espèces communes (largement distribuées et avec des effectifs élevés). Ils aident ainsi à comprendre le devenir de chaque type d'espèces et à cerner la priorité à leur accorder selon les objectifs de conservation fixés.

Le Centre de Recherche sur la Biologie des Population d'Oiseaux est la plate-forme technique gérant les données de baguage d'oiseaux en France. Elle comprend deux collections de données : - les données de comptage par points d'écoute ou STOC EPS (Echantillonnage-Ponctuel-Stratifié) qui s'intéressent à l'abondance relative d'espèces communes, permettant de documenter l'évolution temporelle des tailles des populations et l'évolution spatio-temporelle des communautés d'oiseaux.

- les données de baguage d'oiseaux (Capture-Marquage-Recapture) qui incluent plusieurs sous-programmes dont le STOC CMR qui repose sur un échantillonnage standardisé dans une centaine de stations de suivi et permet l'estimation des paramètres démographiques tels que la dispersion, la survie, la fécondité et la croissance des populations ; et le sous-programme « Halte migratoire » auquel participe la station de Barcaggio au Cap Corse, reposent également sur les données de baguage et s'intéressent aux fluctuations des effectifs des espèces d'oiseaux migrateurs en période de migration.

Ces collections de données donnent une vision d'ensemble, passée et présente, de l'état des populations d'oiseaux et permettent d'anticiper l'effet des modifications de l'environnement.

ANNEXE 2 : Bilan personnel du stage

Avant de débiter les analyses, j'ai dû effectuer un travail long et fastidieux de préparation qui consistait à trier les données à analyser, à rechercher les éventuelles erreurs de saisie puis à définir les variables à utiliser pour les modélisations. Cette partie du stage fut néanmoins enrichissante puisque j'ai pu participer activement au choix des variables.

Ce travail préliminaire a nécessité de la rigueur et beaucoup d'organisation mais également une bonne autonomie. Il m'a par ailleurs permis d'améliorer mes connaissances dans l'utilisation du logiciel EXCEL.

La partie analyse des données fut l'occasion de découvrir les modèles GAMs : leurs avantages et leurs inconvénients ainsi qu'une méthode de sélection des modèles adaptés aux analyses exploratoires. Ceci complète donc les enseignements suivis en Master 1, où seules des méthodes de validation/réfutation d'hypothèses nous ont été présentées. J'ai par ailleurs utilisé un nouveau logiciel de statistiques : le logiciel SPLUS et complété mes connaissances du logiciel R.

Concernant les bonus de ce stage, j'ai eu l'opportunité de partir 10 jours sur le site de suivi de Barcaggio au Cap Corse, où ont été récoltées les données. Ce séjour m'a en premier lieu permis de mieux appréhender la thématique de cette étude ainsi que le protocole mis en place pour le suivi à long terme des espèces migratrices qui empruntent la voie de migration passant par la Corse. Il a par ailleurs constitué une première expérience de baguage d'oiseaux et m'a permis de beaucoup progresser en ornithologie. J'ai par ailleurs eu l'occasion de participer à une session de STOC-CMR sur un site de suivi dans la forêt de Fontainebleau. Ces deux expériences ont été très enrichissantes autant sur le plan scientifique (expériences de terrain) que sur le plan personnel (ornithologie).

Je suis donc très satisfaite de mon stage qui m'a permis de mener un travail de recherche dans son ensemble et m'a conforté dans ma détermination à faire de la recherche.

ANNEXE 3 : Estimation des pentes pour chaque variable explicative

variables explicatives	estimation des pentes			
	PHYLUS	PHYSIB	SYLCOM	SYLBOR
PLUIEQ J	-0.03			
PLUIEQ J-1	0.01			
PLUIEQ J-2	0.00			
PLUIECL J		0.27		
PLUIECL J-1		0.57		
PLUIECL J-2		0.22		
FVENT J	-0.01		-0.06	-0.19
FVENT J-1	-0.01		0.00	
FVENT J-2	0.03		0.05	
FVENTCL J		-0.20		
FVENTCL J-1		-0.42		
FVENTCL J-2		0.27		
NE J	0.34			
NE J-1	0.37			
NE J-2	0.31			
NO J	-1.11	-1.45		
NO J-1	-0.32	-0.82		
NO J-2	0.36	0.39		
S J		0.23		
S J-1		-0.15		
S J-2		0.39		
E J		-0.40		
E J-1		-0.26		
E J-2		-0.26		
SO J			0.32	-0.31
SO J-1			0.51	
SO J-2			0.47	

Résumé

Suite aux changements environnementaux entamés depuis plusieurs décennies, de nombreuses espèces d'oiseaux sont en déclin. En Europe, les tendances des effectifs reproducteurs sont bien estimées, grâce à la mise en place de suivis à long terme. Cependant, peu d'études se sont intéressées aux effectifs des espèces migratrices sur les sites de migration ou sur les aires d'hivernage. Cette étude, porte sur le suivi de 1992 à 2005 des effectifs de quatre espèces de passereaux migrateurs trans-sahariens : le Pouillot fitis (*Phylloscopus trochilus*), le Pouillot siffleur (*P. sibilatrix*), la Fauvette grisette (*Sylvia communis*) et la Fauvette des jardins (*S. borin*), sur un site de migration insulaire méditerranéen (Cap Corse). Après avoir ajusté le nombre d'individus capturés par jour pour la phénologie intrinsèque de la migration et pour l'influence des conditions climatiques locales, les tendances linéaires et non-linéaires à long terme de leurs effectifs ont été estimées. Contrairement aux effectifs reproducteurs, qui sont stables ou en déclin, les effectifs migrants de trois des quatre espèces étudiées sont en nette augmentation depuis quelques années. L'évaluation de l'influence des conditions climatiques locales sur les variations inter-journalières des effectifs a de plus permis de mettre en évidence des comportements migratoires (stratégies et/ou voies de migration) sensiblement différents entre les quatre espèces étudiées.

Mots Clés : migration, passereaux migrateurs trans-sahariens, conditions climatiques locales, tendances à long terme.