



www.lpo.fr

L'impact du changement climatique sur la migration des oiseaux en Aquitaine

Bilan de recherche post-doctorale
Version 1.0

Ligue pour la Protection des Oiseaux
Association locale – Aquitaine
Post_docORMO, 2009

L'impact du changement climatique sur la migration des oiseaux en Aquitaine

Ondine Filippi-Codaccioni

Bilan de recherche post-doctorale
Version 1.0 (05/09-12/09)

Ces travaux de recherches ont été réalisés dans le cadre de
l'Observatoire Régional des Migrations d'Oiseaux
(LPO Aquitaine & OCL)



Encadrement et suivi scientifique :
Museum National d'Histoire Naturelle
CRBPO



Sommaire

I - Contexte scientifique	1
A) - Contexte général du changement climatique	1
B) - Les oiseaux et le changement climatique	2
La migration printanière	3
La migration automnale	6
C) - L'Indice de Population des Rapaces (RPI)	9
D) - La vulnérabilité des oiseaux migrateurs	11
II – Les données	14
III - Problématiques de recherche	17
A) - Les tendances des populations migratrices	17
1- Le RPI	17
2- Rechercher quels facteurs influent sur les comptages annuels des rapaces	22
B) - Phénologie	24
1- Questions méthodologiques: Quelle mesure utiliser?	24
2- Déterminer quels traits d'histoire de vie déterminent les tendances migratrices des rapaces	26
<i>Manuscript 1: Filippi-Codaccioni , O., Moussus, J-P. , Urcun, J-P., Jiguet, F. 28 years of raptor migration survey reveal advances in autumn passage of long-distance migrants. Soumis à Journal of Ornithology.</i>	
3- Identifier l'impact du changement climatique sur la migration différentielle des rapaces	37
<i>Manuscript 2: Filippi-Codaccioni , O., Moussus,J-P. , Urcun, J-P., Jiguet, F. Impact of climate change on the differential migration of raptors. Soumis à Journal of Avian Biology.</i>	
IV - Perspectives	49
Impact du changement climatique sur la migration pré-nuptiale	
A) - Les données	49
B) - Les questions	52
C) - Un début d'étude sur la migration du loriot à la Pointe de Grave	53
Références	57

Rapport de recherche post-doctorale

sur

l'impact du changement climatique sur la migration des oiseaux en

Aquitaine

I - Contexte scientifique

A) - Contexte général du changement climatique

Le climat de la terre s'est réchauffé d'approximativement 0.6 °C sur les 100 dernières années avec 2 principales périodes de réchauffement, entre 1910 et 1945 et de 1976 jusqu'à nos jours. Le taux de réchauffement durant cette dernière période a été approximativement le double de celui de la première et a été plus important qu'à n'importe quelle autre période pendant les 1000 dernières années (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2001). Cependant, les organismes, populations et communautés écologiques ne répondent pas aux moyennes globales. Les changements régionaux qui sont très hétérogènes spatialement (Fig. 1) sont plutôt plus pertinents dans ce contexte de réponse écologique au changement climatique.

Les conséquences de 30 ans de réchauffement à la fin du 20^{ième} siècle peuvent être résumées comme autant de réponses concernant (1) la phénologie et la physiologie des organismes, (2) la distribution des espèces et leur étendue, (3) la composition des communautés et leurs interactions et (4) la structure et dynamique des écosystèmes, qui ont montré des réponses communes et contrastées parmi les taxa et les systèmes considérés. Nous nous intéressons principalement ici aux réponses en termes de phénologie.

La phénologie - le timing des activités saisonnières des animaux et des plantes - est peut-être le processus le plus simple par lequel suivre les changements au sein de l'écologie des espèces en réponse au changement climatique. Les oiseaux, les papillons et les plantes sauvages, en particulier, comprennent des espèces populaires et facilement identifiables et ont reçu, en conséquence, une considérable attention de la part du public. Il en a résulté une large collecte de jeux de données phénologiques à long terme.

Des études en Europe et en Amérique du Nord ont révélé des tendances phénologiques qui reflètent très probablement les réponses au récent changement climatique (Bairlain and Winkel 2001; Menzel and Estrella 2001). Les changements les plus communs dans le timing des activités de printemps incluent une reproduction plus précoce, une arrivée plus précoce des oiseaux migrateurs, une apparition plus précoce des papillons, des chœurs et des pontes plus précoces chez les amphibiens ainsi que la floraison plus précoces des plantes. En général, les activités de printemps se sont déroulées progressivement plus tôt depuis 1960 (Fig. 2).

Quelques preuves indiquent également une arrivée retardée des événements phénologiques automnaux, mais ces changements sont moins prononcés et ont montré des patterns plus hétérogènes. Les études révèlent des proportions différentes d'espèces d'oiseaux qui ont avancé, retardé, ou qui n'ont pas changé leur migration automnale (Gatter 1992). Les tendances de coloration des feuilles des arbres ont souvent montré des tendances contradictoires (Menzel et al. 2001).

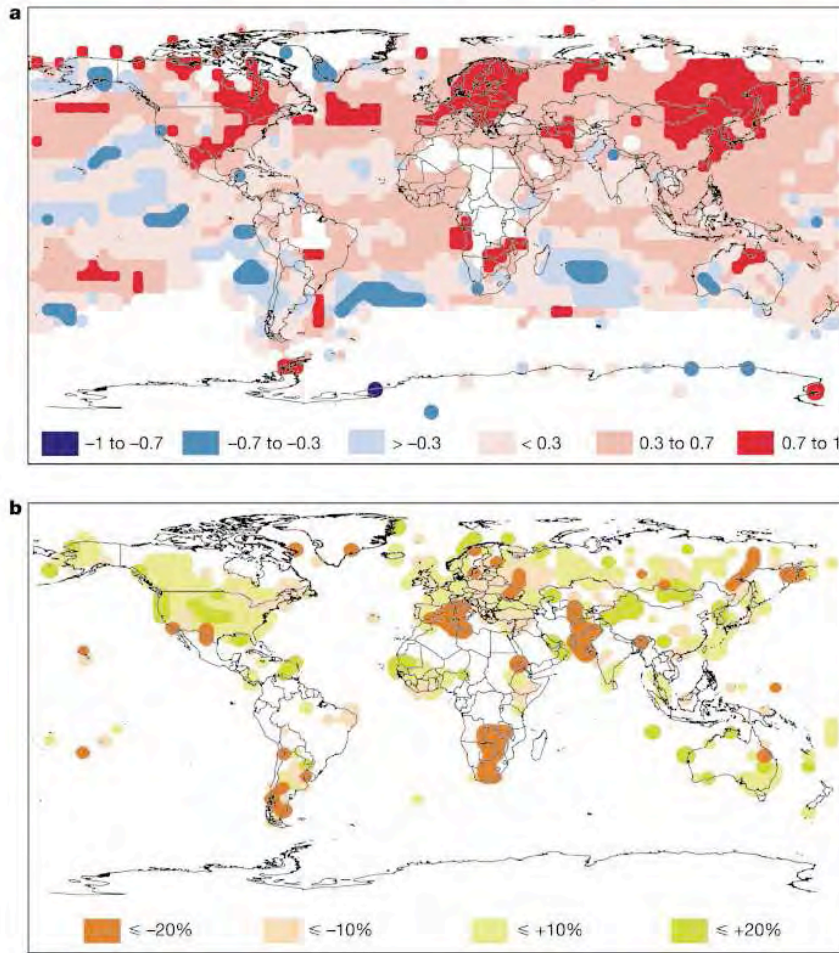


Figure 1. Variabilité spatiale des tendances annuelles des températures et des précipitations depuis 1976 relatives aux normales de 1961 à 1990 ; a, Température (°C par décennie); b, précipitation (% par décennie). Walther et al. (2002).

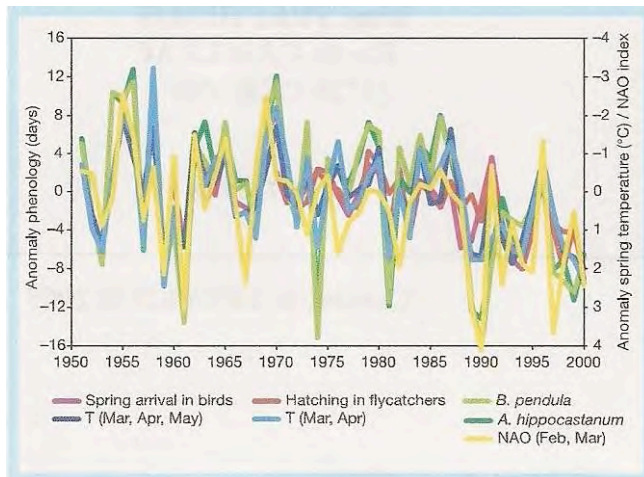


Figure 2. Corrélations entre les anomalies de différentes phases phénologiques et les anomalies de température de l'air au printemps Walther et al. (2002).

B)- Les oiseaux et le changement climatique

Les oiseaux sont des cibles très spéciales vis à vis de l'impact du changement climatique pour plusieurs raisons: 1. Ce sont des animaux homéothermes vivant activement tout au long de l'année, 2. Ils vivent des vies très exposées, 3. De nombreuses espèces d'oiseaux changent de lieu de vie 2 fois par an couvrant plusieurs zones de climat et de végétation. Cette

connectivité à large échelle entre les phases d'été et d'hiver est particulièrement presque spécifique aux oiseaux, 4. Ils ont des phases séparées dans leur cycle annuel et doivent s'adapter à la fois à des changements variables du climat et de l'aire de vie, en optimisant leur réponse nette: reproduction, mue, migration automnale, hivernage, migration printanière. Il existe déjà beaucoup d'information montrant que ces différents événements répondent au changement climatique. La preuve la plus claire concerne la migration printanière des oiseaux, même s'il existe une forte hétérogénéité dans la qualité des données et des approches utilisées (Lehikoinen et al. 2004). Les dates de reproduction ont également répondu de la même manière au changement climatique. On n'en connaît beaucoup moins sur les autres phases du cycle annuel.

La migration printanière

Timing d'arrivée: tendance temporelles

La tendance générale, en de nombreux lieux, est une avancée des dates d'arrivée chez la majorité des espèces

Le changement moyen des dates de première arrivée sur toutes les espèces et sites est de **20.373 jours/an**, et est très significativement négative, i.e., l'espèce moyenne sur des aires très séparées d'Eurasie tend, ces dernières années, à arriver plus tôt sur les zones d'étude sur ou à côtés des aires de nidification. Les résultats concernant les dates de migration moyennes vont dans la même direction mais l'amplitude de la réponse est plus faible, **20.100 jours/an**, quoique statistiquement significative (Lehikoinen et al. 2004).

Timing d'arrivée: relation à la température et aux systèmes climatiques

La température sur le site d'observation a souvent été utilisée comme variable explicative dans la plupart des études (Lehikoinen et al. 2004). Elles étaient plus faciles à collecter que les températures sur la route de migration. Les auteurs ont utilisés ces températures locales comme un indicateur du temps sur de plus grandes étendues (Heino, 1994; Sokolov et al., 1998) (Lehikoinen et al. 2004). En plus de la température, de nombreux autres paramètres météorologiques peuvent jouer un rôle (Alerstam, 1990; Zalakevicius, 1993; Elkins, 1995; Zalakevicius et al., 1995), mais la distinction entre leurs effets indépendants peut être difficile à prouver, e.g., proportion de vent de queue corrélée positivement avec la température (Sparks et al., 2001). Dans des études récentes, les analyses se sont élargies à des indicateurs plus généraux. Huin et Sparks (1998) ont expliqué l'arrivée des hirondelles rustiques *Hirundo rustica* en Grande-Bretagne par les températures au sud de la Grande-Bretagne, en France et en péninsule Ibérique. Hüppop et Hüppop (2003) et Vähätalo et al. (2004) ont également regardé **l'Oscillation Nord Atlantique (NAO) comme mécanisme général affectant le climat en Europe** (Lehikoinen et al. 2004). Des analyses utilisant le climat le long des routes de migration existent également (Ahola et al., 2004).

Les recherches sur le climat et la température ont prouvé que les oiseaux répondent généralement aux hautes températures et aux phases positives de la NAO en arrivant plus tôt (Lehikoinen et al. 2004) (Table 1). Sparks et al. (2002) ont suggéré que l'amplitude typique de la réponse à la température en terme de date d'arrivée des oiseaux était de **2 jours/°C**, ce qui est moins que la réponse de 6–8 jours/°C chez les plantes. Dans le jeu de données collecté pour la review de Lehikoinen et al. (2004), les réponses varient de 2.47 to 3.33 jours/°C (n = 203 régressions en Eurasie).

Malgré cela, Root et al. (2003) n'ont pas trouvé de différences de tendances entre les oiseaux, les invertébrés, les amphibiens et les non-arbres (plus tôt de 5–6 jours/décade), mais les arbres (3 jours/décade) ont montré des réponses plus faibles que les autres groupes (Lehikoinen et al. 2004). Les variables de réponse pour les oiseaux étaient cependant un mélange de réponses de migration et de reproduction.

Table 3 Strength of response to year, North Atlantic Oscillation and local temperature in the time series concerning arrival of various migratory bird species in the latter half of the 20th century

Response type (unit)	Number of time series	Upper 95% confidence limit	Average response	Lower 95% confidence limit
Trend, FA (days/year)	590	-0.342	-0.373	-0.403
NAO, FA (days/unit change of NAO-index)	128	-3.382	-3.959	-4.535
Local temperature, FA (days/°C)	203	-2.472	-2.901	-3.331
Trend, MMT (days/year)	225	-0.137	-0.100	-0.223
NAO, MMT (days/unit change of NAO-index)	149	-1.350	-1.636	-1.921
Local temperature, MMT (days/°C)	153	-1.433	-1.761	-2.089

FA, first arrival; MMT, mean/median migration time of a population. See text for data selection. Note: time series were the same as listed in Table 2.

Table 1. Lehikoinen et al. (2004).

Sokolov (2006) a trouvé des relations entre la date de passage des passereaux au printemps en mer baltique et l'indice NAO, la température locale et la température et date de floraison des pommiers en Espagne.

Miller-Rushing et al. (2008) en regardant les variations de dates de migration printanière de 32 espèces de passereaux nord-américains, ont trouvé que les migrateurs courte-distance répondaient aux changements de température, alors que les migrateurs moyenne distance répondaient particulièrement fortement à l'indice de l'Oscillation Sud.

Timing de départ: relations avec les traits d'histoire de vie et les tendances des populations

Le sexe

Chez les oiseaux, la protandrie – la migration ou l'émergence plus précoce des mâles par rapport aux femelles – est un phénomène commun chez les oiseaux et a été largement rapporté dans le cadre de la migration pré-nuptiale (e.g. Myers 1981, et références à l'intérieur; références dans Gauthreaux 1982; Ketterson & Nolan 1983; Francis & Cooke 1986, et références à l'intérieur; Moore et al. 1990; Calder & Calder 1994; Otahal 1995, et références à l'intérieur).

De nombreuses hypothèses ont été proposées pour expliquer l'évolution de la protandrie, et ont été détaillées dans Morbey and Ydenberg (2001). Chez les oiseaux migrateurs, chez qui la protandrie est répandue, la compétition intra-sexuelle pour les territoires préférés est supposée sélectionner pour une arrivée plus précoces sur les aire de nidification, parce que les individus qui migrent et arrivent plus tôt acquerront un meilleur territoire comparé à ceux qui arriveront plus tard (Hasselquist, 1998; Ketterson and Nolan, 1976; Kokko, 1999; Lozano et al. 1996; Myers, 1981). Cette hypothèse est appelée la « **rank advantage hypothesis** » et est supportée par l'observation générale du sexe territorial qui arrive généralement plus tôt que l'autre sexe. De plus, les espèces dont les sexes arrivent généralement ensemble sont des espèces non territoriales (Connors et al. 1979; Cooke et al. 1975; Myers, 1981; mais voir Reynolds et al., 1986). La « **susceptibility hypothesis** » (Kissner et al. 2003) et la « **mate opportunity hypothesis** » (Hasselquist, 1998; Langefors et al. 1998; Lozano et al., 1996)

sont également 2 autres hypothèses majeures dont le contenu est expliqué et débattu dans les différentes références citées ci-dessus (Rubolini et al. 2004).

Il a été montré que **la sélection sexuelle** prédisait l'avancement de la migration printanière des oiseaux en réponse au changement climatique (Spottiswoode et al. (2006). Les auteurs suggèrent que **la sélection sexuelle** peut aider à comprendre les variations de dates d'arrivée au sein des espèces, puisque l'arrivée précoce des mâles est favorisée par le choix des femelles. Le changement climatique pourrait affaiblir la force de la sélection naturelle qui s'oppose à la sélection sexuelle pour une migration précoce, ce qui pourrait prédire un plus grand avancement chez les espèces avec un plus important poids du choix des femelles. Leur hypothèse a été confirmée par leur étude (Spottiswoode et al. 2006).

Rainio et al. (2007) prévoyaient que puisque les mâles et les femelles migraient à différentes périodes de la saison et pouvaient hiverner sur différents sites, le changement climatique devait affecter différemment les dates d'arrivée des mâles et des femelles. Dans leur étude, les auteurs ont examiné si le degré de protandrie avait changé durant une période de changement climatique en utilisant des données phénologiques sur le long terme collectées sur les observatoires de la migration nord-européens. Ils ont montré que pour 4 espèces de passereaux chanteurs, sexuellement dichromatiques, les dates de migration printanières avaient avancé, mais que le degré de protandrie n'avait pas changé. Ils ont également montré que les variations des conditions météorologiques à large échelle, comme indiquées par la NAO, n'avaient pas affecté le degré de protandrie. Leur hypothèse fut alors que ce décalage parallèle des dates de migration entre mâle et femelles, pouvait être du à une réponse phénotypique similaire au changement climatique entre les 2 sexes.

La distance de migration (ou stratégie)

Beaucoup d'études ont trouvé que la stratégie de migration (long, moyen ou courte-distance) induisait des différences quant à l'impact du changement climatique sur les dates d'arrivée printanières (Lehikoinen et al. (2004)). On peut noter que Miller-Rushing et al. (2008) n'ont trouvé aucun changement significatif de date de migration chez les migrateurs longue-distance ce qui est rare dans la bibliographie. Ces auteurs ont incorporé les changements de taille de cohorte de migration ce qui peut expliquer leur résultat.

La taille des populations

Il a été suggéré que la taille des populations pouvait affecter les réponses des espèces au changement climatique (Møller et al. 2008). En effet, une faible taille de population, et en conséquence, un manque de variation génétique, peut potentiellement expliquer le manque de réponse au changement climatique.

Les tendances

Both et al. (2006) ont recherché les conséquences sur les populations d'un décalage de timing de la période d'abondance de nourriture maximale chez le gobemouche noir (*Ficedula hypoleuca*). En comparaison avec 9 populations des Pays-Bas, les auteurs ont trouvé que les populations ont décliné d'environ 90% sur les 2 dernières décennies dans les endroits où les pics de nourriture pour les poussins se produisaient en avance et entraînaient une asynchronie. Leurs conclusions étaient que cet asynchronie était le résultat du changement climatique et pouvait mener à des déclin de population.

Møller et al. (2008) ont montré que les populations d'oiseaux migrateurs qui n'ont pas présenté de réponse phénologique au changement climatique déclinaient. Ils ont émis

l'hypothèse que certaines espèces n'avaient pas avancé leurs dates de reproduction suffisamment pour continuer à se reproduire de manière optimale par rapport à l'occurrence du pic de nourriture. Le degré d'asynchronie peut différer entre les espèces et les espèces avec la plus grande asynchronie peuvent être caractérisées par des populations déclinantes. Les auteurs ont ainsi relié les dates de reproduction de 100 espèces d'oiseaux européennes depuis 1960 à leurs tendances populationnelles (Table 2). Les espèces qui ont décliné sur la période 1990-2000 n'ont pas montré d'avance de leur migration printanière, alors que celles avec des populations stables ou augmentant ont avancé leurs dates considérablement.

Table 1. Minimal adequate multiple regression models of population trend of migratory birds during 1970–1990, population trend of migratory birds during 1990–2000, and change in mean spring migration date of migratory birds 1960–2006, obtained by step-down removal of nonsignificant predictors (see *Methods*)

Variables	F	df	P	Estimate (SE)
Population trend during 1970–1990				
Species-specific values				
Body mass	21.13	1,95	<0.001	0.724 (0.157)
Farmland habitat	5.19	1,95	0.025	–0.886 (0.389)
Independent contrasts				
Body mass	8.36	1,92	0.005	1.263 (0.437)
Farmland habitat	8.80	1,92	0.004	–1.164 (0.393)
Northernmost breeding latitude	5.54	1,92	0.021	–0.081 (0.035)
Population trend during 1990–2000				
Species-specific values				
Change in migration date	27.19	1,96	<0.001	–2.801 (0.537)
Independent contrasts				
Change in migration date	31.48	1,94	<0.001	–2.656 (0.473)
Change in migration date, 1960–2006				
Species-specific values				
Population trends 1990–2000	21.84	1,92	<0.001	–0.069 (0.015)
Migration distance	7.70	1,92	0.007	0.111 (0.040)
Number of broods	5.21	1,92	0.025	–0.052 (0.023)
Independent contrasts				
Population trends 1990–2000	23.33	1,90	<0.001	–0.079 (0.016)
Migration distance	5.00	1,90	0.028	0.110 (0.049)
Number of broods	5.69	1,90	0.019	–0.072 (0.030)

Statistics for excluded terms are reported in Table S1.

Table 2. (Møller et al. 2008).

Migration automnale

Timing de départ

Pour certaines espèces, l'avancement des dates de printemps résulte directement d'un départ plus précoce en migration automnale, alors que chez d'autres, de plus longs étés et un automne plus tardif peuvent entraîner un départ plus tardif. Apparemment, la direction de la réponse dépend de l'importance des saisons d'été et d'hiver dans la stratégie complète d'histoire de vie de l'espèce (Lehikoinen et al. 2004).

Les ornithologues amateurs ont trouvé des migrations automnales retardées à partir des premières observations hivernales dans différents lieux, ce qui suggère fortement que le retard de migration est une réponse au changement climatique (Lehikoinen et al. 2004). Cependant, des **analyses rigides sont rares** (Gatter, 1992; Bairlein et Winkel, 2001; Fiedler et al., 2004, Lehikoinen et al. 2004). Gilyazov et Sparks (2002) ont rapporté le départ de 7 espèces à la **péninsule de Kola** de 1931 à 1999 en calculant les dates moyennes de départ. Les migrateurs précoces partaient plus tôt les automnes plus chauds (le chevalier sylvain *Tringa glareola*, $r =$

-0.53, la sterne arctique *Sterna paradisaea* -0.47, le balbuzard pêcheur *Pandion haliaetus* -0.29, le pouillot fitis *Phylloscopus trochilus* -0.22) (Lehikoinen et al. 2004).

Sparks and Mason (2001) ont étudié les dates de départ et d'arrivée ainsi que la durée de séjour (durée du séjour d'été) dans l'Essex, en Angleterre. Chez 8 espèces, le retard de la migration automnale était significatif, le retard variant de 0.3 à 1.4 days/year du rougequeue à front blanc *Phoenicurus phoenicurus* au faucon hobereau *Falco subbuteo* (Table 3).

Table 1. Arrival date, departure date and duration of stay of winter visitors.

Species/area	Arrival date				Departure date				Duration			
	Mean	sd	Trend	P	Mean	sd	Trend	P	Mean	sd	Trend	P
Essex												
Merlin (<i>Falco columbarius</i>)	Sep. 4	28.2	-1.87 ± 0.26	***	May 2	22.9	1.38 ± 0.26	***	244	46.6	3.31 ± 0.37	***
Purple Sandpiper (<i>Calidris maritima</i>)	Sep. 9	26.4	-0.42 ± 0.44		Apr. 18	20.2	0.66 ± 0.31		224	36.4	0.69 ± 0.64	
Hen Harrier (<i>Circus cyaneus</i>)	Sep. 11	33.5	-1.85 ± 0.58	**	May 2	14.3	0.58 ± 0.29		235	44.4	2.38 ± 0.89	*
Fieldfare (<i>Turdus pilaris</i>)	Sep. 18	20.7	0.20 ± 0.35		May 7	20.2	-0.15 ± 0.35		233	31.7	-0.36 ± 0.57	
Jack Snipe (<i>Lymnocyptes minimus</i>)	Sep. 23	14.0	0.62 ± 0.27	*	Apr. 29	12.8	-0.16 ± 0.29		219	23.5	-0.84 ± 0.54	
Rock Pipit (<i>Anthus spinoletta petrosus</i>)	Sep. 23	10.3	-0.22 ± 0.17		Apr. 4	13.8	-0.35 ± 0.22		194	17.6	-0.08 ± 0.32	
Redwing (<i>Turdus iliacus</i>)	Sep. 25	7.8	-0.15 ± 0.13		Apr. 23	17.4	0.23 ± 0.29		212	21.5	0.20 ± 0.39	
Brambling (<i>Fringilla montifringilla</i>)	Sep. 28	15.6	-0.29 ± 0.26		Apr. 25	11.2	0.07 ± 0.19		211	20.7	0.31 ± 0.37	
Snow Bunting (<i>Plectrophenax nivalis</i>)	Oct. 3	14.6	0.32 ± 0.24		Mar. 15	17.6	-0.10 ± 0.30		168	21.1	-0.95 ± 0.31	**
Twite (<i>Carduelis flavirostris</i>)	Oct. 4	10.6	-0.07 ± 0.18		Apr. 4	18.4	-0.14 ± 0.31		183	24.9	-0.16 ± 0.45	
Goosander (<i>Mergus merganser</i>)	Oct. 17	29.3	0.08 ± 0.51		Apr. 20	21.6	-0.18 ± 0.37		186	34.8	-0.46 ± 0.63	
Long-tailed Duck (<i>Clangula hyemalis</i>)	Oct. 23	17.7	-0.02 ± 0.42		Apr. 4	37.3	-0.36 ± 0.88		166	37.6	-0.81 ± 0.99	
Tundra Swan (<i>Cygnus columbianus</i>)	Oct. 24	16.5	-0.74 ± 0.24	**	Mar. 15	26.8	-0.21 ± 0.48		142	29.9	0.77 ± 0.57	
Smew (<i>Mergellus albellus</i>)	Nov. 18	14.2	-0.18 ± 0.24		Mar. 16	15.8	-0.32 ± 0.26		119	22.9	-0.17 ± 0.42	
Sheffield												
Fieldfare (<i>Turdus pilaris</i>)	Sep. 12	15.6	0.08 ± 0.35		May 8	13.5	0.26 ± 0.30		238	20.8	0.09 ± 0.50	
Redwing (<i>Turdus iliacus</i>)	Sep. 22	8.7	-0.03 ± 0.20		Apr. 29	12.8	0.29 ± 0.28		220	17.8	0.31 ± 0.42	
Brambling (<i>Fringilla montifringilla</i>)	Sep. 30	9.6	-0.37 ± 0.21		Apr. 29	7.6	0.12 ± 0.17		213	13.8	0.58 ± 0.31	
Goldeneye (<i>Bucephala clangula</i>)	Oct. 4	22.6	-0.02 ± 0.51		May 7	9.7	-0.24 ± 0.21		217	23.2	-0.17 ± 0.55	

For each data series, mean dates, standard deviations and trend over time (slope ± se from regression) are given. Species are ordered by mean date of arrival.
*P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001.

Table 3. Sparks and Mason (2001).

En Allemagne du sud, les dates moyennes de migration automnale étaient retardées de 3.4 jours chez 19 sur 28 espèces étudiées en 20 ans depuis 1970 (Gatter, 1992; Bairlein and Winkel, 2001). A Helgoland, 1 des 7 migrants courte-distance (le troglodyte mignon *Troglodytes troglodytes*) et 3 des 9 migrants longue-distance (le pouillot fitis, le rougequeue noir, and le merle à plastron *Turdus torquatus*) ont significativement retardé leur migration d'automne. Le résultat net chez ces espèces a été l'augmentation du temps passé entre les dates de migration moyennes de printemps et d'automne chez 11 des 15 espèces, le martinet noir *Apus apus* montrant une tendance opposée avec un durée réduite entre les 2 dates (Bairlein and Winkel, 2001) (Lehikoinen et al. 2004).

Sokolov (2006) qui a analysé les changements sur le long terme des dates de migration automnales a trouvé, quant à lui que la plupart des espèces ne manifestaient pas de tendance temporelle significative dans leur dates, malgré la fluctuation entre années. Parmi les espèces hivernant en Europe, la tendance vers une migration automnale retardée n'a été révélée que chez la mésange bleue *Parus caeruleus* et le merle noir *T. merula*. Parmi les migrants longue-distance, par contre, le gobemouche noir *Ficedula hypoleuca* et la fauvette babillarde *Sylvia curruca* manifestaient une tendance vers une migration automnale plus précoce.

Jenni et Kéry (2003) ont analysé les données de migration automnale Suisse du Col de Bretolet. Leur résultat principal a été l'avancement des dates chez les migrants longue-distance et l'avancement de ces dates chez les migrants courte-distance. Les auteurs ont suggéré que ce résultat était du à la pression de sélection causée par le début de la saison sèche en automne au Sahel.

Timing de départ: relation à la température et aux systèmes climatiques

Peron et al. (2007) ont recherché quel était l'effet du changement climatique sur la stratégie de migration post-nuptiale chez 2 passereaux paludicoles, le phragmite des joncs *Acrocephalus schoenobaenus*, spécialisé sur une proie thermo-dépendante, et la généraliste rousserolle effarvate *A. scirpaceus*. Ils ont trouvé que les 2 passereaux migraient plus tôt ces dernières années ($-0.73 \pm 0.086 \text{ jour}^{-1}$). Leur phénologie de migration automnale était corrélée négativement aux températures de printemps (Mars) ($-2.54 \pm 0.19 \text{ d } ^\circ\text{C}^{-1}$), **et pas aux températures automnales**. Ils ont alors suggéré que c'était le résultat d'un décalage majeur (i.e. avance) de la production de biomasse causée par le réchauffement global.

Sokolov et al. (1998) ont analysé les données à long terme des dates de migration automnale à Rybachy et leur dépendance aux températures des mois précédents. Chez 9 espèces, une **corrélation négative a été révélée entre les dates de migration automnale et les conditions de température au printemps mais pas en automne**. Aucune corrélation significative n'a été trouvée entre **le timing de la migration automnale et l'indice de NAO**.

Timing de départ: relations avec les traits d'histoire de vie et les tendances des populations

Le nombre de nichées

Jenni and Kéry (2003) ont testé des prédictions concernant l'influence de traits comme le régime alimentaire ou le nombre de nichées sur la tendance temporelle des dates de migration automnales (Table 4). Le nombre de nichées avait un effet significatif sur l'avancement des dates de départ automnal – les migrateurs longue-distance à une seule nichée ayant avancé leur migration alors que les espèces avec une ou 2 nichées ne l'ont pas fait. Chez les courtes-distances la relation au nombre de nichées était plus compliquée: **Les espèces avec des nombres variables de nichées ont retardés leurs dates de migration plus que les espèces avec une ou 2 nichées**.

Table 1. Mixed model analysis of the estimated peak autumn passage time of 65 bird taxa (64 species and one distinct subspecies) at Col de Bretolet (Switzerland) during the three periods analysed (1958–69, 1970–82 and 1988–99). (Species identity was modelled as a random effect. The table gives Wald χ^2 -test data for the following significant fixed effect factors and interactions: period, migration mode (long- versus short-distance migrants), food type (seeds, mainly fruit, mainly insects), number of broods per year (1, variable 1 or 2, 2 or more). The analysis is based on 191 estimated peak autumn passage times (see electronic Appendix). Estimated variance component for species: 4.008 (s.e. 0.792), residual error variance: 0.415 (s.e. 0.054).)

source	d.f.	Wald χ^2	p
period	2	7.2	0.028
migration mode	1	199.5	< 0.001
food type outside the breeding season	2	6.7	0.035
number of broods per year	2	6.6	0.036
period \times migration mode	2	20.8	< 0.001
period \times no. of broods per year	4	12.3	0.015

Table 4. (Jenni et Kéry 2003).

Timing de dispersion juvénile

Sokolov et al. (1998) ont montré que le timing de dispersion juvénile était corrélé positivement au départ automnal chez 13 des espèces étudiées et de manière significative (à $p < 0.05$) chez 5 d'entre elles mais sans différence évidente entre migrateurs longue et courte-distance.

Timing de reproduction

Chez les 2 espèces à nichées multiples, la mésange charbonnière *Parus major* et le pinson des arbres *F. coelebs*, **une reproduction tardive mène à un départ automnal retardé** (Sokolov et al. 1998). Sokolov et al. (2006) ont trouvé que les années avec des dates de reproduction précoces, la migration commençait également plus tôt. **Cette corrélation était valable à la fois pour les espèces nichant en Europe ou en Afrique.**

Le sexe

Mills (2005) a trouvé que quand la migration automnale était retardée chez les passereaux nord-américains, les deux sexes contribuaient à ce retard. Cependant les analyses avec les quartiles rendent ces résultats difficiles pour une généralisation.

Les tendances des populations

Nous n'avons pas trouvé d'étude reliant les tendances des populations aux dates de départ, comme il a été fait avec les dates d'arrivée.

La hauteur de nidification

Ballard et al. (2003) ont détecté des tendances négatives (basées sur le taux de capture automnal à la station de terrain californienne, USA) chez toutes les catégories d'histoires de vie testées (**hauteur de nid, type de nid, possibilité de parasitisme par les cowbird, lieu d'hivernage, préférence de nourriture hivernale, et tolérance pour la présence humaine sur les sites de nidification**).

Cependant, les facteurs liés à la nidification au sol (**les nicheurs en hauteur, hôtes communs des cowbirds**), et les migrateurs **néotropicaux** ont décliné plus vite que les autres. Les nicheurs en hauteur déclinaient plus vite que les nicheurs au sol, ce qui est opposé à la prédiction usuelle.

C) – L'Indice de Population des Rapaces (RPI)

Les chercheurs nord-américains ont construit un indice des populations de rapaces migrateurs qu'ils ont appelé le **Raptor Population Index (RPI)** (Farmer and Hessel 2008; Hessel and Ruelas 2008).

Les raisons

Le monitoring à long terme des populations d'oiseaux en Amérique du Nord existe depuis la moitié du 20^{ième} siècle et est crucial pour identifier les espèces à risques, pour suggérer de possibles facteurs limitants et pour fournir des actions d'aménagement appropriées (Hussell et al. 1992, Rich et al. 2004, Bart 2005) (Farmer et al. 2007). Pas une méthode de monitoring ne peut fournir de données adéquates pour toutes les espèces, il est donc préférable d'utiliser plusieurs programmes, incluant entre autre le monitoring de la migration, pour que chacune se complète (Downes et al. 2000). Suivre des espèces prédatrices comme les rapaces, qui servent d'indicateurs biologiques, peut permettre d'intégrer des signaux à partir de nombreux processus et à de nombreuses échelles géographiques au sein des écosystèmes (Bildstein 2001). **A la différence de beaucoup de passereaux, les rapaces vivent typiquement en faible densité, sont discrets, et sont souvent difficiles à détecter sur leurs territoires de nidification et d'hivernage. Ces caractéristiques réduisent l'efficacité des techniques**

traditionnelles de monitoring comme les **Breeding Bird Surveys (BBSs)** et le **Christmas Bird Counts (CBCs)**, pour suivre les rapaces (Fuller and Mosher 1981, 1987; Kirk and Hyslop 1998; Dunn et al. 2005) (Farmer et al. 2007). En conséquence, la plupart des populations de rapaces nord-américains, par exemple, ne sont pas bien suivies, et de plus amples prospections pour améliorer le monitoring sur les aires de nidification ne sont pas prometteuses pour la plupart des espèces (Rich et al. 2004). Lors d'une récente estimation, Dunn et al. (2005) ont conclu que 11 espèces de rapaces au nord-est de l'Amérique du Nord était suivies de manière insuffisante, soit parce que la précision des tendances existantes était faible ou inconnue soit parce que plus d'un tiers de leur aire **au Canada et aux Etats-Unis** n'était pas couverte par le BBS. Afin de combattre ces déficiences, ils ont recommandé une approche intégrée du suivi, incluant une plus grande couverture du BBS, des BBS additionnelles, des analyses du CBC améliorées, et le **monitoring de la migration**. Une telle intégration sera bénéfique, par exemple si le **monitoring de la migration et le CBCs sont utilisés pour fournir une détection précoce du déclin des populations et les BBS seraient utilisées pour tracer le déclin des populations dans des régions spécifiques de l'aire de nidification** (Dunn et al. 2005) (Farmer et al. 2007).

Les critiques

La validité d'utiliser les comptages de migration pour suivre les populations d'oiseaux a été questionnée (Fuller and Mosher 1981, Kerlinger and Gauthreaux 1985, Smith 1985, Kerlinger 1989), mais de nombreuses études ont trouvé suffisamment de correspondance entre les comptages de migration et d'autres indicateurs de changement des populations pour conclure qu'ils fournissaient de raisonnables estimations des tendances des populations (Mueller et al. 1988, Bednarz et al. 1990, Hussell and Brown 1992, Dunn and Hussell 1995, Francis and

Hussell
1998

(Fig.3),

Ballard et al. 2003, Hoffman and Smith 2003).

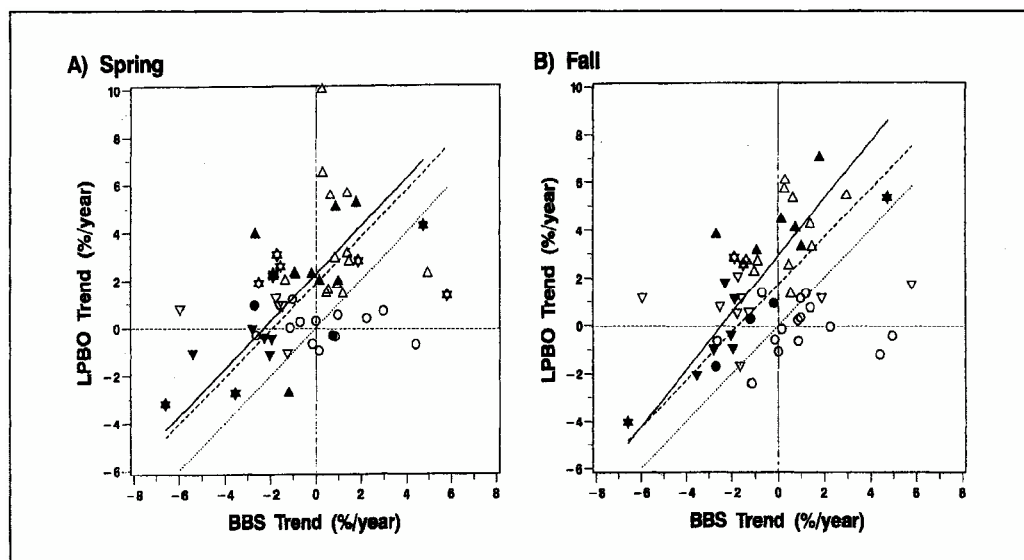


Figure 3.
(Francis and Hussell 1998).

De plus, Farmer et al. (2007) ont comparé les taux de détection des BBS et des sites de migration au Cape May Point, New Jersey, et à Hawk Mountain Sanctuary, Pennsylvania et ont trouvé que ceux-ci sont bas pour beaucoup de rapaces pour le BBS, et que les estimateurs de tendance correspondant avaient par conséquent, une précision assez faible comparée aux autres (Fig.4).

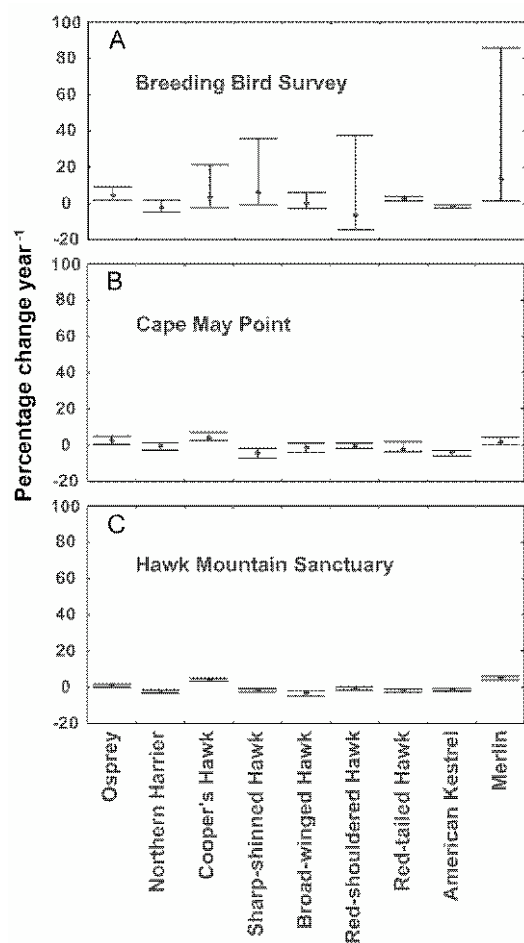


FIG. 1. Population trend estimates and 95% confidence intervals for raptors monitored by (A) Breeding Bird Surveys and at migration watch-sites at (B) Cape May Point, New Jersey, and (C) Hawk Mountain Sanctuary, Pennsylvania.

Figure 4 (Farmer et al. 2007)

hivernal réduit en Afrique, à la dégradation des habitats en Europe, à la chasse et aux effets du changement climatique (BirdLife International 2008).

Une analyse récente à l'échelle du continent à partir de la base de données oiseaux en Europe (Tucker and Heath 1994, BirdLife International 2004) pour la période entre 1970 et 2000 a mis en lumière ce déclin des oiseaux migrateurs (Sanderson et al. 2006). Sur les 30 ans d'étude, 48 (40%) des 119 migrants afro-paléarctiques (migrateurs longue-distance qui nichent en Europe et hivernent en Afrique sub-saharienne) ont montré des tendances négatives importantes. Les oiseaux migrateurs semblent être le groupe le plus affecté par ces déclins de population, car un tel pattern n'est pas apparent chez les non-migrateurs (résidents et migrants courtes-distances) nichant dans les mêmes habitats en Europe (Fig.5).

Une combinaison de menaces incluant la dégradation des habitats en Europe sur les sites de nidification, la chasse en Europe du sud et en Afrique du Nord, et la perte des aires de repos lors de la migration sont probablement les causes de ces déclins (Sanderson et al. 2006). Le taux de survie hivernal réduit dans les habitats secs et ouverts de l'Afrique sub-saharienne est aussi un des facteurs contributifs (Fig.5). La destruction de l'habitat, la désertification et la plus faible disponibilité en ressources dans la zone du Sahel due à la raréfaction des pluies et à l'intensification de l'agriculture peuvent expliquer ces faibles taux

Les méthodes

Les méthodes basiques sont décrites dans Hussell (1981), Francis and Hussell (1998), et Farmer et al. (2007). La procédure décrite par Chris Farmer (North American Monitoring Coordinator, HMSA) standardise les comptages en jours/saison à chaque site de suivi et permet aussi une compensation pour les jours manquants et des covariables additionnelles (e.g. temps.). Pour chaque espèce, le modèle:

(1) identifie la fenêtre journalière **durant laquelle 95% des migrants sont comptés**; (2) sélectionne la fenêtre du passage saisonnier où la moitié des 95% des individus est passée pour toutes les années; (3) calcule un indice de taux de passage [moyenne géométrique estimée et ajustée à la date]; (4) obtient des tendances de taux annuel de passage à l'aide d'un modèle de régressions polynomiales sur les séries temporelles des indices annuels; et (5) Re-paramètre le terme « année » afin de déterminer la significativité des ces estimations de tendance (*vide* Francis and Hussell 1998; Farmer et al. 2007)

D) – La vulnérabilité des oiseaux migrateurs

En Europe

Les oiseaux migrateurs afro-paléarctiques ont souffert d'assez importants déclins au court des 30 dernières années dus à un taux de survie

de survie hivernale. Entre 1970 et 2000, les pratiques agricoles se sont fortement intensifiées - la surface dédiée à l'agriculture en Afrique sub-saharienne a augmenté de seulement 4%, mais la consommation de fertilisants a presque triplée et l'importation de pesticides a augmenté de 5 fois (FAOSTAT). Comme la demande en nourriture va sûrement doubler dans les prochaines 50 années, l'intensification de l'agriculture va certainement augmenter d'autant plus. En conséquence la menace qui pèse sur les oiseaux migrateurs n'est pas prête de s'arrêter (Tilman et al. 2002).

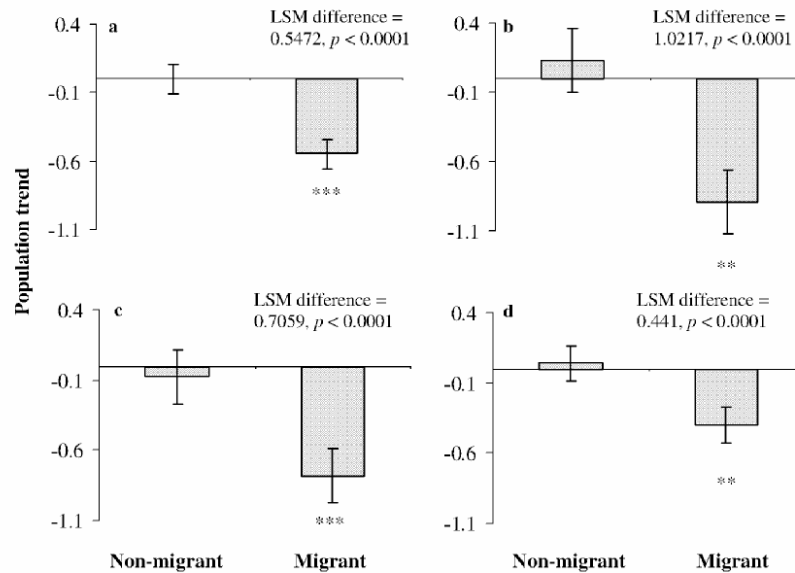


Fig. 1 – Population trends from 1970 to 1990, with standard errors, derived from the paired analysis: (a) all migrant pairs ($n_{\text{pairs}} = 29$; $n = 530$); (b) migrants breeding on the same habitat as their paired non-migrant ($n_{\text{pairs}} = 9$; $n = 92$); (c) migrants to arid open areas in Africa only ($n_{\text{pairs}} = 11$; $n = 204$); (d) migrants to all areas in Africa other than arid open areas in Africa ($n_{\text{pairs}} = 16$; $n = 322$). Asterisks indicate trends significantly different from 0 ($^*p < 0.01$; $^{***}p < 0.001$); the difference of the least squares means (LSM difference) is also shown.

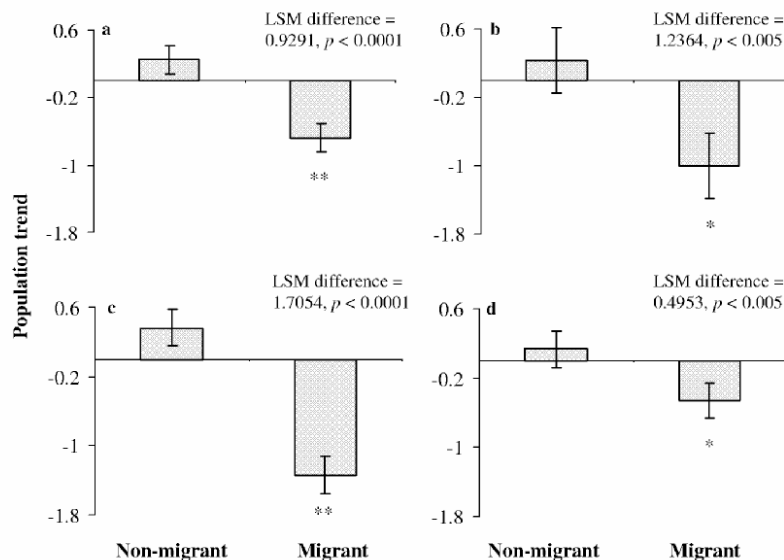


Fig. 2 – Population trends from 1990 to 2000, with standard errors, derived from the paired analysis: (a) all migrant pairs ($n_{\text{pairs}} = 28$; $n = 592$); (b) migrants breeding on the same habitat as their paired non-migrant ($n_{\text{pairs}} = 8$; $n = 110$); (c) migrants to arid open areas in Africa only ($n_{\text{pairs}} = 9$; $n = 224$); (d) migrants to all areas in Africa other than arid open areas in Africa ($n_{\text{pairs}} = 16$; $n = 350$). Asterisks indicate trends significantly different from 0 ($^*p < 0.05$; $^{**}p < 0.01$; $^{***}p < 0.001$); the difference of the least squares means (LSM difference) is also shown.

Figure 5. (Sanderson et al. 2006).

Le changement climatique peut aussi affecter les populations en découplant le timing de disponibilité en ressources alimentaires du timing de migration (voir, e.g., Schaub et al. 2005). Les migrateurs longues-distances sont plus à même d'être affectés par une telle **asynchronie de phénologie**, car des études suggèrent qu'ils seraient moins capables de s'adapter au changement que les espèces non-migratrices **du fait de la taille réduite de leur cerveau et de leurs capacités limitées à résoudre des problèmes** (Schultz et al. 2005, Sol et al. 2005).

En Amérique du Nord

Presque la moitié des oiseaux migrateurs néotropicaux en Amérique du Nord ont souffert de déclin conséquents ces 40 dernières années, particulièrement depuis les années 1980s pour des raisons largement incertaines. En utilisant des données du BBS nord-américain, **Robbins et al. (1989)** ont examiné les tendances populationnelles des oiseaux migrateurs et résidents en Amérique du Nord de **1966 à 1987**. Ils ont trouvé que sur cette période de 22 ans, un déclin général en abondance des espèces d'oiseaux Néartiques-néotropicaux (ceux nichant en Amérique du Nord et hivernant en Amérique latine) s'était produit à l'est du continent. De façon inquiétante, sur juste 10 ans de la seconde période d'étude (1978–1987), **44 (71 %) des 62 migrateurs néotropicaux ont montré des déclin importants.**

Des analyses ultérieures à partir des données BBS ont confirmé ces résultats (Sauer and Droege 1992, Peterjohn et al. 1995). **L'analyse de série temporelles plus longues du BBS ont permis de réviser ce résultat: entre 1980 et 2006, 62 % des migrateurs néotropicaux dans les régions de l'est ont montré des tendances négatives importantes, alors qu'à l'ouest une zone jusqu'à présent non reconnue pour l'effritement de ses populations, 63% des espèces migratrices ont été classées comme déclinantes.** Sur la période entière de 40 ans de données BBS (1966 to 2006) **57 % des migrateurs néotropicaux à travers toute l'Amérique du Nord ont souffert de déclin de leurs populations (Sauer et al. 2007; résumé aussi dans Kirby et al. 2008).**

Les raisons de ces déclin à long terme ne sont pas claires. **Beaucoup d'espèces affectées sont des espèces forestières et la fragmentation de la forêt sur les aires de nidification est une menace importante pour les populations.** Cependant, la **déforestation tropicale** dans les aires d'hivernage en Amérique centrale et dans les îles des caraïbes peut être aussi un facteur important (BirdLife International (2008)).

II – Les données

Les données disponibles sont celles de l’Observatoire Régional de la Migration des Oiseaux (ORMO) qui rassemble 5 sites d’observation en Aquitaine, dans le Sud-Ouest de la France:

- La Pointe de Grave (Médoc – 33)
- La Pointe du Cap Ferret (Bassin d’Arcachon – 33)
- Le col d’Organbidexka (Larrau-Pyrénées-Atlantiques – 64)
- Lizarietta (Sare-Pyrénées-Atlantiques – 64)
- Lindux (Banca-Pyrénées-Atlantiques – 64)

Ces sites sont inclus dans le réseau français d’observatoires de la migration “Mission Migration” (Fig.6).



Figure 6. Les sites d’observation de la migration en France appartenant au réseau « Mission Migration ». Les sites dans la partie Sud-Ouest de la France appartiennent au réseau ORMO.

La Gironde (33) La Gironde est un département d’importance majeure pour les oiseaux, tant en terme d’hivernage, de nidification que de halte migratoire. Située sur un axe migratoire majeur, la quasi-totalité des oiseaux du Paléarctique occidental (région géographique rassemblant l’Europe géographique, l’Afrique du Nord jusqu’au Sahara central, le Moyen-Orient, les archipels des Açores et de Madère, les Canaries et les Iles du Cap Vert) survole la côte atlantique française, et donc la Gironde. Chaque année, au printemps et en automne, des centaines de milliers d’oiseaux empruntent cette voie occidentale.

Les Pyrénées–Atlantiques (64) et leurs cols constituent le point convergent de 2 des plus importants axes de migration européens.

Les sites d'observation de la migration

La pointe de Grave est situé sur la commune du Verdon-sur-Mer (Gironde, 33) (45°34'16" N / 001° 03' 46" O / Altitude: ca. 4 m). Elle est située à l'embouchure de l'estuaire de la Gironde, face à la ville de Royan. Cette configuration géographique unique en France lui confère un très grand intérêt ornithologique notamment lors de la migration au printemps: l'effet "entonnoir" y concentre les oiseaux qui migrent le long de la côte et ceux qui, plus à l'intérieur, hésitent à traverser l'estuaire girondin et en longent la rive sud jusqu'à son extrémité. Ces deux flux convergent alors au-dessus de la Pointe de Grave avant de finalement traverser l'estuaire en direction de la Charente Maritime et, au-delà, vers l'Europe du Nord et la Sibérie.

Ce camp de migration fonctionne chaque année de mi-mars (parfois début avril) à fin mai. Plusieurs « spotteurs » effectuent le suivi quotidiennement, du lever au coucher du soleil. Le protocole utilisé est comparable à celui en vigueur sur les cols basques (« Transpyr »). C'est le seul site de suivi de la migration printanière du réseau ORMO.

La Pointe du Cap Ferret est située sur la commune de Lège-Cap-Ferret (Gironde, 33) (45°37'15 N / 001°15'00 W / Altitude: environ 6m au-dessus du niveau de la mer). Le Cap Ferret est une langue de sable de presque 25 kilomètres de long. Elle s'étire du Nord au Sud sur la côte atlantique girondine formant une presqu'île qui ferme partiellement le bassin d'Arcachon, pour en faire une lagune. Ce vaste plan d'eau (15 000 ha) offre aux oiseaux migrateurs une halte migratoire de choix, notamment à marée basse. Venus d'Europe du Nord et de Sibérie, des centaines de milliers de limicoles, laridés, canards et bernaches regagnent le sud de l'Europe voire l'Afrique pour y passer l'hiver. Mais les oiseaux d'eau ne sont pas les seuls à fréquenter ce site.

Ce camp de migration fonctionne depuis 2002. Il est ouvert chaque année du premier Septembre au 15 Novembre. Pendant 2 mois et demi en automne, plusieurs ornithologues (2 au moins) suivent la migration de l'aube à 14h en suivant le protocole "Transpyr".

Le col de Lizarietta est le plus occidental des 3 cols Pyrénéens. Il est situé sur les communes de Sare en France et d'Etxalar en Espagne. Avec une élévation de seulement 441m, le col de Lizarietta constitue une retraite possible pour les oiseaux quand les vents en direction du sud sont forts.

L'observation de la migration à Lizarietta dure depuis 1988. Ce camp de migration est ouvert chaque année entre le 15 Septembre et le 15 Novembre chaque jour de l'aube au crépuscule.

La Redoute de Lindux est située à 30 km au sud de Saint-Jean-Pied-de-Port et est perché à 1221m au-dessus du niveau de la mer. Le suivi de la migration est assuré depuis 1987 et suit le même protocole que les autres sites de l'ORMO ("Transpyr"). Ce camp de migration est ouvert chaque année entre le 15 Septembre et le 15 Novembre chaque jour de l'aube au crépuscule.

Le col d'Organbidexka est situé au Pays Basque dans les Pyrénées-Atlantiques, à 1283 mètres d'altitude. Au cœur de la forêt d'Irati, plus grande hêtraie européenne, il offre une vue imprenable sur la Haute-Soule et le piémont oriental du Pays basque.

Le suivi de la migration est assuré depuis 1979 du 15 juillet au 15 Novembre de l'aube au crépuscule. C'est l'un des sites de migration les plus importants en Europe de l'Ouest avec Falsterbo (Suède) et le détroit de Gibraltar (Espagne), en particulier pour l'observation des rapaces, des grues cendrées, des colombidés et des cigognes.

Le protocole "transpyr"

Les 5 sites suivent le même protocole appelé “Transpyr” qui est un document écrit de 77 pages (Urcun 1995). Chaque observateur doit le lire et le suivre. Les données collectées sont les suivantes:

Données relatives au site :

- localisation du site et du point d'observation,
- caractérisation de la sphère d'observation,
- détermination des périodes d'études.

Données relatives au contexte météorologiques :

- contexte général,
- contexte local dont :
- vent : vitesse, direction,
- température,
- hygrométrie,
- météores : nature, durée, quantité de précipitation,
- nébulosité,
- typologie des nuages supérieurs, moyens, bas, hauteur de la base des nuages bas,
- pression atmosphérique et tendance barométrique,
- visibilité.

Données relatives aux observateurs :

- nombre et compétence des observateurs,
- assiduité,
- pouvoir de détection,
- technique de détermination,
- notation et standardisation des données,
- consignation et stockage des données.

Données relatives à l'oiseau :

- détermination de l'espèce,
- détermination du statut migratoire,
- taille de l'échantillon,
- détermination de l'âge et du sexe,
- recherche d'indices supplémentaires,
- définition du statut,
- choix tactiques,
- altitude de vol.

III – Problématiques de recherche

Comme cet important jeu de données n'a jusqu'à présent pas été exploité, chaque analyse, même descriptive est d'un intérêt scientifique. Cette exploitation de données alimentera le corpus de connaissance sur la migration européenne d'une part et éveillera l'intérêt de chacun puisqu'il s'agit d'un événement très populaire qui englobe de nombreux volontaires pour son suivi.

Cependant, dans le contexte actuel de crise massive de la biodiversité et de changement climatique, nous nous attacherons à analyser cette base de données dans le but d'améliorer la conservation des espèces. En effet, le statut alarmant de nombreux êtres vivants a récemment augmenté la valeur des programmes de monitoring à un tel point que de nombreux écologues sont maintenant invités à faire des recherches sur les facteurs explicatifs des changements de biodiversité comme le réchauffement climatique en utilisant ce genre de données. De plus, même si les preuves sur l'impact écologique du réchauffement climatique deviennent de plus en plus nombreuses, et que l'alarme a été donnée concernant le statut des oiseaux migrateurs en Europe (Sanderson et al. 2006), de nombreux mécanismes restent à être compris dans le but de prédire des changements futurs. La détermination du statut de vulnérabilité des populations migratrices sera donc une importante tâche de ce travail de recherche ainsi que la désignation des facteurs entraînant une telle vulnérabilité.

Le premier grand chapitre de recherche portera sur **l'impact du changement climatique sur la migration automnale des rapaces**. Les données choisies pour cette question seront celles des sites pyrénéens.

Après un premier traitement exploratoire des données et en tenant compte du contexte bibliographique, nous avons choisi, pour commencer, 2 grands thèmes de recherche :

A- Les tendances des populations migratrices

1- Créer un Raptor Migrating Index pour les sites ouest-pyrénéens et le comparer aux autres indices issus des autres programmes de monitoring comme le French Breeding Bird Survey (FBBS ou STOC) (Annexe 2) et le Pan-European Common Bird Monitoring Schemes (PECBMS) (Annexe 1).

2-Rechercher quels facteurs influent sur les comptages annuels des rapaces.

B- Phénologie

1- Questions méthodologiques

2- Déterminer quels traits d'histoire de vie influent sur les tendances migratrices des rapaces

3- Identifier l'impact du changement climatique sur la migration différentielle des rapaces

A- Les tendances des populations migratrices

1- Le RPI

La construction du RPI est encore à l'état de projet actuellement. Il est prévu de présenter les premiers résultats en Mars 2010 à la conférence internationale de l'EBCC à Caceres, Espagne. Nous présentons ici les premiers questionnements relatifs à ce travail.

Quel intérêt?

Un monitoring des rapaces français pourrait être d'un intérêt spécial à cause de la place importante de la France concernant les rapaces dans le contexte international. En effet, la

France abrite plus de 10% des effectifs européens pour plus de la moitié des espèces et est souvent située au premier ou second rang des abondances. Pour 4 espèces, la **France concentre au moins un tiers des ces effectifs européens connus pour: le busard Saint Martin, le milan noir, le circaète Jean-le-Blanc et le gypaète barbu** (Le statut des oiseaux de France (2006)).

Comme il a été proposé par Dunn et al. (2005) le monitoring de la migration pourrait être utilisé pour fournir une détection précoce du déclin des populations et les enquêtes sur les populations nicheuses pourraient servir à suivre ces déclin sur des régions spécifiques des aires de reproduction. **Un tel monitoring supplémentaire serait donc d'un grand intérêt pour sa complémentarité.**

Avec quels autres indices le comparer ?

En France, une enquête spéciale rapaces existe dans le but de recenser les populations nicheuses, cependant, une telle enquête n'existe pas encore à l'échelle européenne même si elle est en projet. Or, il est plus vraisemblable de penser que les indices pyrénéens de populations migratrices reflèteront plus ceux des populations européennes qu'uniquement ceux des françaises. Le PECBM (<http://www.ebcc.info/index.php?ID=358>) donne seulement des tendances pour 3 espèces de rapaces (le faucon crécerelle *Falco tinnunculus*, le busard des roseaux *Circus aeruginosus* et l'épervier d'Europe *Accipiter nisus*). Mais, Sanderson et al. (2006) ont donné les tendances des populations pour 14 espèces de rapaces de 1970 à 2000 sortis de la base de données de Birds in Europe (Tucker and Heath, 1994; BirdLife International, 2004).

Questions méthodologiques: RPI: 1, 2, 3 or 4 sites?

Parmi les sites de suivi de la migration automnale, les sites pyrénéens forment un ensemble assez homogène tandis que le Cap Ferret est un site plus éloigné géographiquement et ne représentant pas les mêmes espèces. De plus, le protocole de suivi au cap ferret diffère légèrement du « transpyr » (suivi uniquement le matin) et ce site est suivi depuis moins longtemps (2002). Le gain de regrouper les données des 3 sites peut-être questionné. Premièrement, Organbidexka constitue la base de données la plus longue (de 1979 à nos jours), soit 30 ans de données à ce jour, alors que Lindex et Lizarietta couvrent seulement 22 et 21 ans, respectivement. Regrouper les données pourrait avoir pour avantage d'augmenter le nombre de données pour les espèces à effectifs réduits (Fig.7). Une autre possibilité est de



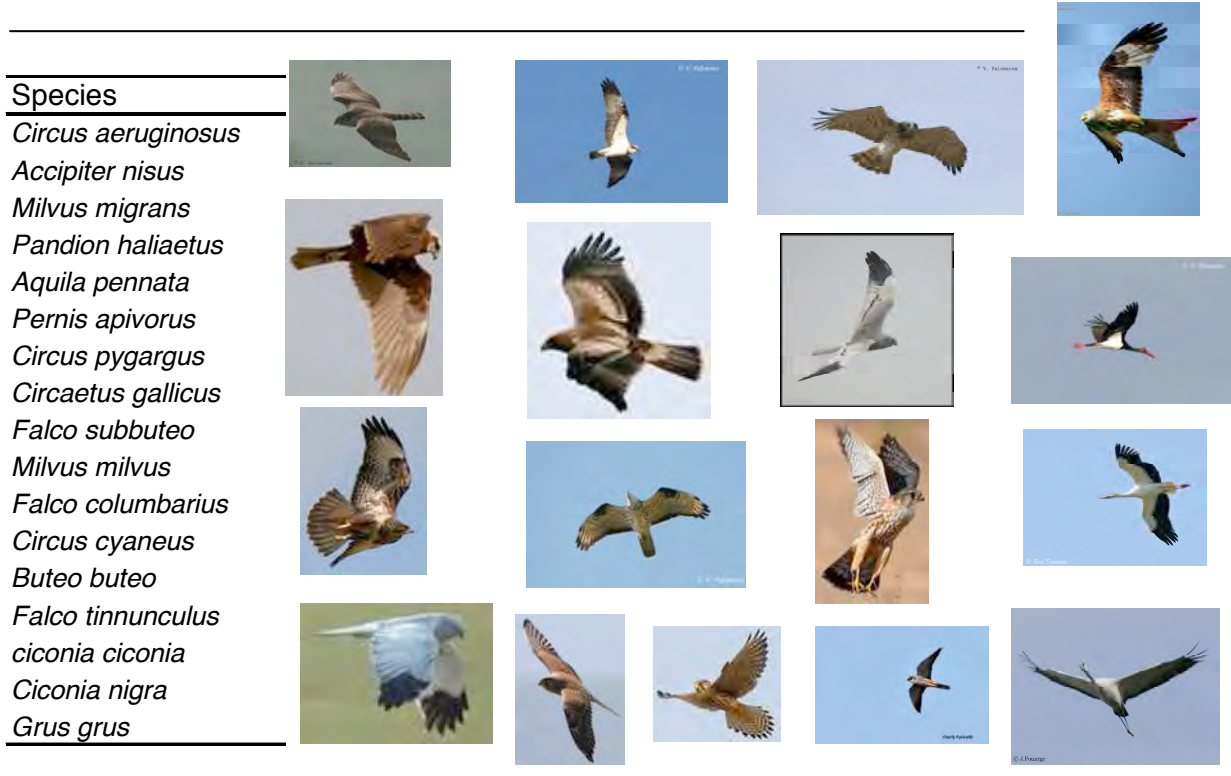
traiter les 3 sites indépendamment. Les conclusions tirées de nos recherches pourront être renforcées si généralisables aux 3 sites.

Figure 7.

Comparaison des dates de migration du busard des roseaux entre les 3 sites pyrénéens.

Mettre à jour les données

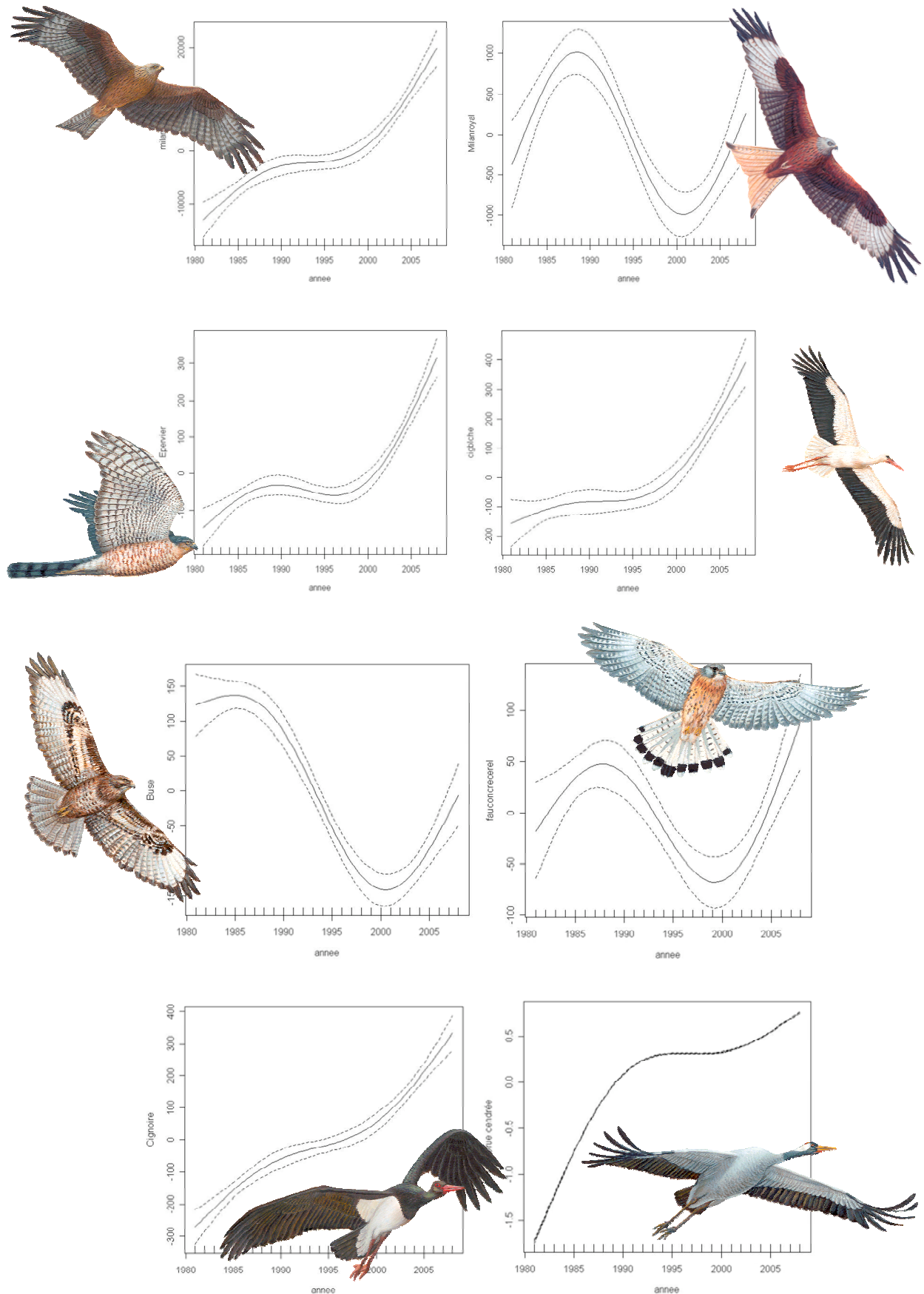
Nous avons d'abord mis à jour les données jusqu'à 2008 pour 14 espèces de rapaces et 3 espèces de grands échassiers très bien représentées à Organidexka (Fig.8).



Year	MIMIL	PERAPI	CIRGAL	MILMIG	AQUPEN	CIRCYA	CIRAER	ACCNIS	FALCOL	FALSUB	PANHAL	CIRPYG	BUTBUT	FALTIN	CICCIC	CICNIG	GRUGRU
1981	2457	16087	87	1406	92	100	182	129	25	58	59	93	268	96	11	35	2777
1982	3459	11359	78	1735	60	124	232	164	37	48	73	90	342	195	15	39	3586
1983	3046	11399	62	2063	47	68	237	172	11	41	66	103	315	123	16	79	1443
1984	3589	9744	85	2236	49	62	74	197	15	27	52	64	338	118	3	27	4816
1985	3685	10814	41	4135	37	75	106	152	19	36	62	47	307	139	7	81	1597
1986	3825	11377	61	2831	63	57	151	250	29	40	45	89	377	159	2	122	3245
1987	3819	8272	62	8610	56	83	111	197	38	61	59	68	336	106	7	128	1183
1988	4039	8638	108	12494	81	109	145	191	20	52	61	127	378	96	37	153	10152
1989	4529	7851	74	5328	81	114	180	293	13	51	68	74	280	212	17	253	3012
1990	4463	10458	94	7285	70	80	321	288	19	47	95	144	218	173	55	271	22573
1991	3774	21504	86	15446	81	104	313	276	32	67	138	76	321	177	101	247	11198
1992	3224	18183	102	12271	52	60	340	203	22	86	96	82	203	104	96	240	3242
1993	2688	9740	105	11800	61	114	339	188	28	61	98	75	211	221	30	311	7806
1994	3668	8889	98	8251	64	40	140	301	28	36	81	60	88	84	20	234	28003
1995	2837	6481	101	7820	42	96	112	182	25	37	95	96	122	82	92	156	9585
1996	2775	7988	74	10790	45	100	173	177	21	29	76	74	91	73	168	236	3913
1997	2478	10033	86	9714	54	62	173	179	30	33	106	68	54	87	75	268	16917
1998	2831	9487	146	12889	87	98	191	254	19	79	118	95	92	68	153	278	12575
1999	2612	9755	131	15310	55	67	189	240	11	66	152	103	34	50	66	291	15403
2000	3107	10676	104	11197	79	64	270	256	30	57	121	75	98	52	242	360	3075
2001	1959	12354	115	15749	51	81	160	221	22	57	120	84	91	89	185	278	10129
2002	1521	6988	135	12368	42	82	237	418	28	44	153	85	72	52	139	434	2212
2003	1699	12133	142	23510	54	45	224	332	31	22	140	88	110	29	155	413	14283
2004	1918	11968	156	18847	90	74	349	418	35	55	198	88	79	70	166	463	26246
2005	2312	9182	156	27402	108	90	258	380	41	40	145	102	99	145	457	568	33019
2006	2414	12422	176	25297	93	85	408	512	26	57	186	88	112	135	547	510	5463
2007	3964	9325	169	33304	70	103	277	516	34	54	130	145	156	198	379	510	21787
2008	3562	9624	162	29304	106	158	207	599	18	42	146	77	174	252	594	584	10830
min	1521	6481	41	1406	37	40	74	129	11	22	45	47	34	29	2	27	1183
max	4529	21504	176	33304	108	158	408	599	41	86	198	145	378	252	594	584	33019
moy	3080.500	10811.821	107.000	12478.286	66.786	85.893	217.821	274.464	25.250	49.393	104.964	87.857	191.643	120.893	136.964	270.321	10359.643
SD	860.509	3164.121	38.545	8720.259	20.070	27.077	88.997	121.708	8.553	15.868	42.233	23.695	115.411	61.004	165.720	162.633	9016.911
slopin	-0.015	-0.007	0.037	0.0817	0.012	0.002	0.019	0.043	0.010	0.001	0.042	0.005	-0.059	-0.008	0.150	0.073	0.055
trendpoly%	-34.827	-15.419	144.215	729.784	31.694	4.304	64.382	147.584	27.107	3.158	225.460	13.139	-73.523	-14.574	910.569	943.923	997.809
per year	-1.290	-0.571	5.341	27.029	1.174	0.159	2.385	5.466	1.004	0.117	8.350	0.487	-2.723	-0.540	33.725	34.960	36.956
gamk=3	xbest	xbest	x	xbest	xbest	xbest	xbest	xbest			xbest	x	xbest	xbest	xbest	xbest	xbest
gamk=2	x	x	xbest	x	x	x	x	x			x	xbest	x	x	x	x	x

Figure 8. Effectifs annuels de 17 espèces à Organidexka. Slopin = valeur de la pente d'une régression simple effectifs~année ; trendpoly% = variation en pourcentage sur la période d'après un modèle polynomial de degré 2 ; x dans la rangée correspondant à gamk=3 et 2 (degrés 3 ou 2) renseigne si des modèles non-linéaires décrivent les données de façon significative et xbest indique si le modèle est le meilleur de tous, modèles linéaires compris.

Puis nous avons déterminé les tendances des populations (Fig.8 et 9). Toutes les tendances linéaires sont significatives sauf pour *Falco subbuteo* et *Circus cyaneus*.



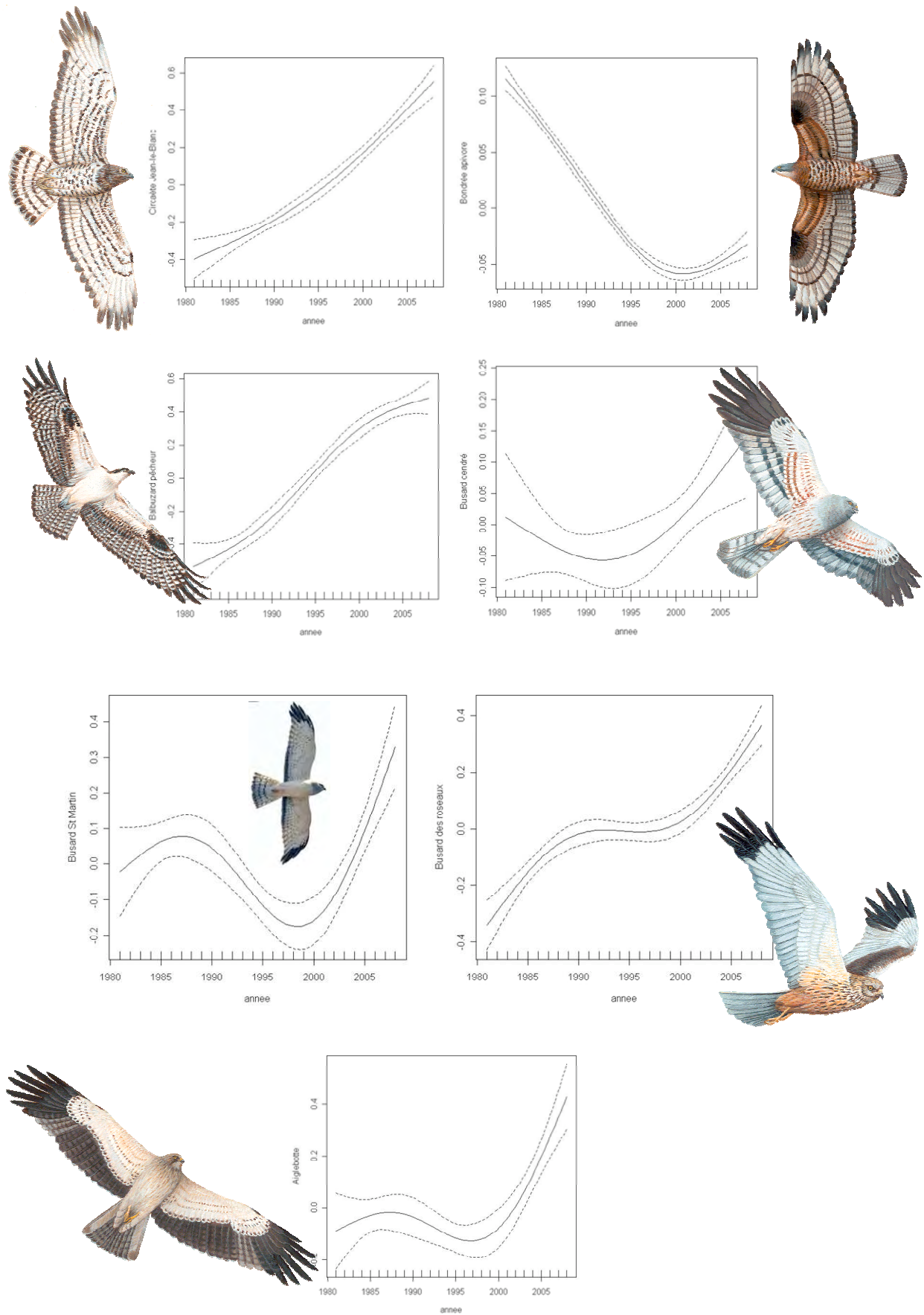


Figure 9. Evolution des populations migratrices à Organbibexka (tendances non-linéaires).

Raptor Population Index: Ce qu'il reste à faire:

- 1- Intégrer les données de Lindux et Lizarietta pour créer un indice ouest-pyrénéen.
- 2- Intégrer les données météorologiques prises sur les sites chaque heure et pendant 30 ans (entrées récemment dans la base de données pour Organbidexka) et le nombre d'observateurs afin d'affiner les tendances et de tenir compte des heures et jours non-suivis.
- 3- Etudier les facteurs pouvant influencer sur les données de comptages: Nombre d'observateurs, données météorologiques ... (travail sur Organbidexka).
- 4- Travail sur chaque espèce
- 5- Travail sur chaque site (entrer les données météorologiques pour les autres sites ou se servir des données météorologiques existantes des stations voisines (i.e. Biarritz); entrer les données relatives au nombre d'observateurs).

2-Rechercher quels facteurs influent sur les comptages annuels des rapaces.

Des premières recherches ont été faites sur les facteurs influençant les comptages. Une partition hiérarchique de la variance sur les données de comptage du busard des roseaux a permis de déterminer la part de pouvoir explicatif de plusieurs variables telles que: Le nombre d'observateurs, la direction et la force des vents, la durée des observations, le nombre de visiteurs à Organidexka. Les 3 premiers facteurs expliquaient la majeure partie de la variance (Fig 10).

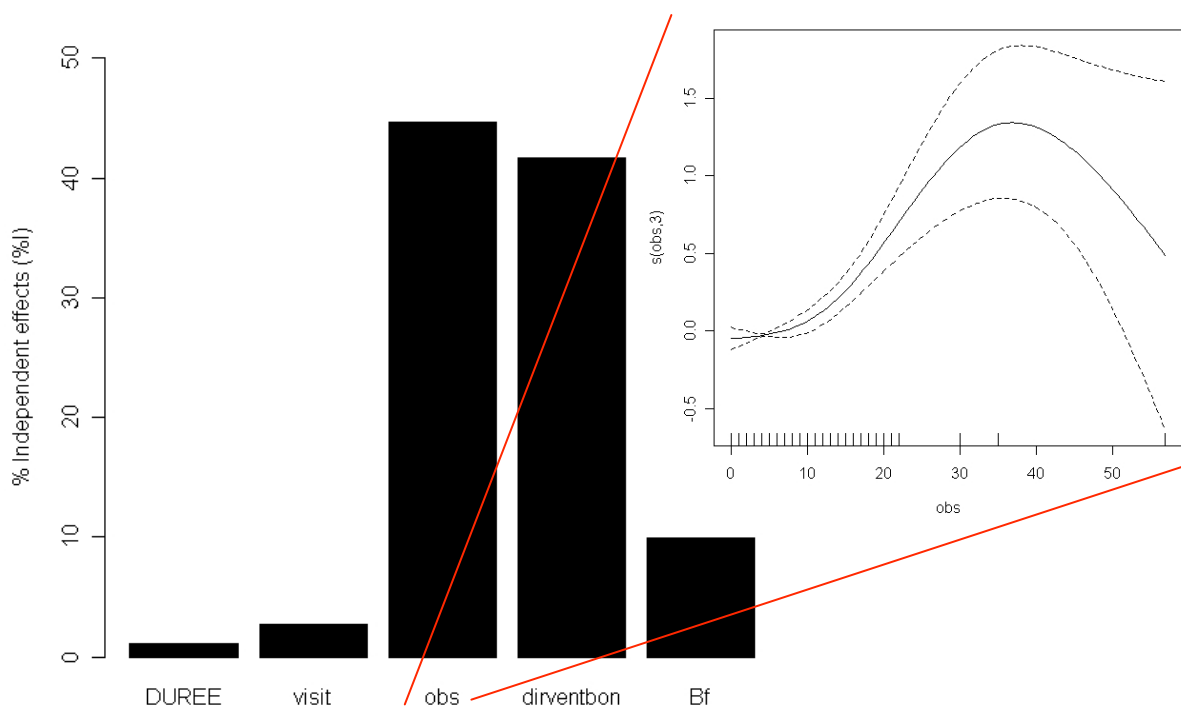


Figure 10. Partition hiérarchique de la variance sur les données de comptage du busard des roseaux et modélisation de l'effet « nombre d'observateurs » sur les données de comptage.

Quand le facteur temps a été testé seul sur la période (1990-2008), nous avons trouvé que les effectifs du busard des roseaux déclinaient significativement sur cette période (glm(counts~year, « poisson »): -0.01 ± 0.02 , $P < 0.001$). Quand les autres facteurs ont été pris en compte cette tendance n'était plus significative (Table 5).

Table 5. Résultats de l'ANOVA (Type III error) testant la significativité de la tendance annuelle chez le busard des roseaux de 1990 à 2008.

	Df	F	Pr(>F)	
obs	1	25.913	<0.001	***
DUREE	1	2.113	0.146	
Dirvent	15	2.479	0.001	**
Bf	1	6.624	0.010	*
Hour	1	0.607	0.436	
Day	1	2.809	0.094	.
Year	1	0.036	0.849	

Obs = nombre d'observateurs,
DUREE = durée de l'observation,
Dirvent = direction du vent, BF =
Force du vent en beauforts, Hour =
heure, Day = jour, Year = année

Ces premiers résultats montrent qu'il est important de tenir compte de ces facteurs pour déterminer les tendances des espèces. Malheureusement, le nombre d'observateur n'a été noté quantitativement qu'à partir de 1990, ce qui nous empêche de prendre en compte ce facteur sur toute la période malgré son évidente importance.

Nous avons alors recherché si ces différents facteurs montraient des tendances temporelles sur la période entière.

Tendances à long-terme des données météorologiques:

Evolution de la fréquence des vents de Nord et Sud à Organbidexka.

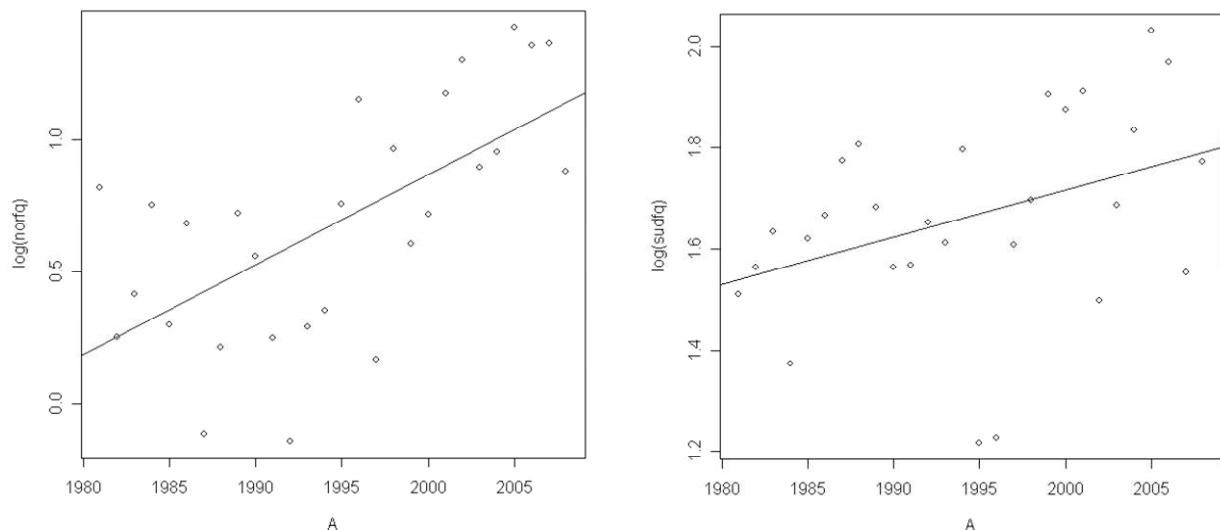


Figure 11. Fréquence des vents de Nord et Sud en fonction des années (1981-2008).

Nous avons trouvé une augmentation plus importante de la fréquence des vents de Nord que des vents de Sud. La fréquence des 2 vents a augmenté significativement sur la période à Organbidexka (Fig.11).

B- Phénologie

1- Questions méthodologiques: Quelle mesure utiliser?

Les différentes variables utilisées pour calculer les dates d'arrivée/départ des espèces migratrices ont été regroupées dans la review de Lehikoinen et al. (2004) (Table 6). Plus récemment, Moussus et al. (soumis) ont testé l'efficacité de ces différentes mesures quant à la détermination du décalage phénologique réel.

Table 1 Typical response variables used to describe arrival/departure times of migratory species

Variable	Definition	Problems	Benefits
First arrival/last departure	First individual observed in spring/last in autumn (of unknown status, local breeder or transient migrant)	Large random variance; atypical behaviour; data quality tests mostly lacking	Easy to observe, cheap, volume of data
Median arrival/departure	The middle individual arriving in/departing from a closely followed <i>breeding</i> population	Difficult, labour-intensive, requires special study	Closest to fitness consequences
Mean arrival/departure	Average arrival/departure date of all birds followed in the study area	As above, but not as easy, because of complex arrival distributions	Close to fitness consequences
Median/mean migration time	The middle or average date of migration in an intensively studied migration flow	Unknown mixture of passing populations, difficult statistical distributions, problems with mixing breeding populations	Is done in bird stations in standard ways, plenty of data available

Table 6. (Lehikoinen et al. 2004).

Nous présentons ici un résumé de ces 2 études:

a)- Lehikoinen et al. (2004): Jusqu'à présent la plupart des recherches sur le timing d'arrivée ont seulement regardé les mesures simples ci-dessus. **Les mesures de première arrivée** renseignent sur les réponses des oiseaux d'un seul côté de la distribution (Loxton et al., 1998; Loxton and Sparks, 1999). Les points de vue les plus sceptiques disent que les données les plus précoces sont causées par des comportements atypiques (Loxton and Sparks, 1999) et qu'en conséquence, ce genre de données en dit peu sur la réponse véritable de la population. Avec les données récentes comprenant le monitoring complet de la période de migration, les dates de première arrivée peuvent être couplées aux données sur la dynamique complète de la migration. Cela permet de tester comment ces 2 mesures sont corrélées l'une à l'autre (Vähätalo et al., 2004; Sparks et al., in press; Tøttrup, 2004). En général, il y a une **corrélation positive**.

Des dates de migration moyennes et médianes ont également été utilisées, ainsi que d'autres percentiles (Vähätalo et al., 2004), (Lehikoinen et al. 2004).

b)- Moussus et al. (soumis): Un des principaux problèmes dans les études sur la phénologie est le choix de la méthode d'estimation des variations phénologiques i.e. le timing d'un événement biologique. Les données phénologiques peuvent être décrites comme la distribution saisonnière d'un phénomène biologique car ce phénomène ne se produit pas en même temps pour tous les individus. De nombreuses méthodes ont été utilisées dans la littérature afin de déterminer le calcul d'un décalage phénologique: la première apparition d'un événement biologique a été souvent utilisée comme proxy pour le timing de toute la distribution (Both, Bijlsma & Visser, 2005; Sparks et al., 2005; Donnelly et al., 2009; Primack et al., 2009). Même s'il a été critiqué pour sa sensibilité à l'effort et à la taille de l'échantillon (Tryjanowski & Sparks, 2001; Miller-Rushing, Inouye & Primack, 2008a; Miller-Rushing, Primack & Stymeist, 2008c; van Strien et al., 2008), il reste encore très

utilisé dans les études récentes, particulièrement concernant la migration des oiseaux. D'autres méthodes permettent l'estimation de la variation phénologique en se fiant à une proportion variable de la distribution totale saisonnière. Celles-ci incluent l'estimation des données de percentile (Jonzen et al., 2006) ou des dates moyennes (Miller-Rushing et al., 2008b).

Le développement récent des techniques de lissage statistiques a également permis l'utilisation de méthodes non-paramétriques pour modéliser les distributions saisonnières des événements biologiques (Knudsen et al., 2007; Moussus et al., 2009). Un travail récent a montré que la magnitude de la réponse de l'espèce aux variables climatiques était influencée par le choix de la méthode de modélisation phénologique (Miller-Rushing et al., 2008b). Cependant ces différences ne disent pas quelles méthodes s'approchent le plus près de la variation phénologique réelle. En effet, ces études ont été conduites en utilisant des données réelles de terrain pour lesquelles la véritable variation phénologique reste inconnue.

Afin de répondre à cette question de manière adéquate, le résultat de l'estimation attendue doit être connu à l'avance de façon à ce que l'efficacité des différentes méthodes ainsi que leur sensibilité aux paramètres contrôlant la distribution puissent être évaluées.

Dans cette étude, Moussus et al. proposent de comparer les résultats de 4 méthodes sur des données phénologiques simulées. **Ils se sont focalisés sur les dates de première apparition, les dates moyennes, les dates des percentiles 10%, 25%, 50%, 75%, 90% et une méthode développée récemment utilisant le fonction spline et le maximum de vraisemblance (méthode GAM) (Moussus et al., 2009).** En utilisant le compromis entre variance d'estimation et biais d'estimation, ils ont donné un score à ces méthodes en relation avec divers paramètres simulés mais réalistes de distributions saisonnières. Certains de ces paramètres sont liés aux propriétés biologiques de l'événement comme sa symétrie, son nombre de modes, sa synchronie entre différentes saison ou sa durée. Les autres se rapportent à l'échantillonnage comme la différence en nombre d'individus entre 2 saisons de monitoring et les trous dans la distribution dus à l'absence d'échantillonnage.

Simulation des données phénologiques: Les données phénologiques ont été simulées avec un changement phénologique connu afin de comparer l'efficacité des différentes méthodes à prédire celui-ci (e.g. Figure 12).

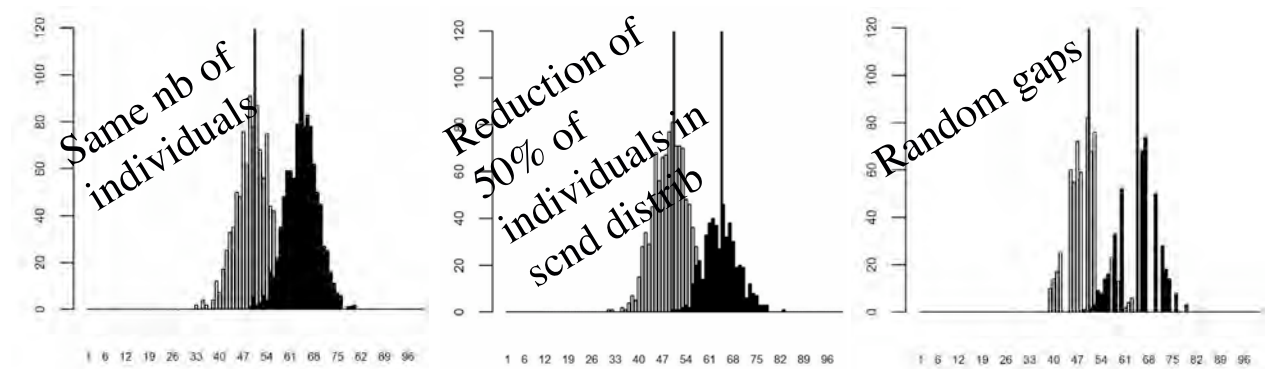


Figure 12. Comparaison de l'efficacité d'estimation du décalage phénologique de 4 méthodes : 3 exemples montrant les données simulées suivant des distributions normales.

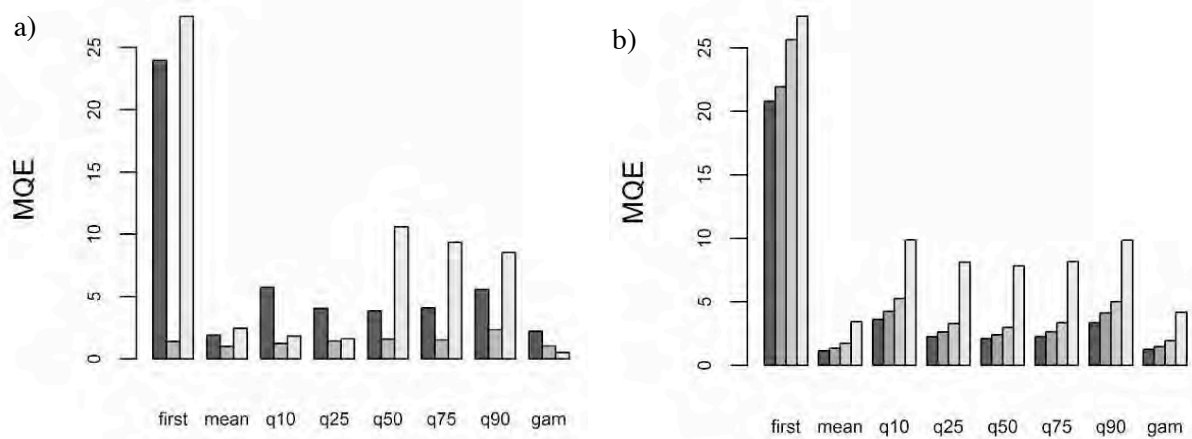


Figure 13. Comparaison de l'efficacité d'estimation du décalage phénologique de 4 méthodes: Erreur quadratique moyenne (MQE) pour les estimations du décalage phénologique connu. a)-Des barres foncées à claires: distributions normales, Beta et Bimodal; b)- Des barres foncées à claires: tailles d'échantillon égales, réduction de 25% de la taille d'échantillon dans les dernières distribution, réduction de 50% de la taille d'échantillon dans les dernières distribution, données manquantes dans les 2 distributions phénologiques)

Conclusion: Les meilleurs estimateurs dans des cas de distributions multimodales, de données manquantes, et de variations de tailles d'échantillon sont la méthode GAM les dates moyennes (figure 13).

2- Déterminer quels traits d'histoire de vie influent sur les tendances migratrices des rapaces.

*****Manuscript 1*****

28 ans de suivi de la migration des rapaces révèlent une avance du passage automnal des migrants longues-distances (Présenté à la conférence internationale de la Raptor Research Foundation (RRF 2009, 30 Sept-3 Oct ; en révision chez Journal of Ornithology).

Résumé

Les preuves de changements phénologiques en réponse au changement climatique sont maintenant nombreuses. Un des changements les plus documenté a été l'avance des dates d'arrivée des oiseaux migrants au printemps. Cependant, les effets du changement climatique sur les événements ultérieurs du cycle de vie annuel demeurent faiblement étudiés et compris. De plus, les rares études sur la migration automnale ont concerné principalement les passereaux. Ici, nous avons cherché à savoir si les rapaces avaient changé leur phénologie migratoire automnale au cours des 30 dernières années au point convergent des axes majeurs de migration de l'ouest européen en France, le col d'Organidexka, dans les Pyrénées occidentales. Huit des 14 rapaces étudiés ont montré des changements phénologiques significatifs sur la période allant de 1981 à 2008. Les migrants longues-distances ont montré des réponses phénologiques plus importantes que les migrants courtes-distances et ont avancé leurs dates moyennes de passage de manière significative. Les tendances négatives et non-significatives des populations nicheuses et migratrices des migrants courtes-distances ainsi que des dates de passages retardées chez seulement quelques espèces ont empêché de

suggérer un quelconque processus de sédentarisation de la part de ces migrateurs « européens ». Nous avons trouvé que les tendances négatives des effectifs migratoires étaient liées à des réponses phénologiques plus faibles. De plus amples recherches en utilisant des données d'autres sites de migration sont nécessaires afin de mettre en évidence d'éventuels changements de routes de migration ou des processus de sédentarisation.

Introduction

Les organismes vivants ont développé de nombreuses réponses face aux 30 dernières années de réchauffement climatique à la fin du 20^{ième} siècle (Walther et al. 2002). Le décalage phénologique des espèces, étudié grâce aux données de monitoring à long terme, fait partie des réponses les plus documentées. De nombreuses études ont rapporté une avance du début de la saison de reproduction ou de croissance chez un grand nombre d'espèces d'animaux et de plantes. Parmi elles, celles sur les dates d'arrivée printanières des oiseaux migrateurs en Europe ont été particulièrement remarquables (Sokolov et al. 1998; Lehikoinen et al. 2004; Sparks et al. 2005; Zalakevicius et al. 2006). Cependant, les effets du changement climatique sur les événements ultérieurs du cycle de vie annuel, comme la migration automnale, demeurent faiblement étudiés et compris (mais voir Jenni and Kery 2003). Les preuves de retard ou d'avance de la migration post-nuptiale sont équivoques dans de multiples études avec certaines espèces partant plus tôt et d'autres plus tard (Gatter 1992; Bairlein and Winkel 2001; Gilyazov and Sparks 2002; Lehikoinen et al. 2004). En fait, la réponse phénologique dépend souvent des traits spécifiques d'histoire de vie (Lehikoinen et al. 2004). En effet, Jenni et Kery (2003) ont montré pour 65 espèces de passereaux que leurs tendances temporelles de date de pic de passage dépendaient de quelques traits comme la stratégie migratoire, le nombre de nichées ou le type de nourriture.

Comme la plupart des études ont été faites sur les passereaux, du fait du nombre important de stations de suivi de la migration par le baguage, la phénologie de migration des rapaces, de même que les changements phénologiques en fonction des traits d'histoire de vie, restent très peu étudiés.

Nous avons choisi ici d'étudier ces possibles décalages phénologiques en utilisant le suivi visuel de la migration à un des plus importants points de convergence des axes migratoire d'Europe de l'Ouest en France, le col d'Organbidexka, Pyrénées occidentales. Pour ce faire, nous avons calculé les dates de passage moyennes pondérées par l'abondance pour 14 espèces de rapaces sur une période de 28 ans (1981-2008), et nous avons tenté de mettre en évidence des tendances à long terme sur ces dates moyennes. Par la suite, nous avons testé si les variations de tendances temporelles dans les dates de passage dépendaient de plusieurs traits : la stratégie migratoire : nous prédisions que les migrateurs longues-distances ont avancé leurs dates de passage automnal. En effet, leur survie pourrait augmenter s'ils étaient capables de s'adapter aux changements écologiques dus au changement climatique pendant la migration et sur les sites d'hivernage (Jenni & Kéry 2003), (2) La stratégie migratoire: les dates d'arrivée et de départ pourraient être liées à la période de mue des espèces. La mue des plumes de vols est nécessaire chaque année aux rapaces mais peut ne pas se produire de façon simultanée à la migration car elle en réduirait les capacités de vol à voile. Les espèces remplaçant les larges plumes de vol (ailes et queue) avant la migration pourraient être plus soumises à cette contrainte et partirait plus tard que les autres, (3) Le temps de génération: si la sélection pour un changement de phénologie en réponse au changement climatique se produit effectivement, ce changement devrait se produire de manière plus rapide chez les espèces avec un temps de génération plus court.

Dans un deuxième temps, nous avons regardé la relation entre les tendances populationnelles nicheuses et les tendances phénologiques de la migration. Chez les oiseaux européens (Møller et al. 2008), la plupart des espèces déclinantes pourraient être celles montrant les plus faibles réponses au changement climatique. Nous avons fait cette prédiction avec les tendances relatives aux populations nicheuses. Comme les tendances migratrices peuvent signifier à la fois un processus de sédentarisation ou un déclin, nous avons également trouvé intéressant de tester cette relation avec les tendances des populations migratrices à Organbidexka.

Méthodes

Lieu d'étude

Les Pyrénées occidentales et leurs cols constituent un des points convergents le long du plus important axe de migration d'Europe de l'Ouest. Le principal col pour la migration des rapaces est le col d'Organbidexka (43°02'19.06"N, 1°00'21.68"W). Il est situé au Pays Basque, dans le département des Pyrénées-Atlantiques (Sud-Ouest de la France), à 1283 m au-dessus du niveau de la mer. Il est l'un des plus importants sites de migration en Europe de l'Ouest avec Falsterbø (Suède) et le détroit de Gibraltar (Espagne), particulièrement pour l'observation des rapaces, des cigognes, des grues et des pigeons.

Les données de migration

Au col, le suivi annuel automnal est conduit du 15 juillet au 15 novembre de l'aurore au crépuscule par des nombres variés d'observateurs parmi lesquels des permanents qualifiés présents toute la période. Les effectifs annuels de rapaces avoisinent les 40,000 individus. Nous avons utilisé un jeu de données comprenant 28 ans de comptage de la migration, commençant en 1981 et jusqu'à 2008, suivant la même méthodologie tout au long de la période. Les effectifs journaliers des oiseaux volant vers le sud ont été utilisés pour les analyses.

Les traits testés ont été tirés de différentes sources: le temps de génération et la stratégie de migration, du livre « Birds in Europe II » (Birdlife International 2004), les stratégies de mue, de Cramp et al. (1977-1984). Les tendances des populations nicheuses européennes ont été tirées de Birdlife International (2004) et transformées en une échelle à 6 niveaux (comme dans Møller et al. 2008), allant du large déclin à l'augmentation modérée (appelé "TrendEU" par la suite), alors que les tendances locales à Organbidexka ont été calculées comme les pentes de la relation effectifs annuels en fonction de l'année (appelées "TrendOrg") (Table 7). Le busard des roseaux a été classé comme migrateur longue-distance car les oiseaux passant les Pyrénées viennent des populations nicheuses d'Europe du nord qui hivernent principalement en Afrique sub-saharienne (Strandberg et al. 2008).

Table 7. Traits d'histoire de vie, tendances populationnelles et tendances temporelles des dates moyennes de passages ces 28 dernières années à Organbidexka pour 14 espèces de rapaces.

species	Temporal trend	Migration	Moult	Generationtime	TrendEU	TrendOrg
<i>Circus aeruginosus</i>	-0.360	long	BM	6	2	0.019
<i>Accipiter nisus</i>	-0.326	short	BM	4	1	0.043
<i>Milvus migrans</i>	-0.205	long	BAM	6	-3	0.082
<i>Pandion haliaetus</i>	-0.173	long	BAM	9	2	0.042
<i>Aquila pennata</i>	-0.140	long	BM	11	0	0.012
<i>Pernis apivorus</i>	-0.125	long	BAM	9	0	-0.007
<i>Circus pygargus</i>	-0.122	long	BAM	6	2	0.005
<i>Circaetus gallicus</i>	-0.029	long	BM	13	-1	0.037
<i>Falco subbuteo</i>	-0.019	long	BAM	5	0	0.001
<i>Milvus milvus</i>	-0.009	short	BM	6	-2	-0.015
<i>Falco columbarius</i>	-0.005	short	BM	3	NA	0.010
<i>Circus cyaneus</i>	0.302	short	BM	6	NA	0.002
<i>Buteo buteo</i>	0.317	short	BM	8	1	-0.059
<i>Falco tinnunculus</i>	0.320	short	BM	3	-2	-0.008

Temporal trend = La pente de la relation entre les dates de passage et l'année (n=14), Migration= la stratégie migratoire (migrateur courte ou longue-distance), Generationtime = âge moyen des femelles nicheuses, Moult = stratégie de mue (BM=avant migration, BAM = avant et après migration), TrendEU = Tendances des populations sur une échelle en 6 points allant du large déclin à l'augmentation modérée, TrendOrg = pente de la relation entre les effectifs des rapaces et les années.

Analyses statistiques

Des méthodes variées de modélisation phénologique créées dans le but de calculer les décalages phénologiques existent dans la littérature. Elles comprennent les dates de première apparition (Sparks et al. 2005; compilées dans Lehikoinen et al. 2004), les dates moyennes et médianes (Sokolov et al. 1998; Vähätalo et al. 2004; Sparks et al. 2005), différents percentiles (Jonzen et al. 2006) ou des techniques de lissage (Knudsen et al. 2007). Même si la fiabilité de ces méthodes n'a pas encore été intensivement comparée, les dates de premières apparition ainsi que les autres méthodes se fiant à de faibles proportions de la distribution totale phénologique ont provoqué des critiques majeures (Tryjanovski and Sparks 2001; Miller-Rushing et al. 2008). Cette question est d'autant plus cruciale avec la phénologie de migration des rapaces car certaines espèces présentent une distribution phénologique bimodale due aux différences de dates de passage entre mâles et femelles et entre juvéniles et adultes. De plus, il existe une importante variation de taille d'échantillon entre années dans nos données. Pour régler ce problème, les 2 méthodes les plus robustes sont les dates de passage moyennes et les techniques de lissage qui tiennent toute les deux compte de la distribution totale et produisent des estimateurs sensibles aux distributions phénologiques bimodales (Moussus et al. soumis). Les résultats qui sont présentés ici sont les estimateurs calculés à partir de la méthode des dates moyennes de passage, même si les résultats obtenus avec la méthode de lissage sont très similaires. En effet, il existe une forte corrélation entre les estimations de décalage phénologique entre les 2 méthodes qui va de $r = 0.55$, $n = 28$, $P = 0.002$ pour le faucon émerillon (*Falco columbarius*), à $r = 0.98$, $n = 28$, $P < 0.001$ pour l'épervier d'Europe (*Accipiter nisus*) avec un coefficient moyen de Pearson de $r = 0.90 \pm 0.11$ pour les 14 espèces. Les détails méthodologiques sur la méthode GAM de lissage peuvent se trouver dans Moussus et al. (2009).

La tendance temporelle des dates de passage moyen a été modélisée à l'aide de modèles linéaires et sa significativité testée avec des Analyses de Variance (ANOVAs). Les effets de la date de mue, de la stratégie migratoire et du temps de génération étaient ajustés les uns aux

autres (ANOVAs, type III error). Les relations entre les tendances temporelles des dates de passage moyennes et les tendances des populations ont été modélisées et testées de la même façon (modèles linéaires et ANOVAs, Type III error).

Les analyses statistiques ont été faites avec le logiciel R (Team 2006).

Résultats

Les décalages phénologiques au cours des 28 années étaient significatifs chez 8 des 14 espèces de rapaces étudiées. Ils allaient de -10 jours pour le busard des roseaux (*Circus aeruginosus*) à +9 jours pour le faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) (Table 2). Deux espèces (*Aquila pennata* et *Circus pygargus*) présentaient des p-values inférieures à 0.10 (Table 8).

Table 8. Décalages phénologiques (pente (slope) de la relation date de passage moyenne en fonction de l'année à Organbidexka (\pm SE) et P-values (one-tail t-test) pour chacune des 14 espèces de rapaces.

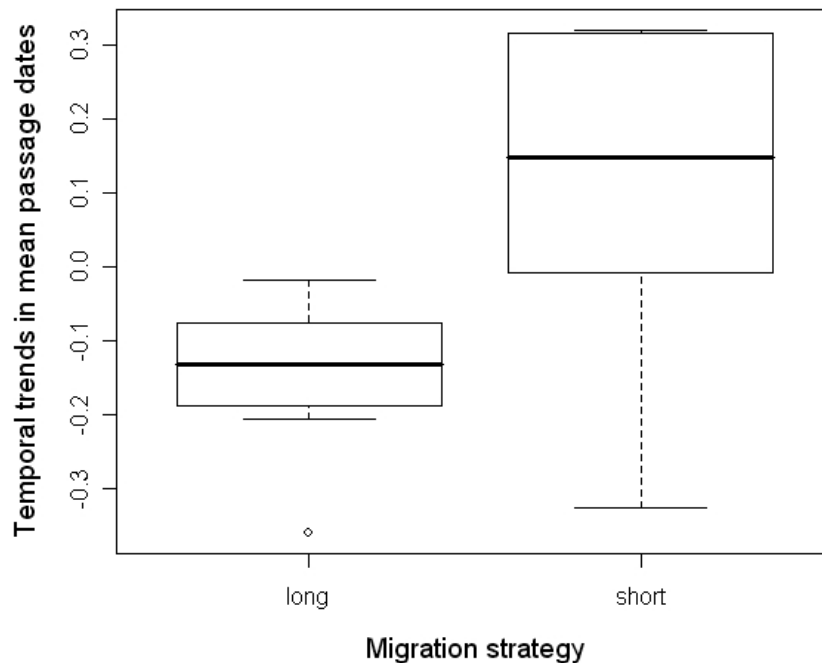
Species	slope (Days/year) \pm SE	slope (Days/27years)	p-value
<i>Circus aeruginosus</i>	-0.360 \pm 0.082	-9.729	<0.001
<i>Accipiter nisus</i>	-0.326 \pm 0.096	-8.799	0.002
<i>Milvus migrans</i>	-0.205 \pm 0.058	-5.548	0.002
<i>Pandion haliaetus</i>	-0.173 \pm 0.069	-4.667	0.020
<i>Aquila pennata</i>	-0.140 \pm 0.076	-3.777	0.078
<i>Pernis apivorus</i>	-0.125 \pm 0.038	-3.386	0.003
<i>Circus pygargus</i>	-0.122 \pm 0.061	-3.295	0.057
<i>Circaetus gallicus</i>	-0.029 \pm 0.072	-0.795	0.686
<i>Falco subbuteo</i>	-0.019 \pm 0.082	-0.503	0.823
<i>Milvus milvus</i>	-0.009 \pm 0.082	-0.246	0.913
<i>Falco columbarius</i>	-0.005 \pm 0.077	-0.148	0.944
<i>Circus cyaneus</i>	0.302 \pm 0.143	8.154	0.046
<i>Buteo buteo</i>	0.317 \pm 0.125	8.548	0.018
<i>Falco tinnunculus</i>	0.320 \pm 0.141	8.635	0.033

Lien avec les traits d'histoire de vie

Nous avons trouvé que la stratégie de migration expliquait de façon significative le changement de phénologie ($F_{1,10} = 5.83$, $P=0.03$) quand elle était ajustée à la stratégie de mue ($F_{1,10} = 0.84$, $P=0.37$) et au temps de génération ($F_{1,10} = 1.72$, $P=0.21$). Le modèle avec la stratégie de migration comme seul prédicteur expliquait 33% de la variance totale ($F_{1,12} = 5.92$, $P = 0.03$). Les autres traits n'expliquaient pas la tendance temporelle des dates moyennes de passage quand ils étaient testés séparément. Les migrateurs longues-distances présentaient une pente négative significative de leur tendance temporelle de dates de passage (-0.14 ± 0.06 , $P = 0.04$) alors que les migrateurs courtes-distances présentaient une pente positive non-significative (0.09 ± 0.07 , $P = 0.23$; Fig.14).

Aucun des migrateurs longues-distance (8 espèces) n'ont retardé leur migration automnale au cours des 30 dernières années, alors que 3 des 6 migrateurs courtes-distances ont retardé leur passage significativement (e.g. Fig.15, Table 8).

Figure 14. Boxplot des tendances temporelles des dates moyennes de passage en fonction de la stratégie migratoire (courtes et longues-distances) pour 14 espèces de rapaces migrant à Organbidexka.



Lien avec les tendances populationnelles

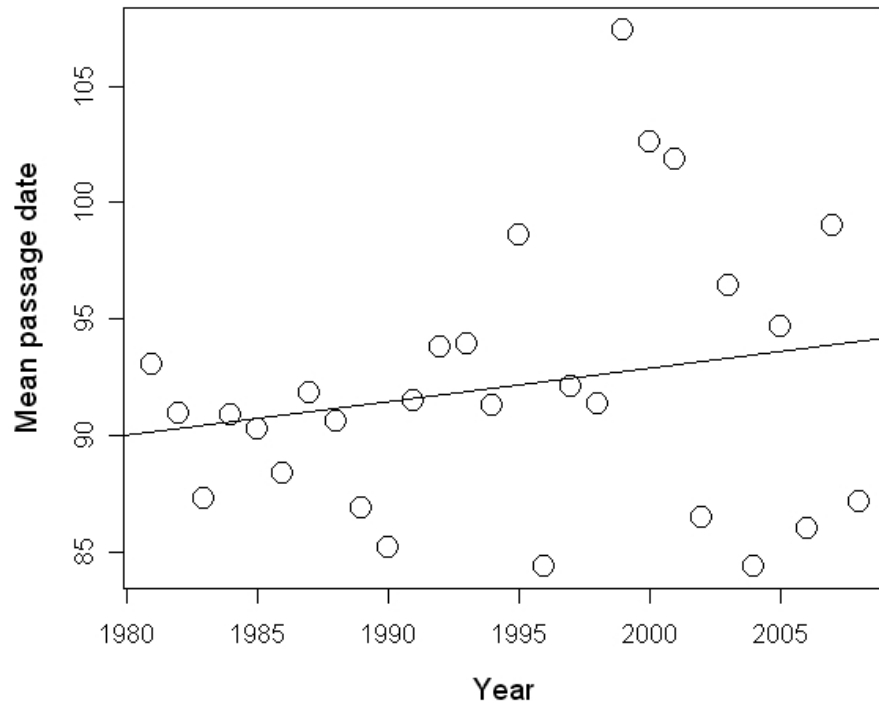
Nous n'avons pas trouvé de relation négative significative entre les tendances des populations nicheuses européennes (TrendEU) et les tendances temporelles des dates moyennes de passage ($F_{1,10} = 1.17$, $R^2 = 10.5\%$, $P = 0.30$) alors que les tendances populationnelles des oiseaux migrateurs à Organbidexka (TrendOrg) et les tendances temporelles des dates moyennes de passage étaient négativement et significativement corrélées ($F_{1,12} = 8.73$, $R^2 = 42\%$, $P = 0.01$) (Fig.16). Quand ajustée à l'effet de la stratégie de migration, de mue et au temps de génération, la relation entre les tendances des populations nicheuses et les tendances phénologiques restait non-significative alors que la relation entre les tendances migratoires et les tendances phénologiques devenait significative (TrendEU: $F_{1,7} = 0.48$, $P = 0.50$; TrendOrg: $F_{1,9} = 2.98$, $P = 0.11$).

Les tendances des populations migratrices n'étaient pas différentes selon la stratégie migratoire des espèces ($F_{1,12} = 2.94$, $P = 0.11$) avec des effectifs de migrateurs courtes-distances ne montrant pas de tendance significative (-0.005 ± 0.033 , $P = 0.74$, $n = 6$) alors que les effectifs des migrateurs longues-distances augmentaient (0.024 ± 0.028 , $P = 0.05$, $n = 8$) à Organbidexka.

Les tendances des populations nicheuses et migratrices n'étaient pas corrélées en considérant toutes les espèces ($F_{1,10} = 0.32$, $R^2 = 0.03$, $P = 0.57$). Il n'y avait pas de différence pour cette relation entre les différentes stratégies de migration (TrendEU x Migration strategy: $F_{1,8} = 0.58$, $P = 0.46$).

Figure 15. Exemples de changement de phénologie migratoire pendant 28 ans chez (a) un migrateur courtes-distances, la buse variable (*Buteo buteo*) et (b) migrateur longues-distances, l'aigle botté (*Aquila pennata*). Les dates moyennes sont données en nombre de jours, le premier jour étant le 12 juillet.

a)



b)

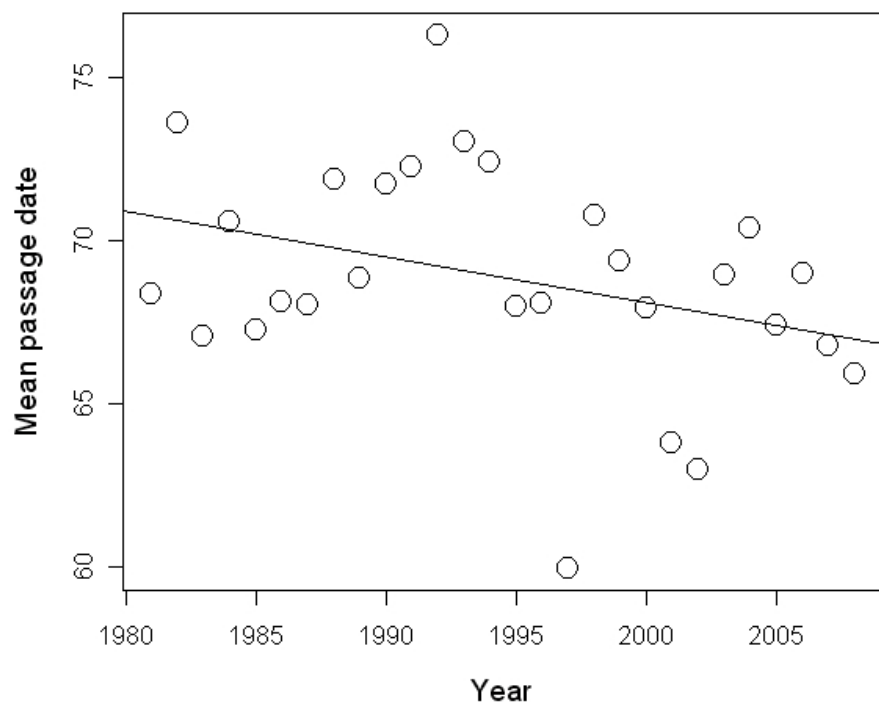
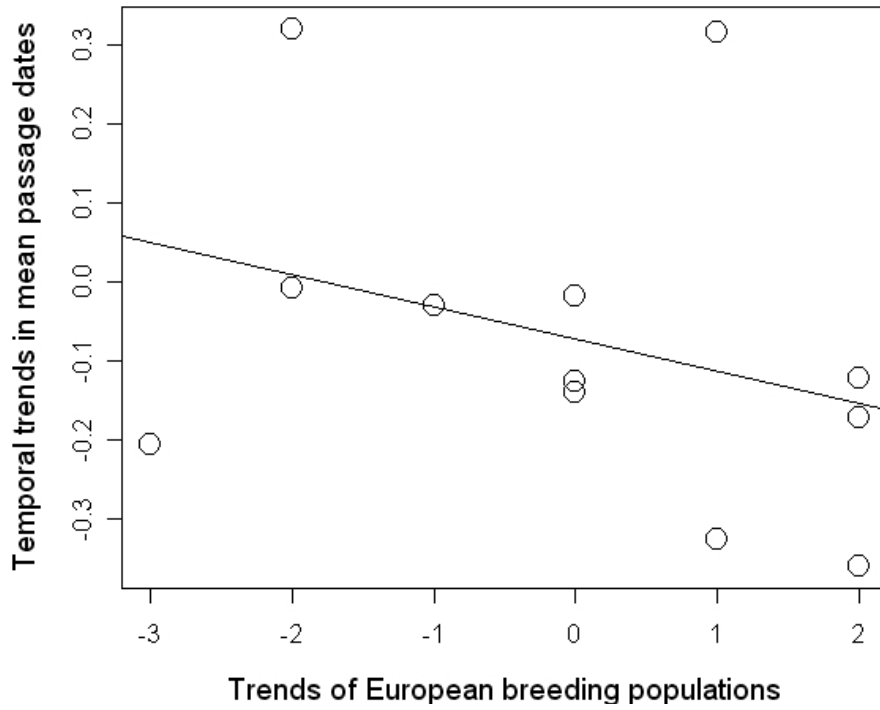
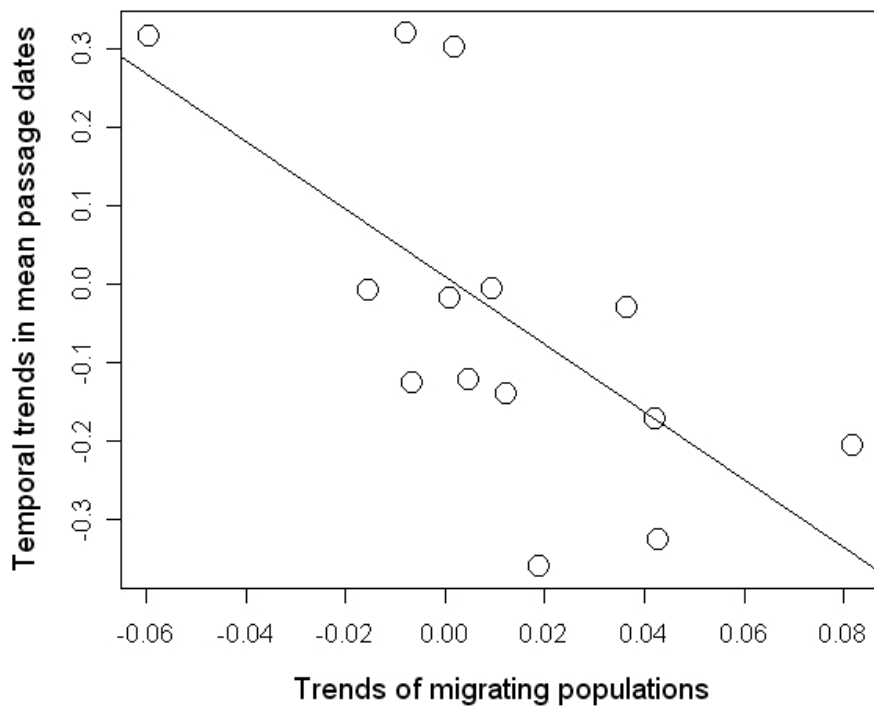


Figure 16. Relation entre la tendance phénologique et (a) la tendance des populations nicheuses européennes (b) la tendance des populations migratrices.

a)



b)



Discussion

Les tendances phénologiques

Le résultat principal de l'étude montre que les migrateurs longues-distances ont avancé leurs dates de passage lors de la migration post-nuptiale ces derniers 28 ans, alors que certains des migrateurs courtes-distances ont retardé leurs passages. Apparemment, les rapaces semblent présenter la même réponse dichotomique que les passereaux en fonction de leur stratégie de migration (Jenni and Kery 2003) ce qui est en faveur d'un pattern commun de réponse au changement climatique parmi les oiseaux, les mêmes contraintes entraînant les mêmes adaptations même chez des espèces d'oiseaux présentant des traits démographiques très différents.

Cependant, quelques exceptions demeurent au sein des migrateurs courtes-distances suggérant que d'autres traits pourraient être responsables du changement de phénologie. Par exemple, l'épervier (*Accipiter nisus*) a montré une avance importante de ces dates de passage moyennes alors qu'il ferait partie des migrateurs courtes-distances. Il est possible qu'une part importante des individus passant à Organidexka soit des migrateurs longues-distances.

Au sein du même genre, les comparaisons entre espèces sont également intéressantes (Sanderson et al. 2006). Par exemple, les busards cendrés (*Circus pygargus*) et Saint Martin (*Circus cyaneus*) montrent des réponses très différentes au changement climatique. Le premier est un migrateur longues-distances et a avancé ses dates de migration alors que le second niche en Europe et en Afrique du Nord et a retardé sa migration. Au sein du genre *Falco*, les réponses sont aussi étonnamment contrastées. Seul le faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) qui peut être classé comme migrateur courtes-distances, a montré une forte réponse (un retard) en termes de tendance phénologique, alors que le faucon émerillon (*Falco columbarius*) n'a pas répondu du tout. Comme migrateur longues-distances, le faucon hobereau (*Falco subbuteo*) n'a pas montré de dates de migration plus précoces. Organidexka n'est peut-être pas le meilleur site de migration pour étudier les tendances phénologiques de ces 2 derniers faucons, ces espèces présentant les plus petits effectifs annuels parmi les 12 autres espèces (49.39 ± 15.87 pour le faucon hobereau; 25.25 ± 8.55 pour le faucon émerillon). En conséquence, des décalages phénologiques significatifs pourraient être plus difficiles à mettre en évidence.

Relations entre décalages phénologiques et tendances populationnelles

Aucune relation n'a été trouvée entre les tendances des populations nicheuses et les tendances phénologiques. Nous aurions pu nous attendre à ce que les espèces montrant des tendances de population croissantes soient celles qui aient le plus décalé leur phénologie automnale. En effet, c'est ce qui a été trouvé chez 100 espèces de passereaux européens en estimant le décalage phénologique à partir des dates d'arrivée au printemps (Møller et al. 2008). Il est aussi possible que notre taille d'échantillon ne soit pas assez importante pour mettre en évidence un tel effet, ou qu'il n'y ait pas de telle relation chez les rapaces.

En revanche, les diminutions d'effectifs migratoires des espèces tendaient à être associées aux dates de passage les plus tardives. Cependant, si une diminution d'effectif sur les aires de reproduction peut être interprétée comme un déclin des populations nicheuses, cela ne peut pas s'appliquer aux effectifs migratoires. Une diminution des effectifs migratoires peut être liée à une disparition du comportement migratoire même si une population est stable, dans le cas d'un possible processus de sédentarisation. Nous n'avons ici pas de preuves d'un tel processus chez les rapaces migrateurs européens puisque seuls quelques migrateurs courtes-

distances ont retardé leur migration et que ce groupe ne montre pas de tendances négatives des effectifs migratoires.

De plus amples recherches sur les liens entre distances de recapture issues de base de données de baguage sur les espèces suspectées d'avoir commencé un processus de sédentarisation (*Buteo buteo*, *Falco tinnunculus*) seraient nécessaires afin de mettre en évidence ce phénomène. Nous pouvons ajouter que des preuves de raccourcissement des distances entre zones de nidification et d'hivernage ont été montrées récemment chez 24 espèces d'oiseaux et que cela a été proposé comme possible explication pour un avancement plus important des dates d'arrivée au printemps chez les espèces migratrices courtes-distances en comparaison aux espèces migratrices longues-distances (Visser et al. 2009). Parmi ces espèces, le busard Saint Martin, le faucon crécerelle et la buse variable ont montré des diminutions significatives de leurs distances de recapture hivernales – et ont retardé leurs dates moyennes de passage à Organbidexka -, alors que l'épervier d'Europe et le busard des roseaux n'ont montré aucune tendance – les deux migrant plus tôt à Organbidexka. Des comparaisons des tendances issues d'autres sites de migration comme Gibraltar et Falsterbø seraient aussi très informatives.

Remerciements

Nous voudrions remercier les nombreux volontaires comptant les oiseaux à Organbidexka depuis les débuts de l'observatoire de la migration. Nous remercions également la Ligue de Protection des Oiseaux et Organbidexka Col Libre réunis dans le Programme ORMO (Observatoire Régional de la Migration des Oiseaux en Aquitaine) pour avoir financé cette étude et fourni les données.

Références

- Bairlein F, Winkel W (2001) Changes and Risks. In: Lozan, JL, Graül H, Hupfer P (eds) Climate of the 21st Century. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, pp 278-282
- Birdlife International (2004) Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status. Cambridge, UK
- Cramp S, Simmons KEL, Perrins CM (eds) (1977–1994) The Handbook of the Birds of Europe, North Africa and the Middle East, Vol. 9. Oxford University Press, Oxford
- Gatter W (1992) Zugzeiten und Zugmuster im Herbst: Einfluss des Treibhauseffektes auf den Vogelzug? J Ornithol 133:427-436
- Gilyazov A, Sparks T (2002) Change in the timing of migration of common birds at the Lapland Nature Reserve (Kola Peninsula, Russia) during 1931–1999. Avian Ecol Behav, 8:35-47
- Jenni L, Kéry M. (2003) Timing of autumn bird migration under climate change: advances in long-distance migrants, delays in short-distance migrants. Proc R Soc Lond B 270:1467-1471
- Jonzén N, et al. (2006) Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. Science 312:1959-1961
- Lehikoinen E, Sparks T, Zalakevicius M (2004) Arrival and departure dates. In: Møller AP, Fiedler W, Berthold P (eds) Birds and Climate Change. Advances in Ecological Research, vol 35. Academic Press, NY, pp1–31
- Miller-Rushing AJ, Lloyd-Evans TL, Primack RB, Satzinger P (2008) Bird migration times, climate change, and changing population sizes. Glob Chang Biol 14:1959-1972

- Møller AP, Rubolini D, Lehikoinen E (2008) Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. *Proc Natl Acad Sci USA* 105:16195-16200
- Moussus JP, Jiguet F, Clavel J, Julliard R (2009) A method to estimate phenological variation using data from large-scale abundance monitoring programmes. *Bird Study* 56:198-212
- R Development Core Team (2006) R, A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna. Available from <http://www.Rproject.org>. Accessed September 2006
- Sanderson FJ, Donald PF, Pain DJ, Burfield IJ, van Bommel FPJ (2006) Long-term population declines in Afro-Palearctic migrant birds. *Biol Conserv* 131: 93–105
- Sokolov LV, Markovets MYu, Shapoval AP, Morozov YuG (1998) Long-term trends in the timing of spring migration of passerines on the Courish Spit of the Baltic Sea. *Avian Ecol Behav* 1:1-21
- Sparks TH, Bairlein F, Bojarinova JG, Huppopp O, Lehikoinen EA, Rainio K, Sokolov LV, Walker D (2005) Examining the total arrival distribution of migratory birds. *Glob Chang Biol* 11:22-30
- Strandberg R, Klaassen RHG, Hake M, Olofsson P, Thorup K, Alerstam T (2008) Complex timing of Marsh Harrier *Circus aeruginosus* migration due to pre- and post-migratory movements. *Ardea* 96:159-172
- Tryjanowski P, Sparks TH (2001) Is the detection of the first arrival date of migrating birds influenced by population size? A case study of the red-backed shrike *Lanius collurio*. *Int J Biometeorol* 45:217-219
- Vähätalo A, Rainio K, Lehikoinen A et al (2004) Spring arrival of birds depends on North Atlantic Oscillation. *J Avian Biol* 35:210-216.
- Visser M, Perdeck AC, Van Balen JH, Both C (2009) Climate change leads to decreasing bird migration distances. *Glob Chang Biol* 15:1859-1865
- Walther GR, et al (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416:389-395.
- Zalakevicius M, Bartkeviciene G, Raudonikis L et al (2006) Spring arrival response to climate change in birds: a case study from eastern Europe. *J Ornithol* 147:326-343

3- Identifier l'impact du changement climatique sur la migration différentielle des rapaces

*****Manuscript 2*****

Impact du changement climatique sur la migration différentielle des rapaces (*soumis pour présentation à la conférence internationale « Bird Migration and Global Change, Algéiras, Mars 2010 ; soumis à Journal of Avian Biology*).

Résumé

La migration différentielle des oiseaux ainsi que l'effet du changement climatique sur leur phénologie migratoire ont été largement étudiés. Cependant, la question de savoir si la migration différentielle pourrait avoir subi des modifications du fait du changement climatique a reçu beaucoup moins d'attention ou s'est principalement focalisé sur les différences de phénologie printanière entre sexes.

Ici, nous avons d'abord recherché s'il existait une différence de phénologie migratoire entre les classes d'âge et de sexes chez 3 et 8 espèces de rapaces, respectivement, à l'un des plus importants sites de migration pour les rapaces en Europe de l'Ouest, le col d'Organbidexka, dans les Pyrénées, Sud-Ouest France. Nous avons alors recherché s'il existait une tendance temporelle pour cette différence de phénologie et avons regardé si ces différences étaient expliquées par des conditions climatiques à large échelle ou locales.

Nous avons trouvé des différences significatives de dates de passage entre juvéniles et individus plus âgés ainsi qu'entre femelles et mâles chez 8 et 3 espèces de rapaces étudiées, respectivement. Cette différence entre les dates de passage des juvéniles et des individus plus âgés a diminué sur 28 ans chez le busard des roseaux *Circus aeruginosus* et la bondrée apivore *Pernis apivorus*. De même, le décalage de phénologie entre femelle et mâles a diminué de manière significative depuis 1981 chez le busard des roseaux. Nous avons trouvé que la fréquence et la force des vents de Sud expliquaient les différences de timing entre classes d'âge chez le busard des roseaux alors que la NAO expliquait ces différences chez la bondrée apivore. La NAO et la fréquence des vents d'Est expliquaient les différences de timing entre sexes chez le busard des roseaux. La tendance temporelle locale des vents ainsi que le dimorphisme entre individus et les différences de techniques de vol entre juvéniles et adultes pourraient expliquer la plus grande avance phénologique des juvéniles.

Introduction

De nombreuses recherches ont étudié la migration différentielle chez les oiseaux (Kjellén 1992; Kjellén 1994; Spina et al. 1994; Swanson et al. 1999; Agostini 2001, 2004; Yosef et al. 2003; Rubolini et al. 2004; Carlisle et al. 2005; Mills 2005a,b; Palacín et al. 2009). Le terme de migration différentielle a été attribué à la situation où les routes de migration, les périodes migratoires et/ou la localisation des zones d'hivernage différaient entre classes d'individus distinguables (âges, sexes ou races) au sein d'une population d'oiseaux (Gauthreaux 1982; Terrill & Able 1988). Ce serait la norme chez les oiseaux migrateurs selon la review de Cristol et al. (1999). Dans le même temps, d'autres études ont montré que le changement climatique influençait la phénologie de migration chez de nombreuses espèces d'oiseaux (Forchhammer et al. 2002; Hubálek ; Hüppop and Hüppop 2003; Lehikoinen et al. 2004; Vähätalo et al. 2004; Sparks et al. 2005; Gordo and Sanz 2006; Jonzen et al. 2006; Sokolov et al. 2006). Cependant, la question de savoir si le changement climatique pouvait affecter la migration différentielle a reçu bien moins d'attention et s'est principalement focalisée sur les différences de timing d'arrivée printanière entre sexes (Spottiswoode et al. 2006; Rainio et al. 2007; Palacín et al. 2009). Par exemple, Rainio et al. (2007) prédisaient que puisque les mâles et les femelles migraient à des périodes différentes et hivernaient dans des lieux différents, le changement climatique devait affecter les dates d'arrivée des 2 sexes différemment. Spottiswoode et al. (2006), qui ont recherché les effets de la sélection sexuelle sur l'avancement de la migration pré-nuptiale en réponse au changement climatique, ont trouvé un impact significatif de ce premier sur ce dernier et ont suggéré que la connaissance du système de reproduction des espèces pourrait aider à prédire les changements phénologiques de celles-ci.

Comme la reproduction est un événement majeur dans le cycle d'histoire de vie des oiseaux, la plupart des études explorant la protandrie ou les différences de timing entre classes d'âges, ont été menées en relation avec les dates de reproduction (Spina et al. 1994; Kokko 1999; Agostini 2001, 2004; Møler et al. 2001; Kissner et al. 2003; Rubolini et al. 2004; Kokko 2006; Spottiswoode et al. 2006; Rainio et al. 2007), alors que beaucoup moins se sont référées aux dates de migration automnale (mais voir: Bildstein et al. 1984; Kjellén, 1992; Swanson et al. 1999; Mueller 2000; Carlisle et al. 2005; Mills 2005a,b, Palacín et al. 2009). De la même manière, les hypothèses relatives au timing différentiel de la migration automnale entre classes d'âge ont été très peu étudiées alors que les adultes et les jeunes de l'année subissent des contraintes différentes liées à des différences de phénologie (Bildstein et al. 1984, Hussell 1991, Woodrey & Chandler 1997), et que le changement climatique peut générer des réponses différentes de phénologie dans les sub-populations de différents âges (Mills, 2005a).

La plupart des études sur la migration différentielle se sont basées sur les recaptures de bagues et en conséquence principalement sur les passereaux. Cependant, le monitoring des rapaces, à travers l'observation visuelle de la migration, s'est maintenant largement développé. La qualité accrue des guides de reconnaissance permettent de déterminer l'âge et le sexe des individus pour de nombreuses espèces de rapaces, de même que le développement du matériel d'optique (Kjellén 1994). Les rapaces sont intéressants à étudier, en relation aux différentes hypothèses sur les causes de la migration différentielle, en raison de leur dimorphisme sexuel inversé (Kjellén 1994). Il est également très important de comprendre l'impact du changement climatique sur ces indicateurs biologiques (Bildstein 2001). De plus, contrairement aux passereaux, l'efficacité des techniques traditionnelles de monitoring, comme les Breeding Bird Surveys (BBSs) sont réduites chez les oiseaux de proie (Farmer et al. 2007). Les études sur les rapaces grâce aux données de monitoring de la migration sont donc en conséquence importantes pour leur conservation.

Nous avons d'abord recherché s'il existait des différences significatives de timing de la migration automnale entre classes de sexe et d'âge chez 3 et 8 des espèces de rapaces, respectivement, à l'un des sites les plus importants pour la migration des rapaces en Europe de l'Ouest, le col d'Organbidexka dans les Pyrénées, dans le Sud-Ouest de la France. Nous avons alors exploré une possible tendance temporelle de ces différences de phénologie et recherché si ces différences étaient liées à des conditions climatiques à large échelle, comme reflétées par l'indice de l'Oscillation Nord Atlantique (NAO) ou par des conditions météorologiques locales telles que la force et la direction des vents à Organbidexka.

Matériel et Méthodes

Le lieu d'étude

Les Pyrénées occidentales et leurs cols constituent un des points convergents le long du plus important axe de migration d'Europe de l'Ouest. Le principal col pour la migration des rapaces est le col d'Organbidexka (43°02'19.06"N, 1°00'21.68"W). Il est situé au Pays Basque, dans le département des Pyrénées-Atlantiques (Sud-Ouest de la France), à 1283 m au-dessus du niveau de la mer. Il est l'un des plus importants sites de migration en Europe de l'Ouest avec Falsterbø (Suède) et le détroit de Gibraltar (Espagne), particulièrement pour l'observation des rapaces, des cigognes, des grues et des pigeons.

Données sur la migration

Au col, le suivi annuel automnal est conduit du 15 juillet au 15 novembre de l'aurore au crépuscule par des nombres variés d'observateurs parmi lesquels des permanents qualifiés présents toute la période. Les effectifs annuels de rapaces avoisinent les 40,000 individus. Nous avons utilisé un jeu de données comprenant 28 ans de comptage de la migration, commençant en 1981 et jusqu'à 2008, suivant la même méthodologie tout au long de la période. Les effectifs journaliers des oiseaux volant vers le Sud ont été utilisés pour les analyses.

Modéliser la phénologie

Des méthodes variées de modélisation phénologique créées dans le but de calculer les décalages phénologiques existent dans la littérature. Elles comprennent les dates de première apparition (Sparks et al. 2005; compilées dans Lehikoinen et al. 2004), les dates moyennes et médianes (Sokolov et al. 1998; Vähätalo et al. 2004; Sparks et al. 2005), différents percentiles (Jonzen et al. 2006) ou des techniques de lissage (Knudsen et al. 2007). Même si la fiabilité de ces méthodes n'a pas encore été intensivement comparée, les dates de premières apparition ainsi que les autres méthodes se fiant à de faibles proportions de la distribution totale phénologique ont provoqué des critiques majeures (Tryjanovski and Sparks 2001; Miller-Rushing et al. 2008). Cette question est d'autant plus cruciale avec la phénologie de migration des rapaces car certaines espèces présentent une distribution phénologique bimodale due aux différences de dates de passage entre mâles et femelles et entre juvéniles et adultes. De plus, il existe une importante variation de taille d'échantillon entre années dans nos données. Pour régler ce problème, les 2 méthodes les plus robustes sont les dates de passage moyennes et les techniques de lissage qui tiennent toute les deux compte de la distribution totale (Moussus et al. soumis). Les résultats qui sont présentés ici sont les estimateurs des décalages phénologiques calculés à partir de la méthode de lissage (Moussu et al. 2009), même si les résultats obtenus à partir de la méthode des dates moyennes de passage étaient très similaires

(Appendice). En effet, il existe une forte corrélation entre les estimations issues de ces 2 méthodes (avec un coefficient de Pearson moyen $r = 0.60 \pm 0.16$ pour les 8 espèces). L'avantage de la méthode de lissage est qu'elle fournit une erreur associée à l'estimation du décalage phénologique.

La méthode proposée par Moussus et al. (2009) a pour but d'estimer les décalages phénologiques et leurs erreurs standards associées entre des distributions phénologiques (distribution de comptage au cours du temps au sein d'une saison de monitoring). Cette méthode consiste principalement en ce simple algorithme : La distribution saisonnière des effectifs d'un groupe (par exemple, les mâles) est choisie comme distribution référence. En conséquence, les décalages phénologiques entre groupes d'intérêt (mâles et femelles dans cet exemple) vont représenter le décalage entre le passage des mâles et des femelles. Afin de calculer ce décalage entre les 2 groupes pour une année donnée, le modèle additif généralisé (GAM) suivant Effectifs ~ fonction spline (date + t) avec une erreur de type Poisson, est appliqué aux données. $T = 0$ pour la distribution référence (effectifs des mâles) et va de -30 à 30 jours avec un intervalle d'1 jour pour les données de l'autre groupe (effectifs des femelles). Pour chaque t (61 t pour les -30 à 30 avec 1 jour d'intervalle) l'AIC du modèle est calculé. Le décalage phénologique entre les 2 distributions correspond au t menant à l'AIC minimal. Parce que les 61 modèles ont le même nombre de paramètres, l'AIC est équivalent à la valeur négative du log de la vraisemblance ce qui fait que minimiser l'AIC revient à maximiser la vraisemblance dans ce contexte. Afin d'estimer ce minimum, une régression quadratique entre l'AIC et t est appliquée ($AIC \sim t + t^2$). Cette régression est seulement appliquée aux 10 t autour de l'AIC minimum obtenu au cours de la phase d'itération car l'estimation d'un minimum et de son erreur standard sont plus fiables localement. En utilisant les coefficients de la régression, le décalage temporel t_{opt} entre les 2 groupes pour une année donnée est estimé comme suit $-b/2a$ où a est le coefficient de second degré de la régression quadratique et b le coefficient de premier degré. Nous avons calculé l'estimation standard de t_{opt} comme étant $1/a$, qui est l'équivalent de la valeur négative de l'inverse de la dérivée seconde du log de la vraisemblance. Pour plus de détails concernant cette méthode d'estimation, se référer à Moussus et al. (2009).

Analyses statistiques

Comme les études sur l'ordre de passage des classes d'âge sont souvent liées à des cas spécifiques d'espèces et ont rarement considéré les traits écologiques avec une approche statistique adéquate, nous avons tiré avantage de ce jeu de données afin de rechercher si l'ordre de passage des juvéniles et des individus plus âgés était lié à la stratégie migratoire. La relation entre décalage phénologique et stratégie de migration (migrateurs courtes ou longues-distances) a été testée au moyen de modèles linéaires. Comme la proportion d'individus âgés pouvait varier entre années, cette proportion a été incluse dans le modèle de façon à ce que des biais potentiels soient pris en compte. La significativité statistique a été testée par des ANOVAs (Type III error).

La tendance temporelle des décalages phénologiques a été testée en utilisant des modèles linéaires. La tendance était ajustée à la proportion d'individus âgés. La significativité statistique de la tendance temporelle des différences de timing entre classes d'âges a été testée par des ANOVAs (Type III error). Comme tous les individus ne pouvaient pas être sexer à coup sûr, une catégorie "femelles ou juvéniles" (Fem/Imm), a été créée par les observateurs pour les espèces du genre *Circus* (comme dans Kjellén et al. 1994). La proportion variée de cette catégorie a également été incluse dans le modèle au moment de tester les tendances temporelles de différences de timing entre sexes. L'inverse du carré de l'erreur standard

associée aux estimateurs des décalages phénologiques a été utilisé comme poids dans les modèles linéaires.

Les relations entre les différentes dates de migration des classes d'âge et de sexe et la NAO ont été modélisées via des modèles linéaires. La NAO en hiver est une oscillation hémisphérique à large échelle qui redistribue les masses atmosphériques depuis l'Arctique à l'Atlantique subtropical et a des conséquences sur le climat régional à la fois en Europe et en Afrique (Hurrell et al. 2001). Nous avons utilisé l'indice de NAO hivernal (Décembre-mars), appelé par la suite "NAOW", et disponible sur <http://www.cgd.ucar.edu/~jhurrell/nao.html>.

Les différences de timing entre classes peuvent aussi être liées aux variables climatiques locales. En effet, juvéniles et adultes ont des techniques de vol différentes ce qui peut influencer leur comportement de migration (Agostini 2001, Hake et al. 2003). Nous avons utilisé la fréquence des vents (nombre de jours où tel type de vent est présent sur le nombre total de jour d'observation) et la force des vents mesurée toute les heures en Beaufort par les observateurs sur le col d'Organbidexka. Chaque modèle comprenait la proportion d'individus âgés, les valeurs de NAO et la fréquence et la force de chaque type de vent). La significativité des variables a été testée par le biais d'ANOVAs (Type III error). Enfin, dans le but de déterminer si de telles variables climatiques influençaient le timing de migration différemment entre classes d'âge et de sexe, nous avons modélisé le timing de migration obtenu séparément pour chaque classe en fonction de l'interaction de ces variables climatiques et des classes d'âge ou de sexe (i.e. migration timing ~ sexe x NAOW, weight=1/se²).

Résultats

La migration différentielle en fonction de l'âge

Des différences significatives de phénologie de migration entre les juvéniles et les individus plus âgés ont été trouvées chez 8 espèces des rapaces étudiés avec un maximum de constance chez la bondrée apivore (*Pernis apivorus*) pour qui la différence était significative chaque année avec des juvéniles migrant presque constamment plus tard que les adultes (Table 9).

Nous avons trouvé des différences de phénologie migratoire selon les classes d'âge entre migrateurs courtes et longues-distances chez 8 espèces de rapaces ($F_{2,190} = 45.74$, $P < 0.001$, $r^2 = 32.5\%$). Les juvéniles de migrateurs non-trans-sahariens migrent avant les individus plus âgés alors que c'est l'inverse chez les espèces de migrateurs trans-sahariens.

Des tendances temporelles pour les différences de décalage phénologique entre classes d'âge ont été trouvées chez 2 des 8 espèces de rapaces : le busard des roseaux (*Circus aeruginosus*) et la bondrée apivore (Table 10). La différence entre les dates de passage automnales des juvéniles et des adultes a diminuée depuis 28 ans.

Quand les tendances temporelles pour les différences de décalage phénologique ont été testées pour chaque classe d'âge séparément, nous avons trouvé que les juvéniles avaient avancé leurs dates de façon plus rapide que les individus plus âgés chez le busard des roseaux (juvéniles: -0.37 ± 0.11 , $F_{1,26} = 10.23$, $P = 0.003$; >1an: -0.24 ± 0.08 , $F_{1,26} = 7.83$, $P = 0.009$) et chez la bondrée apivore (juvéniles: -0.21 ± 0.08 , $F_{1,25} = 6.70$, $P = 0.01$; >1an: -0.17 ± 0.06 , $F_{1,25} = 3.38$, $P = 0.07$). Les pentes correspondaient à une avance d'environ 10 jours/28ans pour les juvéniles et 6.5 jours/28ans pour les individus plus âgés chez le busard des roseaux ainsi qu'à une avance d'environ 5.7 jours/28ans pour les juvéniles et 4.6 jours/28ans pour les individus plus âgés chez la bondrée apivore.

Quand nous avons recherché les facteurs responsables des différences de dates de passage entre classes d'âge, nous avons trouvé que la fréquence et la force des vents de Sud de même que leur interaction expliquaient ces différences chez le busard des roseaux (modèle entier:

$F_{5,22} = 5.95$, $P = 0.001$; $r^2 = 57\%$) alors que la NAOW expliquait les différences chez la bondrée apivore (modèle entier: $F_{5,21} = 1.19$, $P = 0.34$; $r^2 = 22\%$). La fréquence et la force des vents de Sud augmentaient la différence entre les dates de passage des juvéniles et des individus plus âgés chez le busard des roseaux (16.90 ± 6.73 , $F_{1,22} = 6.30$, $P = 0.01$; 32.48 ± 9.99 , $F_{1,22} = 10.55$, $P = 0.003$, respectivement) alors que l'interaction entre les deux avait un effet opposé (-5.50 ± 1.96 , $F_{1,22} = 8.12$, $P = 0.009$). La NAOW augmentait la différence entre les dates de passage des juvéniles et des individus plus âgés chez la bondrée apivore (0.86 ± 0.42 , $F_{5,21} = 4.14$, $P = 0.05$).

Aucun effet significatif de l'interaction entre la NAOW et les classes d'âge n'a été trouvé sur le timing de la migration chez la bondrée apivore ($F_{1,50} = 0.73$, $P = 0.39$) et la NAOW ne s'est pas révélée être un prédicteur significatif non plus ($F_{1,50} = 0.56$, $P = 0.45$). De la même manière, aucun effet significatif de l'interaction entre la NAOW et les classes d'âge n'a été trouvé sur le timing de la migration chez le busard des roseaux ($F_{1,50} = 0.29$, $P = 0.59$) alors que la NAOW était un prédicteur significatif ($F_{1,52} = 5.77$, $P = 0.02$). Aucun effet significatif de l'interaction entre la force des vents de Sud et les classes d'âges n'a été trouvé sur le timing de migration chez le busard des roseaux ($F_{1,52} = 0.45$, $P = 0.50$) alors que la force des vents de Sud était un prédicteur significatif ($F_{1,52} = 3.62$, $P = 0.06$). Aucun effet significatif de l'interaction entre la fréquence des vents de Sud et les classes d'âges n'a été trouvé sur le timing de migration chez le busard des roseaux ($F_{1,52} = 0.63$, $P = 0.42$), ni de la fréquence des vents de Sud seuls ($F_{1,52} = 2.01$, $P = 0.16$).

Table 9. Nombre d'années avec une différence significative de timing de migration automnale entre juvéniles et individus plus âgés (>1year) chez 8 espèces de rapaces.

Species	Nb of years with significant phenological difference between classes	Total nb of years	%
<i>Juveniles and >1year</i>			
<i>Buteo buteo</i>	19	21	90.48
<i>Circus aeruginosus</i>	15	28	53.57
<i>Circus cyaneus</i>	10	19	52.63
<i>Circus pygargus</i>	22	28	78.57
<i>Falco tinnunculus</i>	16	22	72.73
<i>Milvus migrans</i>	21	22	95.45
<i>Milvus milvus</i>	23	26	88.46
<i>Pernis apivorus</i>	27	27	100.00
<i>Sexes</i>			
<i>Circus aeruginosus</i>	16	27	59.26
<i>Circus cyaneus</i>	15	21	71.43
<i>Circus pygargus</i>	17	27	62.96

Le nombre total d'années correspond au nombre d'années pour lesquelles la méthode de lissage a pu estimer un décalage phénologique.

La migration différentielle en fonction du sexe

Nous avons trouvé des différences de dates de migration entre les sexes chez les espèces du genre *Circus*, avec la plus grande constance attribuée au busard Saint Martin (*Circus cyaneus*) chez qui les femelles migraient avant les mâles presque chaque année (Table 9).

Nous avons trouvé que l'écart entre dates de passage des femelles et des mâles avait diminué de manière significative depuis 1981 chez 1 des 3 espèces de *Circus* : le busard des roseaux (Table 11).

Quand nous avons testé les tendances temporelles des décalages phénologiques chez chaque catégorie de sexe séparément, nous avons trouvé que les femelles avaient avancé leurs dates de manière plus rapide que les mâles chez le busard des roseaux (mâles: -0.25 ± 0.07 ,

$F_{1,26} = 12.62$, $P = 0.001$; femelles: -0.36 ± 0.15 , $F_{1,25} = 6.02$, $P = 0.021$). Les pentes correspondaient à une avance 6.7 jours/28ans pour les mâles et 9.7 jours/28ans chez les femelles.

Quand nous avons recherché les facteurs responsables des différences de dates de passage entre les sexes, nous avons trouvé que la NAO et la fréquence des vents d'Est ainsi que l'interaction entre leur force et leur fréquence expliquaient significativement les différences de dates de passage chez le busard des roseaux (Modèle entier: $F_{1,21} = 3.07$, $P = 0.03$, $r^2 = 42\%$). La NAO augmentait de manière marginalement significative la différence des dates de passage entre les sexes chez cette espèce (0.72 ± 0.39 , $F_{1,21} = 3.43$, $P = 0.07$). La fréquence des vents d'Est diminuait également la différence de timing entre sexes (-44.95 ± 18.52 , $F_{1,21} = 5.88$, $P = 0.02$) alors que l'interaction entre fréquence et force des vents d'Est avait l'effet opposé (-32.50 ± 14.31 , $F_{1,21} = 5.15$, $P = 0.03$).

Table 10. Tendances temporelles des différences phénologiques entre juvéniles et individus plus âgés (référence) (\pm SE) chez 8 espèces de rapaces classés selon leur stratégie de migration (ANOVAs, Type III error).

Species	Migration strategy	Phenological shift	Estimate	Df	F	P-value
<i>Buteo buteo</i>	Short-distance	-8.64 ± 11.85	0.13 ± 0.29	1,18	0.22	0.64
<i>Circus cyaneus</i>	Short-distance	-6.17 ± 9.62	0.06 ± 0.22	1,25	0.06	0.79
<i>Falco tinnunculus</i>	Short-distance	-8.66 ± 7.17	0.10 ± 0.16	1,19	0.38	0.54
<i>Milvus milvus</i>	Short-distance	-4.51 ± 5.42	-0.08 ± 0.11	1,23	0.52	0.47
<i>Pernis apivorus</i>	Long-distance	7.29 ± 3.44	-0.20 ± 0.08	1,24	5.71	0.02
<i>Circus aeruginosus</i>	Long-distance	3.24 ± 5.85	-0.42 ± 0.10	1,25	16.47	<0.001
<i>Circus pygargus</i>	Long-distance	4.44 ± 4.40	0.01 ± 0.10	1,25	0.01	0.91
<i>Milvus migrans</i>	Long-distance	-0.38 ± 6.50	-0.02 ± 0.18	1,19	0.15	0.69

Le modèle est un modèle linéaire testant les variations de différences phénologiques entre classes d'âge en fonction des années, effet ajusté à la proportion d'individus âgés chaque année.

Table 11. Tendances temporelles des différences phénologiques entre femelles et mâles (référence) (\pm SE) pour 3 espèces de rapaces.

Species	Phenological shift	Estimate	Df	F	P-value
<i>Circus aeruginosus</i>	3.98 ± 5.37	-0.21 ± 0.10	1,24	3.95	0.05
<i>Circus cyaneus</i>	-10.58 ± 9.16	-0.27 ± 0.23	1,18	1.37	0.25
<i>Circus pygargus</i>	1.46 ± 3.89	0.01 ± 0.07	1,24	0.03	0.85

Tendances météorologiques

Nous avons trouvé une tendance temporelle positive de la fréquence des vents de Sud et de Nord sur les 28 années étudiées (0.05 ± 0.02 , $F_{1,26} = 5.91$, $P = 0.02$; 0.07 ± 0.01 , $F_{1,26} = 21.62$, $P < 0.001$, respectivement). L'inverse, la force des vents de Sud, Nord, Est et Ouest diminuait à Organbidexka sur la période (-0.03 ± 0.01 , $F_{1,26} = 6.50$, $P = 0.02$; -0.03 ± 0.007 , $F_{1,26} = 24.62$, $P < 0.001$; -0.01 ± 0.003 , $F_{1,26} = 11.42$, $P = 0.002$; -0.03 ± 0.01 , $F_{1,26} = 5.11$, $P = 0.03$, respectivement). Aucune tendance significative n'a été trouvée quant à la fréquence des vents d'Ouest et Est ($F_{1,26} = 0.06$, $P = 0.79$; $F_{1,26} = 0.11$, $P = 0.74$). Il en est de même pour la NAO (-0.04 ± 0.04 , $F_{1,26} = 1.03$, $P = 0.31$). Il n'y avait pas de corrélation entre la fréquence des vents de Sud et de Nord ($r = 0.20$, $P = 0.29$), alors qu'il y avait une concernant la force des vents de Nord et de Sud ($r = 0.67$, $P < 0.001$).

Discussion

Le résultat principal de cette étude est la synchronisation des dates de migration automnale entre classes d'âge et de sexe chez 1 des 3 et 2 des 8 espèces de rapaces étudiées, respectivement. Ceci suggère que ce pattern n'est pas le plus commun chez les rapaces et que le changement climatique change la structure de la migration en fonction des traits des espèces.

Le busard des roseaux

Nous avons trouvé que la fréquence et la force des vents de Sud augmentait la différence entre les dates de passage des juvéniles et des individus plus âgés chez le busard des roseaux. Nous avons également trouvé une augmentation de la fréquence des vents de Sud à Organbidexka sur la période mais aussi une diminution de leur force. Comme l'effet de la force des vents semble être le plus fort (plus grande pente) sur le décalage entre dates de migration, il est possible que la force de ce vent de tête ait un impact plus important sur une classe d'âge que sur une autre. En conséquence, son affaiblissement pendant ces 28 ans pourrait avoir causé l'augmentation de la différence entre les dates de migration par le biais d'une relâche de contrainte sur une classe d'âge. Nous avons également trouvé que la force des vents de Nord avait également diminué de façon concomitante. Comme certains auteurs ont trouvé que la taille de l'aile et de la queue, de même que le poids des juvéniles, étaient inférieures à ceux des adultes chez les espèces du genre *Circus* (Nieboer 1973; Mueller et al. 1976; Bildstein and Hamerstrom 1980) et que les juvéniles semblaient avoir avancé leurs dates plus que les adultes, il est possible que l'aide des vents de Nord ou la contrainte due aux vents de Sud aient eu plus d'effet sur la classe d'âge la plus large – en terme de surface au vent ou de poids (les adultes) – et que ces changements aient graduellement provoqué leur retard pour le passage en migration. La relâche de contrainte des vents de Sud pourrait avoir produit un passage avancé des adultes alors que l'affaiblissement de l'aide des vents de Nord pourrait avoir produit un retard plus important des adultes comparé aux juvéniles dans le cas d'un plus grand impact sur la classe la plus large. Alors qu'aucun effet significatif des vents de Nord n'a été trouvé dans notre étude, la corrélation entre la force des vents de Sud et Nord pourrait être responsable d'un tel résultat. Dans le cas de notre hypothèse, il est vraisemblable que les vents de Nord aient une importance supérieure quant à l'effet sur le timing de passage du busard des roseaux.

Les effets de la NAO et des vents d'Est sur la différence de date de passage entre les sexes pourraient aussi être expliqués par les différences des effets de ces variables sur les 2 sexes en fonction de l'hypothèse de la différence de taille, les femelles étant plus grandes que les mâles chez les rapaces. Des hautes valeurs de NAO en hiver (Decembre–Mars) sont associées à l'augmentation de la force et la fréquence des vents d'Ouest à travers l'Atlantique et de Sud-Ouest à travers l'Europe. Elles expliquent aussi les variations des précipitations en hiver et les variations interannuelles de la température moyenne. Nous avons trouvé que les femelles avançaient leurs dates de manière plus rapide que les mâles. Cependant nous n'avons trouvé aucune tendance de la NAO et de la fréquence des vents d'Est sur la période étudiée. En conséquence, les femelles pourraient donc suivre les fluctuations de ces variables de façon non-linéaire.

Cependant, Rainio et al (2007) n'ont pas trouvé d'effet de la NAO sur le degré de protandrie pour la migration printanière. Ils ont suggéré que les mâles et les femelles montraient la même plasticité de réponse phénotypique au changement climatique ou qu'il y avait une réponse de sélection corrélée entre eux. Nous pensons que notre étude ne peut conclure de manière définitive sur cette question. De plus, chez cette espèce hautement

polygyne (Agostini 2001), il a été montré que les femelles migraient avant les mâles la plupart du temps à l'automne (Kjellén 1998). Cependant, ceci n'est visible qu'une seule année dans notre jeu de données (2005, voir Appendice) indiquant que les mâles migrent avant les femelles à Organbidexka ou que la catégorie « fem/Imm » a biaisé nos estimations de décalages phénologiques. Il est possible que les femelles confondues avec les immatures, si elles étaient ajoutées au jeu de données auraient changé l'ordre de passage.

La bondrée apivore

Une des similarités importantes entre la bondrée apivore et le busard des roseaux qui pourrait expliquer nos résultats, est la différence de comportement de migration entre juvéniles et adultes. En effet, Hake et al. (2003) ont rapporté deux stratégies différentes de migration chez la bondrée apivore, qui pourrait être expliquées à la fois par le timing de migration (Schmid 2000) et par les différents types de vol, comme l'a fait Kjellén (1998) pour le busard des roseaux. Les adultes de bondrée migrent principalement à travers l'Europe vers la fin août/début Septembre, quand il est encore possible de voyager en planant à haute altitude. En conséquence, ils utilisent le trajet le plus confortable et sûr au-dessus des terres du fait de la compensation par le coût énergétique faible du vol plané comparé au vol battu (Hake et al. 2003). Les juvéniles migrent environ 2 à 3 semaines plus tard, quand les modèles thermiques météorologiques suggèrent que les conditions pour utiliser le vol plané sont moins fréquentes (Schmid 2000). Alors, ils peuvent aussi bien utiliser le vol battu et aller en Afrique de l'Ouest par le trajet le plus court. En effet, Hake et al. (2003) ont montré que les juvéniles et les adultes utilisaient 2 trajets migratoires différents. De plus, les juvéniles traversaient la Méditerranée sur un plus large front que les adultes. Pendant la migration automnale, à Falsterbø, les oiseaux les plus vieux sont moins rétifs à traverser de larges étendues d'eau et migrent, en général, sur des fronts plus larges (Kjellén 1998) chez le busard des roseaux, ce qui est le comportement inverse de celui de la bondrée apivore mais suggère aussi des différences de techniques de vol entre juvéniles et adultes. Ceci pourrait finalement expliquer pourquoi la NAOW et les vents de Sud pourraient affecter de façon différentielle les juvéniles et les adultes dans notre étude malgré le fait que nous n'ayons pas trouvé d'interaction significative entre les classes d'âge et ces variables climatiques sur les dates de passage.

Cependant, nous accordons plus de confiance dans le premier test sur les différences phénologiques directement obtenues entre les classes d'âge comparé au test fait sur l'effet de l'interaction sur la phénologie, car le premier calcul de différence phénologique est issu d'un seul processus d'estimation (une erreur), alors que le second est issu de 2 processus d'estimation (2 erreurs).

Nous avons trouvé que la NAOW augmentait la différence entre les dates de passage des juvéniles et des individus plus âgés. Cependant, aucune différences entre les classes d'âge n'a été trouvée concernant ces effets sur les dates de passages. Nous avons également trouvé que les juvéniles avançaient leur migration plus que les adultes. La différence de sensibilité entre les classes d'âges aux facteurs climatiques sur le trajet de la migration pourrait aussi expliquer un tel effet sur le décalage entre classes d'âges. Comme aucune tendance linéaire n'a été trouvée pour la NAOW sur la période il semble vraisemblable que cette espèce suive les fluctuations stochastiques de la NAOW (Vähätalo et al. 2004).

Remerciements

Nous voudrions remercier les nombreux volontaires comptant les oiseaux à Organbidexka depuis les débuts de l'observatoire de la migration. Nous remercions également la Ligue de Protection des Oiseaux et Organbidexka Col Libre réunis dans le Programme ORMO

(Observatoire Régional de la Migration des Oiseaux en Aquitaine) pour avoir financé cette étude et fourni les données.

Références

- Akaike, H. (1981) A New Look at the Statistical-Model Identification. *Current Contents/Engineering Technology & Applied Sciences*, 22-22.
- Agostini, N. 2001. Spring migration in relation to sex and age of Marsh Harriers (*Circus aeruginosus*) over a central Mediterranean island. *Ardeola* 48, 71-73
- Agostini, N. 2004. Additional observations of age-dependent migration behaviour in western honey buzzards *Pernis apivorus*. *Journal of Avian Biology* 35,469-470.
- Bildstein, K. L. 2001. Why migratory birds of prey make great biological indicators. Pages 169–179 in *Hawkwatching in the Americas* (K. L. Bildstein and D. Klem, Eds.). Hawk Migration Association of North America, North Wales, Pennsylvania.
- Bildstein, K.L., Clark W.S., Evans, D.L., Field, M., Soucy, L., Henckel E. 1984. Sex and age differences in fall migration of Northern Harriers. *J. Field Ornithol* 55,143-150.
- Bildstein, K.L., Hamerstrom, F. 1980. Age and sex differences in the size of Northern Harriers. *J. Field Ornithol* 51:356-360.
- Carlisle JD, Kaltenecker GS, Swanson DL. 2005. Molt strategies and age differences in migration timing among autumn landbird migrants in southwestern Idaho. *Auk* 122, 1070-1085.
- Cristol, D. A., Baker, M. B. & Carbone, C. 1999: Differential migration revisited: Latitudinal segregation by age and sex class. In: *Current Ornithology*, Vol. 15 (Nolan, V., Kerterson, E. D. & Thompson, C. F., eds). Plenum Press, New York, pp. 33–88.
- Farmer, C.J., Hussell, D.J.T., Mizrahi, D. 2007. Detecting population trends in migratory birds of prey. *The Auk* 124:1047–1062.
- Gauthreaux, S. A. 1982: The ecology and evolution of avian migration systems. In: *Avian Biology*, Vol. 6 (Farner, D. S., King, J. R. & Parkes, K. C., eds). Academic Press, New York, pp. 93-168.
- Gordo, O., Sanz, J.J. 2006. Climate change and bird phenology: a long-term study in the Iberian Peninsula. *Global Change Biology* 12, 1993–2004.
- Hake, M., Kjellén, N., Alerstam, T. 2003. Age-dependent migration strategy in honey buzzards *Pernis apivorus* tracked by satellite. *Oikos* 103: 385–396
- Hubálek, Z. 2003. Spring migration of birds in relation to North Atlantic Oscillation. *Folia Zool.* 52(3): 287–298 (2003).
- Hüppop, O., Hüppop, K. 2003. North Atlantic Oscillation and timing of spring migration in birds. *Proc. R. Soc. Lond. B* (2003) 270, 233–240.
- Hurrell, J.W. (1996) Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere. *Geophysical Research Letters*, 23, 665–668.
- Hurrell, J.W., Kushnir, Y. & Visbeck, M. (2001) The North Atlantic Oscillation. *Science*, 291, 603–605.
- Hussell, D.J.T. 1991. Fall migrations of Alder and Willow Flycatchers in southern Ontario. *J. Field Ornithol.* 62: 260–270.
- Jonzén N, et al. (2006) Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science* 312:1959-1961
- Kissner KJ, Weatherhead PJ, Francis CM, 2003. Sexual size dimorphism and timing of spring migration in birds. *J Evol Biol* 16:154–162.
- Kjellén, N. 1992. Differential timing of autumn migration between sex and age groups in raptors at Falsterbo, Sweden. *Ornis Scand.* 23: 420–434.

- Kjellén, N. (1994): Differences in age and sex ratio among migrating and wintering raptors in Southern Sweden. *Auk* 111: 274-284.
- Knudsen, E., Linden, A., Ergon, T., Jonzen, N., Vik, J.O., Knape, J., Roer, J.E., & Stenseth, N.C. (2007) Characterizing bird migration phenology using data from standardized monitoring at bird observatories. *Climate Research*, 35, 59-77.
- Kokko, H. (1999). Competition for early arrival in migratory birds. *J. Anim. Ecol.*, 68, 940±950.
- Lehikoinen E, Sparks T, Zalakevicius M (2004) Arrival and departure dates. In: Møller AP, Fiedler W, Berthold P (eds) *Birds and Climate Change. Advances in Ecological Research*, vol 35. Academic Press, NY, pp1–31
- Miller-Rushing AJ, Lloyd-Evans TL, Primack RB, Satzinger P (2008) Bird migration times, climate change, and changing population sizes. *Glob Chang Biol* 14:1959-1972
- Mills, A.M. 2005a. Changes in the timing of spring and autumn migration in North American migrant passerines during a period of global warming. *Ibis*, 147, 259–269.
- Mills, A.M. 2005b. Protogyny in autumn migration: Do male birds "play chicken"? *Auk* 122, 71-81.
- Moussus JP, Jiguet F, Clavel J, Julliard R (2009) A method to estimate phenological variation using data from large-scale abundance monitoring programmes. *Bird Study* 56:198-212
- Morbey YE, Ydenberg RC, 2001. Protandrous arrival timing to breeding areas: a review. *Ecol Lett* 4:663–673.
- Mueller, HC, Mueller, N.S., Berger, D.D., Allez, G., Robichaud, W., Kaspar, J.L. 2000. Age and sex differences in the timing of fall migration of hawks and falcons. *The Wilson Bulletin* 112:214-224.
- Mueller, HC, Berger, D.D., Allez G. 1976. Age and sex variation in the size of Goshawks. *Bird Banding* 47: 310-318.
- Nieboer, E. 1973. Geographical and ecological differentiation in the genus *Cricus*. Ph.D. dissertation. Vrije Universiteit Amsterdam. Door, Nederland.
- Oba, G., Post, E. & Stenseth, N.C. (2001) Sub-Saharan desertification and productivity are linked to hemispheric climate variability. *Global Change Biology*, 7, 241–246.
- Post, E., Forchhammer, M.C., Stenseth, N.C. & Callaghan, T.V. (2001) The timing of life-history events in a changing climate. *Proceedings of the Royal Society London B*, 268, 15–23.
- Rainio, K., Tøttrup, A.P., Lehikoinen, E., Coppack, T. 2007. Effects of climate change on the degree of protandry in migratory songbirds. *Climate Research* Vol. 35: 107–114, 2007.
- R Development Core Team (2006) R, A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna. Available from <http://www.Rproject.org>. Accessed September 2006
- Rubolini D, Spina F, Saino N (2004) Protandry and sexual dimorphism in trans-Saharan migratory birds. *Behav Ecol* 15:592–601.
- Schlesinger, ME, Ramankutty, N. 1994. An oscillation in the global climate system of period 65-70 years. *Nature* 367, 723-726.
- Sokolov LV. 2006. Effect of Global Warming on the Timing of Migration and Breeding of Passerine Birds in the 20th Century. *Entomological Review*, 86, 59–81.
- Sparks TH, Bairlein F, Bojarinova JG, Huppopp O, Lehikoinen EA, Rainio K, Sokolov LV, Walker D (2005) Examining the total arrival distribution of migratory birds. *Glob Chang Biol* 11:22-30
- Spina F, Massi A, Montemaggiore A, 1994. Back from Africa: who's running ahead?: aspects of differential migration of sex and age classes in Palearctic-African spring migrants. *Ostrich* 65:137–150.

- Spottiswoode, C.N., Tøttrup, A.P. and Coppack, T. (2006) Sexual selection predicts advancement of avian spring migration in response to climate change Proc. R. Soc. B 273, 3023–3029
- Swanson DL, Liknes ET, Dean KL. 1999. Differences in migratory timing and energetic condition among sex/age classes in migrant Ruby-crowned Kinglets. Wilson Bulletin 11,61-69.
- Terrill, S. B. & Able, K. P. 1988: Bird migration terminology. Auk 105, 205-206.
- Tryjanowski P, Sparks TH (2001) Is the detection of the first arrival date of migrating birds influenced by population size? A case study of the red-backed shrike *Lanius collurio*. Int J Biometeorol 45:217-219
- Vähätalo A, Rainio K, Lehikoinen A et al (2004) Spring arrival of birds depends on North Atlantic Oscillation. J Avian Biol 35:210-216.
- Woodrey, M.S. & Chandler, C.R. 1997. Age-related timing of migration: geographic and interspecific patterns. Wilson Bull. 109: 52–67.
- Yosef, R., Fornasari, L., Tryjanowski P, Bildstein, K. 2003. Differential spring migration of adult and juvenile Levant Sparrowhawks (*Acipiter brevipes*) through Eilat, Israel. Journal of raptor Research 37:31-36.

IV-Perspectives

Impact du changement climatique sur la migration pré-nuptiale chez différentes familles d'oiseaux en France

A) – Les données

De nombreux rapports de camps de migration de 1992 à 2008 indiquent les espèces qui volent au-dessus de La Pointe de Grave ainsi que leurs dates de passage (Urcun 1992, 1993, 1994; Gougeon 1995, 1996, 1997; Maigre et Zenoni 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 ; Table 14). De nombreuses familles d'oiseaux traversent l'estuaire de la Gironde ce qui est d'un grand intérêt ornithologique et scientifique. Un grand nombre d'oiseaux marins, d'échassiers, de rapaces diurnes et d'espèces de passereaux et non-passereaux volent chaque année en direction du Nord à La Pointe de Grave (Table 14). Des familles comme celles des hirundinidés et des columbidés, spécialement avec les tourterelles sont très bien représentées et pourraient être d'un intérêt spécial pour une étude. Des trous et biais possibles sont attendus dans le jeu de données, particulièrement concernant la tourterelle des bois dont les comptages ont été largement influencés par l'activité cynégétique sur les lieux pendant de nombreuses années (Fig. 17). Un effort particulier devra être fait pour tenir compte de l'effort d'observation (Table 12 et 13).

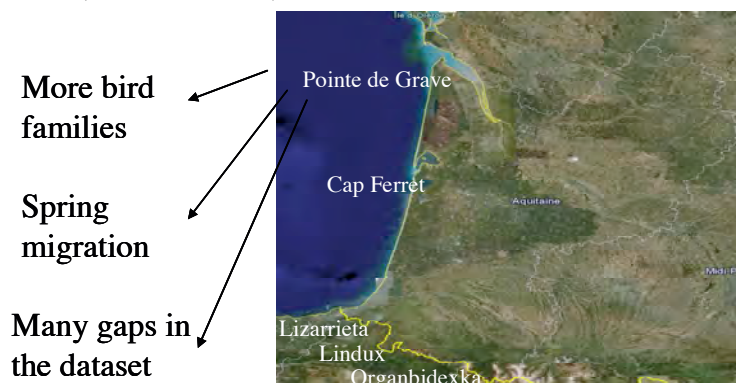


Figure 17. Localisation, avantages et inconvénients du jeu de données de La Pointe de Grave.

Table 12. Dates d'observation.

ANNEE	DEBUT	FIN	NB JOURS
1986	21-Mar	30-May	70
1987	17-Mar	31-May	75
1988	18-Mar	31-May	74
1989	18-Feb	22-May	93
1990	15-Mar	24-Apr	40
1991	15-Mar	15-Apr	31
1992	2-Apr	29-May	57
1993	/	/	/
1994	15-Mar	31-May	77
1995	17-Mar	30-May	74
1996	15-Mar	31-May	77
1997	15-Mar	31-May	77
1998	23-Mar	6-Jun	75
1999	16-Mar	30-May	75
2000	17-Mar	25-May	69
2001	16-Mar	30-May	75
2002	16-Mar	30-May	75
2003	16-Mar	30-May	75
2004	16-Apr	30-May	44
2005	1-Apr	26-May	55
2006	7-Apr	25-May	48
2007	1-Apr	25-May	54
2008	15-Mar	31-May	77
2009	1-Mar	21-May	72

Table 13. Compromis entre nombre de jours d'observation et nombre d'années suivies.

DEBUT	FIN	NB JOURS	NB ANNEES
16-Apr	21-May	35	22
7-Apr	21-May	44	21
1-Apr	21-May	50	20

Afin de déterminer des tendances à long terme ou d'étudier la phénologie des espèces, une étude visant à optimiser le nombre de jours d'observation et/ou le nombre d'années suivies est nécessaire (Table 20 et 21). Le meilleur compromis semble être de travailler sur la période commune à 20 années de suivi allant du 1^{er} avril au 21 mai si l'on veut travailler sur une période standard dans le but de produire des indices de populations migratrices pour plusieurs espèces. Pour une étude phénologique basée sur une espèce, cette période pourra varier. Il est aussi possible de standardiser par l'effort de suivi.

Table 14. Rapport Pointe de Grave (Cardonnel 2006).

ESPECES	PREMIERE DATE	DERNIERE DATE	DATE DU PIC	EFFECTIF DU PIC	TOTA
Rapaces diurnes					
Balbuzard pêcheur <i>Pandion haliaetus</i>	8-mai	16-mai	16-mai	2	3
Circaète Jean-le-Blanc <i>Circaetus gallicus</i>	11-avr	9-mai	#	#	3
Milan noir <i>Milvus migrans</i>	7-avr	23-mai	3-mai	43	374
Busard Saint-Martin <i>Circus cyaneus</i>	21-avr	15-mai	21-avr	2	7
Busard cendré <i>Circus pygargus</i>	10-avr	11-mai	15-avr	6	28
Busard des roseaux <i>Circus aeruginosus</i>	7-avr	17-mai	2 et 17-mai	3	23
Buse variable <i>Buteo buteo</i>	7-avr	10-mai	7 et 14-avr	2	10
Bondrée apivore <i>Pernis apivorus</i>	4-mai	17-mai	16-mai	10	29
Epervier d'Europe <i>Accipiter nisus</i>	7-avr	17-mai	7-avr	6	33
Faucon crécerelle <i>Falco tinninculus</i>	7-avr	17-mai	10-avr	19	144
Faucon hobereau <i>Falco subbuteo</i>	8-avr	24-mai	29-avr	29	107
Faucon émerillon <i>Falco columbarius</i>	14-avr	14-avr	#	#	1
Faucon d'éléonore <i>Falco eleonorae</i>	11-mai	11-mai	#	#	1
Total rapaces diurnes	#	#	#	#	763
Non-passereaux					
Grèbe huppé <i>Podiceps cristatus</i>	14-avr	14-avr	#	#	2
Puffin des baléares <i>Puffinus mauretanicus</i>	17-mai	17-mai	#	#	44
Grand cormoran <i>Phalacrocorax carbo</i>	10-avr	22-mai	14-avr	17	51
Héron gardeboeufs <i>Bubulcus ibis</i>	7-avr	21-mai	12-avr	13	54
Aigrette garzette <i>Egretta garzetta</i>	7-avr	22-mai	2-mai	17	88
Grande aigrette <i>Egretta alba</i>	26-avr	23-mai	23-mai	3	4
Héron cendré <i>Ardea cinerea</i>	7-avr	6-mai	7-avr	7	46
Héron pourpré <i>Ardea purpurea</i>	7-avr	12-mai	11-mai	10	28
Cigogne noire <i>Ciconia nigra</i>	4-mai	4-mai	#	#	1
Cigogne blanche <i>Ciconia ciconia</i>	7-avr	6-mai	2-mai	7	17
Spatule blanche <i>Platalea leucorodia</i>	7-avr	21-mai	30-avr	43	225
Cygne tuberculé <i>Cygnus olor</i>	28-avr	28-avr	#	#	2
Bernache cravant <i>Branta bernicla</i>	10-mai	10-mai	#	#	1
Tadorne de belon <i>Tadorna tadorna</i>	17-mai	17-mai	#	#	9
Canard souchet <i>Anas clypeata</i>	17-avr	17-avr	#	#	24
Macreuse noire <i>Melanitta nigra</i>	17-avr	17-avr	#	#	44
Grue cendrée <i>Grus grus</i>	22-avr	30-avr	#	#	2
Huîtrier pie <i>Haemotopus ostralegus</i>	11-mai	25-mai	11-mai	16	22
Avocette élégante <i>Recurvirostra avosetta</i>	29-avr	29-avr	#	#	2
Echasse blanche <i>Himantopus himantopus</i>	7-avr	30-avr	9-avr	16	43
Grand gravelot <i>Charadrius hiaticula</i>	22-avr	29-avr	#	#	2
Petit gravelot <i>Charadrius dubius</i>	3-mai	10-mai	4-mai	2	4
Pluvier argenté <i>Pluvialis squatarola</i>	14-avr	9-mai	9-mai	28	35

Table 14. Continue...

Vanneau huppé <i>Vanellus vanellus</i>	1-mai	21-mai	#	#	2
Bécasseau maubèche <i>Calidris canutus</i>	15-mai	15-mai	#	#	2
Tourneepierre à collier <i>Arenaria interpres</i>	1-mai	1-mai	#	#	1
Bécasseau variable <i>Calidris alpina</i>	14-avr	25-mai	25-mai	19	23
Bécasseau sanderling <i>Calidris alba</i>	28-avr	29-avr	29-avr	7	9
Barge rousse <i>Limosa lapponica</i>	29-avr	1-mai	1-mai	5	11
Courlis corlieu <i>Numenius phaeopus</i>	14-avr	30-avr	26-avr	25	43
Chevalier gambette <i>Tringa totanus</i>	7-mai	9-mai	9-mai	7	8
Chevalier aboyeur <i>Tringa nebularia</i>	1-mai	5-mai	5-mai	4	5
Chevalier guignette <i>Actitis hypoleucos</i>	30-avr	30-avr	#	#	1
Mouette rieuse <i>Larus ridibundus</i>	10-avr	7-mai	10-avr	34	93
Goéland brun <i>Larus fuscus</i>	13-avr	7-mai	4-mai	110	246
Sterne Pierre-Garin <i>Sterna hirundo</i>	14-avr	14-avr	#	#	12
Sterne naine <i>Sterna albifrons</i>	9-mai	9-mai	#	#	9
Sterne caugek <i>Sterna sandvicensis</i>	11-avr	1-mai	11-avr	9	11
Guifette noire <i>Chlidonias niger</i>	9-mai	9-mai	#	#	6
Guifette moustac <i>Chlidonias hybridus</i>	9-mai	9-mai	#	#	7
Pigeon colombin <i>Columba oenas</i>	10-avr	14-avr	10-avr	2	3
Pigeon ramier <i>Columba palombus</i>	11-avr	19-mai	17-avr	24	97
Tourterelle turque <i>Streptopelia decaocto</i>	8-avr	24-mai	30-avr	395	2608
Tourterelle des bois <i>Streptopelia turtur</i>	11-avr	25-mai	11-mai	2123	16108
Coucou gris <i>Cuculus canorus</i>	14-avr	22-avr	14-avr	2	4
Martinet noir <i>Apus apus</i>	7-avr	24-mai	28-avr	1862	6362
Martinet à ventre blanc <i>Apus melba</i>	1-mai	1-mai	#	#	1
Huppe fasciée <i>Upupa epops</i>	7-avr	24-avr	7-avr	3	8
Guêpier d'Europe <i>Merops apiaster</i>	2-mai	16-mai	10-mai	9	13
Pic vert <i>Picus viridis</i>	1-mai	1-mai	#	#	1
Pic épeiche <i>Dendrocopos major</i>	13-avr	13-avr	#	#	1
Pic épeichette <i>Dendrocopos minor</i>	12-avr	12-avr	#	#	1
Total non-passereaux	#	#	#	#	26446
Passereaux					
Alouette des champs <i>Alauda arvensis</i>	9-avr	3-mai	10-avr	3	6
Hirondelle de rivage <i>Riparia riparia</i>	7-avr	21-mai	7-avr	2229	3069
Hirondelle rustique <i>Hirundo rustica</i>	7-avr	25-mai	29-avr	4866	19418
Hirondelle de fenêtre <i>Delichon urbica</i>	7-avr	22-mai	29-avr	440	1604
Pipit rousseline <i>Anthus campestris</i>	2-mai	10-mai	2 et 3-mai	2	5
Pipit farlouse <i>Anthus pratensis</i>	7-avr	21-mai	9-avr	1162	2232
Pipit des arbres <i>Anthus trivialis</i>	7-avr	21-mai	7-mai	70	1152
Bergeronnette grise <i>Motacilla alba</i>	7-avr	10-mai	11-avr	14	74
Bergeronnette printanière <i>Motacilla flava</i>	7-avr	17-mai	10-avr	161	877
Bergeronnette des ruisseaux <i>Motacilla cinerea</i>	6-mai	21-mai	16 et 21-mai	2	6
Rougequeue noir <i>Phoenicurus ochruros</i>	13-avr	2-mai	13-avr et 2-mai	1	2
Grive musicienne <i>Turdus philomelos</i>	7-avr	20-avr	7-avr	4	6
Grive mauvis <i>Turdus iliacus</i>	7-avr	7-avr	#	#	1
Grive draine <i>Turdus viscivorus</i>	8-avr	8-avr	#	#	1
Merle à plastron <i>Turdus torquatus</i>	1-mai	1-mai	#	#	1
Cisticole des joncs <i>Cisticola juncidis</i>	26-avr	2-mai	26-avr et 2-mai	1	2
Mésange charbonnière <i>Parus major</i>	7-avr	16-avr	7 et 16 avr	2	4
Mésange noire <i>Parus ater</i>	11-avr	26-avr	23-avr	6	21
Mésange bleue <i>Parus caeruleus</i>	7-avr	10-mai	11-avr	8	28
Pie bavarde <i>Pica pica</i>	13-avr	13-avr	#	#	3
Corbeau freux <i>Corvus frugilegus</i>	3-mai	3-mai	#	#	1
Loriot d'Europe <i>Oriolus oriolus</i>	7-avr	24-mai	6-mai	35	245
Etourneau sansonnet <i>Sturnus vulgaris</i>	8-avr	17-mai	16-avr	7	50
Moineau domestique <i>Passer domesticus</i>	7-avr	6-mai	11-avr	35	100
Pinson des arbres <i>Fringilla coelebs</i>	7-avr	11-mai	7-avr	1066	4498
Pinson du nord <i>Fringilla montifringilla</i>	7-avr	21-avr	11-avr	10	36
Linotte mélodieuse <i>Carduelis cannabina</i>	7-avr	17-mai	12-avr	803	4240

Table 14. Continue.

Chardonneret élégant <i>Carduelis carduelis</i>	7-avr	22-mai	29-avr	1598	13126
Verdier d'Europe <i>Carduelis chloris</i>	7-avr	18-mai	17-avr	459	3840
Tarin des aulnes <i>Carduelis spinus</i>	8-avr	17-mai	10-avr	22	105
Serin cini <i>Serinus serinus</i>	7-avr	25-mai	11-avr	49	728
Bouvreuil pivoine <i>Pyrrhula pyrrhula</i>	11-avr	11-avr	#	#	5
Grosbec casse-noyaux <i>Coccothraustes Coccothraustes</i>	7-avr	6-mai	9-avr	70	90
Bruant des roseaux <i>Emberiza schoeniclus</i>	7-avr	15-avr	7-avr	9	14
Bruant ortolan <i>Emberiza hortulana</i>	22-avr	7-mai	22-avr et 7-mai	1	2
Bruant jaune <i>Emberiza citrinella</i>	12-avr	12-avr	#	#	1
Bruant zizi <i>Emberiza cirius</i>	12-avr	24-avr	12-avr	5	7
Bruant proyer <i>Miliaria calandra</i>	10-avr	6-mai	19-avr	18	55
Total passereaux	#	#	#	#	55655
Total général					82864

B) - Les questions

De telles données vont nous permettre de rechercher l'effet du changement climatique sur des familles d'oiseaux telles que les échassiers ou les oiseaux de mer sur lesquelles ces questions n'ont été posées que partiellement en Europe. Les questions pourraient être les suivantes :

- 1- Y a-t-il un changement de phénologie de la migration pré-nuptiale à la Pointe de Grave depuis 1992?
- 2- S'il y en a est-ce que ces changements sont corrélés aux indicateurs du changement climatiques (NAO Index, températures en route ou printanières) ?
- 3- Y a-t-il une famille plus affectée par le changement climatique que d'autres quant au changement de phénologie migratoire?
- 4- Est-ce que les tendances des populations nicheuses sont corrélées au changement phénologique?
- 5- Y a-t-il une corrélation entre les tendances migratoires et celles obtenues à partir du FBBS en France et en Europe? Si oui pour quelles espèces ?
- 6- Y a-t-il des traits d'histoire de vie particuliers qui sont liés aux changements phénologiques ou aux tendances des populations migratrices?

Comme beaucoup de données sont déjà disponibles sur la famille des hirundinidea et spécialement sur l'hirondelle rustique *Hirundo rustica* (Moller, 1988, 1994a,b, 2001, 2007) des recherches plus amples et comparatives sur cette espèce en migration printanière en France pourraient être intéressantes.

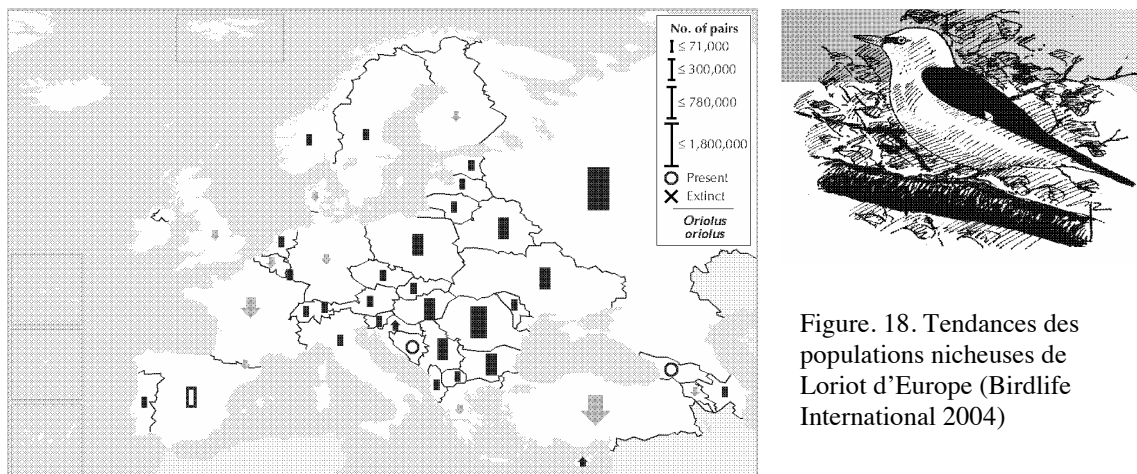
7 – La Pointe de Grave est un site de migration majeur pour la tourterelle des bois. Comme cette espèce est en déclin en France et en Europe, les recherches sur ses réponses au changement climatique seraient d'un grand intérêt, particulièrement dans le cadre de recherche des facteurs impliqués dans son déclin.

8- Le loriot d'Europe est une espèce assez abondante à la Pointe de Grave en migration et la bibliographie quant à la migration de cette espèce est quasi inexistante. Espèce en léger déclin principalement en Europe de l'Ouest et notamment en France, l'étude des facteurs influençant sa phénologie et ses effectifs annuels pourraient révéler les causes de ces baisses démographiques.

C) -Un début d'étude sur la migration du loriot à la Pointe de Grave

Statut de l'espèce

Oriolus oriolus est un visiteur d'été à large échelle en Europe, qui représente moins de la moitié de sa répartition globale. Sa population nicheuse européenne est très large (>3400000 paires), et était stable entre 1970 et 1990. Même s'il y a eu des déclinés dans de nombreux pays - notamment la France et la Turquie - durant la période 1990-2000, la vaste majorité des populations à l'est de sa répartition européenne, incluant les principales en Russie et en Roumanie, étaient stables, et l'espèce a décliné seulement faiblement en tout. En conséquence elle a été évaluée comme « Secure » (Birdlife International 2004, Fig.18).



Biologie de l'espèce

Habitat : Les milieux recherchés par l'espèce sont des boisements feuillus, même peu étendus, pour peu que les arbres y atteignent une hauteur suffisante, et qu'il s'y trouve quelques parties de sous-bois un peu dense. On rencontre le loriot dans les peupleraies, les parcs, les vergers.

Comportements : Il est peu fréquent de voir cet oiseau farouche, toujours habile à se cacher dans les frondaisons. Espèce d'origine tropicale, le loriot est un oiseau africain qui abandonne le continent noir seulement pour se reproduire. En mai, les premiers individus sont de retour de leurs quartiers d'hiver est-africains vers lesquels ils retournent en août, en passant par les Balkans, le Bosphore et le Moyen-Orient. Les migrations sont effectuées de nuit.

Nidification : La femelle construit seule une nacelle accrochée par les bords à deux branchettes ; elle la garnit de laine et de crins avant d'y pondre les 3 ou 4 œufs de l'unique couvée annuelle. L'incubation dure 14 ou 15 jours. Les jeunes restent environ deux semaines au nid.

Régime : Le régime alimentaire est composé d'insectes et de fruits, notamment de cerises. Il devient plus spécialement frugivore en fin d'été. (www.oiseau.net)

Nous pouvons ajouter que la migration observée à la Pointe de Grave correspondrait donc à des populations nicheuses en Europe de l'Ouest empruntant donc la voie migratrice de l'Ouest.

Effet du changement climatique

Des modélisations de son aire de distribution en Afrique selon des scénarios climatiques futurs montrent un inquiétant raccourcissement de celle-ci (Méthodes issues de Barbet-Massin et al. 2009, Fig.19).

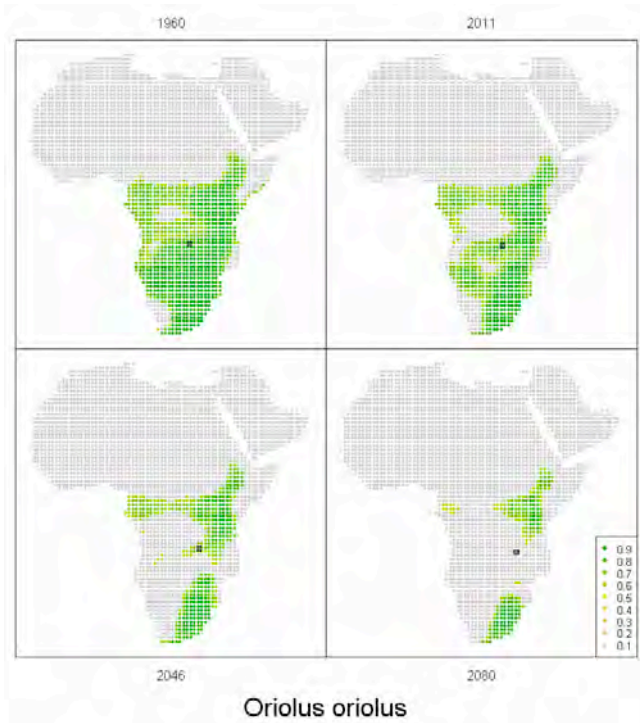


Figure 19. Modélisation de l'aire de distribution du Lorient d'Europe *Oriolus oriolus* selon les scénarios climatiques futurs.

Migration et décalage phénologique

A partir des 17 années de suivi disponibles (1988-2009 sans 1990, 1991, 1993, 1999 et 2000) à la Pointe de Grave pour le Lorient, on peut décrire la migration comme suit : premiers arrivants début avril et derniers fin mai avec un pic d'abondance début mai (Fig.20).

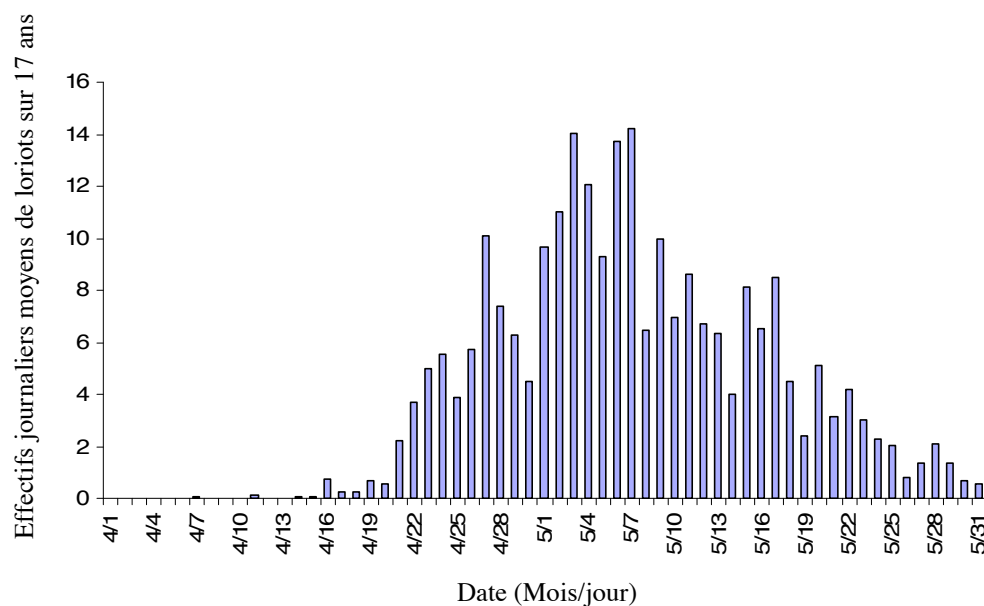


Figure 20. Phénologie de la migration du Lorient à la Pointe de Grave de 1988 à 2009. La distribution semble unimodale et gaussienne.

Le décalage phénologique au cours de ces années a été calculé selon la méthode de lissage d'abondance (GAM, Moussus et al. 2009) et avec les dates moyennes pondérées par l'abondance (Moussus et al. 2009). Les dates de passage correspondant aux percentiles 10, 25, 50 et 75 ont également été calculées (Table 15).

Aucune tendance significative n'a pu être mise en évidence mais la fluctuation interannuelle semble être intéressante pour déterminer certains facteurs explicatifs tels que les variables climatiques (Figure 21).

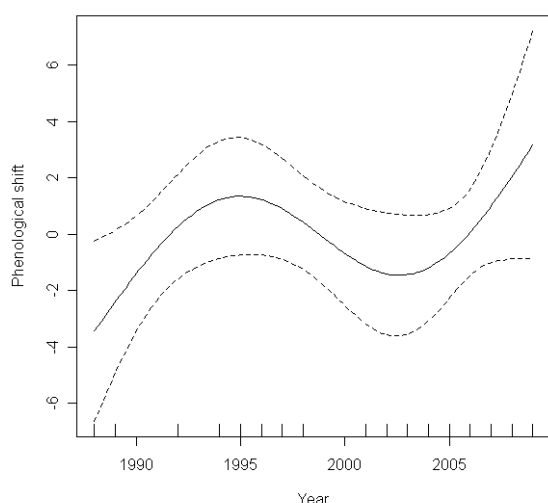


Figure 21. Modélisation (GAM, $P=0.13$) du décalage phénologique de 1988 à 2009 pour le loriot d'Europe à La Pointe de Graves. Le décalage phénologique est calculé selon la méthode développée par Moussus et al. (2009).

Table 15. Décalages phénologiques (GAM, Date moyenne et quantiles) du loriot à la Pointe de Grave de 1988 à 2009.

year	decalage ± se	mean_date	quant10	quant25	quant50	quant75	quant90
1988	-6.94 ± 0.73	42.33	35	37	43	47	51
1989	-0.86 ± 0.51	36.02	31	33	34	38	46
1992	0.84 ± 0.65	35.45	24	34	36	37	46
1994	3.37 ± 0.78	35.62	22	28	32	41	53
1995	2.73 ± 0.69	32.58	27	27	32	36	44
1996	0.89 ± 0.81	36.56	26	27	35	43	46
1997	-1.22 ± 0.82	39.37	30	31	39	46	56
1998	-3.30 ± 0.86	39.19	26	35	38	47	50
2001	-4.32 ± 0.74	40.30	30	38	39	42	51
2002	1.72 ± 0.84	35.17	23	29	36	42	45
2003	3.48 ± 1.11	35.22	22	25	34	48	48
2004	-2.75 ± 0.75	39.79	26	30	45	47	53
2005	0.87 ± 1.07	35.47	23	28	38	42	47
2006	3.66 ± 0.86	33.32	21	29	32	41	46
2007	0.64 ± 0.87	36.23	26	28	33	39	53
2008	0.23 ± 1.05	40.04	27	28	37	50	57
2009	1.76 ± 0.94	34.35	24	30	34	39	42

Décalage (jour/an), Mean date et quantiles (jour1=1 avril).

Effectifs et tendances

Afin de maximiser le nombre d'années de suivi et la période d'observation, nous avons choisi de modéliser les variations d'effectifs du loriot à la Pointe de Grave en ajustant par l'effort d'observation (nombre de jours de suivi par an) qui variait entre années (Figure 22).

La tendance était fortement et significativement négative sur la période de suivi.

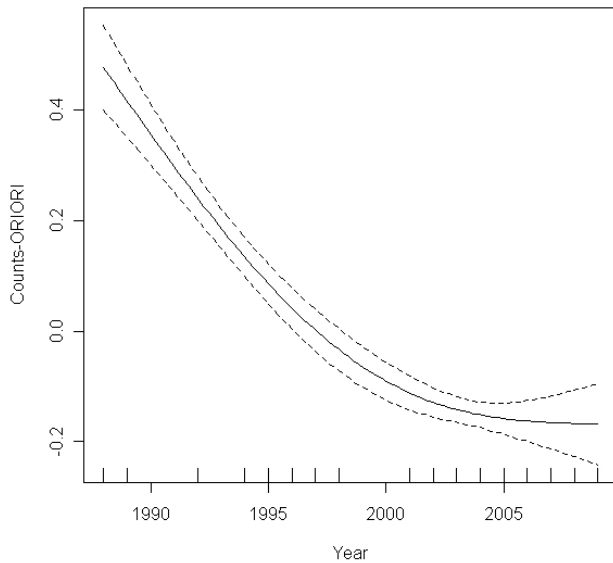


Figure 22. Variation des effectifs de loriots en migration à la Pointe de Grave de 1988 à 2009.

Variables pouvant influencer la phénologie et les variations d'effectifs

Plusieurs facteurs peuvent influencer sur la phénologie migratoire de printemps du loriote. Etant une espèce qui hiverne en Afrique de l'est et du sud, les facteurs climatiques liés à ces zones d'hivernage pourraient être des facteurs déterminant les dates de départ des oiseaux vers l'Europe. Parmi eux, les températures et précipitations moyennes ainsi que les dates de début de saisons des pluies dans ces régions seront étudiées. De même, le NDVI, indice reflétant l'abondance de la végétation les mois précédant le départ des oiseaux pourrait être un facteur expliquant un départ plus ou moins tardif (Tøttrup et al. 2008). L'oscillation Nord Atlantique (NAO) et l'Oscillation du Sud (SOI) reflètent également le climat et la productivité de la végétation en Afrique (Oba et al. 2001) et peuvent être considérées comme de bons estimateurs d'une combinaison de conditions climatiques qui influent sur la migration (Cotton 2003).

Enfin, les oiseaux migrateurs peuvent ajuster leur dates d'arrivée en Europe en fonction des conditions climatiques rencontrées en route (Ahola et al. 2004 ; Tøttrup et al. 2008 ; Both 2007). Des variables telles que les températures et précipitations mensuelles (février, mars, avril, mai) en Espagne et au sud de la Pointe de Grave en France pourront être étudiées. L'effet de ces variables à l'année a^{-1} sera également regardé afin de déterminer si le loriote se fie à des informations récoltées l'année précédente pour adapter sa date de passage en migration.

Les facteurs pouvant influencer sur les variations d'effectifs migratoires du loriote sont le NDVI, la NAO, la SOI les températures et précipitations en Afrique pour leur possible influence sur les ressources sur les territoires d'hivernage et donc sur les conditions physiologiques des oiseaux pour la migration (Ottosson et al. 2005). Les facteurs liés aux conditions météorologiques en route peuvent également jouer en décalant la zone de passage des oiseaux ou en entraînant la mort directe d'individus (pluviométrie et vents au sud de la France et en Afrique du Nord). Enfin, les effectifs reproducteurs ainsi que les facteurs jouant sur ceux-ci peuvent être également liés aux effectifs migratoires lors du retour en Europe.

Références

- Ahola MP, Laaksonen T, Eeva T, Lehikoinen E (2007) Climate change can alter competitive relationships between resident and migratory birds. *J Anim Ecol* 76:1045–1052.
- Ahola, M., Laaksonen, T., Sippola, K., Eeva, T., Rainio, K. and Lehikoinen E. (2004) Variation in climate warming along the migration route uncouples arrival and breeding dates. *Global Change Biol.* 10, 1610–1617.
- Alerstam, T. (1990) *Bird Migration*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Baillie SR, Peach WJ (1992) Population limitation in Palaearctic-African migrant passerines. *Ibis* 134:120–132.
- Bairlein, F. & Winkel, W. (2001) in *Climate of the 21st Century: Changes and Risks* (eds Lozan, J.L., Grauß, H., Hupfer, P. 278±282 (Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg).
- Ballard, G., Geupel, G.R., Nur, N., Gardali, T. Long-term declines and decadal patterns in Population trends of songbirds in Western North America, 1979–1999. *The Condor* 105:737–755.
- Barbet-Massin, M., Walther, B.A., Thuiller, W., Rahbek, C., Jiguet, F. 2009. Potential impacts of climate change on the winter distribution of Afro-Palaearctic migrant passerines. *Biology Letters* 5: 248-251.
- Bart, J. 2005. Monitoring the abundance of bird populations. *Auk* 122:15–25.
- Bednarz, J. C., D. Klem, Jr., L. J. Goodrich, and S. E. Senner. 1990. Migration counts of raptors at Hawk Mountain, Pennsylvania, as indicators of population trends, 1934–1986. *Auk* 107:96–109.
- Bennett PM, Owens IPF (2002) *Evolutionary Ecology of Birds* (Oxford Univ Press, Oxford, UK).
- BirdLife International (2008) North American monitoring schemes are revealing declines in migratory species. Presented as part of the BirdLife State of the world's birds website. Available from: <http://www.biodiversityinfo.org/sowb/casestudy.php?r=state&id=25>. Checked: 16th February 2009
- BirdLife International (2004) *Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status*. Cambridge, UK: BirdLife International.
- BirdLife International (2008) Palaearctic–African migratory birds have suffered substantial declines. Presented as part of the BirdLife State of the world's birds website. Available from: <http://www.biodiversityinfo.org/sowb/casestudy.php?r=state&id=26>. Checked: 16th February 2009
- Bildstein, K. L. 2001. Why migratory birds of prey make great biological indicators. Pages 169–179 in *Hawkwatching in the Americas* (K. L. Bildstein and D. Klem, Eds.). Hawk Migration Association of North America, North Wales, Pennsylvania.
- Böhning-Gaese, K., Tazper, M.L., Brown, J.H. 1993. Are declines in North American insectivorous songbirds due to causes on the breeding range? *Conservation Biology* 7:76–86.
- Both, C. 2007 Comment on “Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds”. *Science* 315, 598. (doi:10.1126/science.1136148)
- Both C, Bouwhuis S, Lessells CM, Visser ME (2006) Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature* 441:81–83.
- Both C, Visser ME (2001) Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. *Nature* 411:296–298.
- Britschgi, A., et al. 2006. Impact of grassland farming intensification on the breeding ecology of an indicator insectivorous passerine, the Whinchat *Saxicola rubetra*: Lessons for overall Alpine meadowland management. - *Biol. Conserv.* 130: 193-205.

- Butcher, D. W. Demarest, R. Dettmers, W. C. Hunter, and others. 2005. High priority needs for range-wide monitoring of North American landbirds. Partners in Flight Technical Series, no. 2. [Online.] Available at www.partnersinflight.org/pubs/ts/02-MonitoringNeeds.pdf.
- Butler, C.J. (2003) *Ibis* 145, 484–495.
- Calder, W.A. & Calder, L.L. (1994). Calliope hummingbird (*Stellula calliope*). In: *The Birds of North America*, No. 135, eds. Poole, A. & Gill, F. Philadelphia: The Academy of Natural Sciences; Washington, DC: The American Ornithologists' Union.
- Cardonnel (2006) Bilan de la migration prénutiale à la Pointe de Grave.
- Chamberlain DE, Fuller RJ, Bunce RGH, Duckworth JC, Shrubbs, M. (2000) Changes in the abundance of farmland birds in relation to the timing of agricultural intensification in England and Wales. *J Appl Ecol* 37:771–788.
- Connors PG, Myers JP, Pitelka FA, 1979. Seasonal habitat use by arctic Alaskan shorebirds. *Stud Avian Biol* 2:101–111.
- Cooke F, MacInnes CD, Prevett JP, 1975. Gene flow between breeding populations of lesser snow geese. *Auk* 92:493–510.
- Cotton, P.A. 2003. Avian migration phenology and global climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 100: 12219–12222.
- Downes, C. M., E. H. Dunn, and C. M. Francis. 2000. Canadian landbird monitoring strategy: Monitoring needs and priorities into the new millennium. Partners in Flight Canada, Ottawa, Ontario.
- Dunn, E. H., B. L. Altman, J. Bart, C. J. Beardmore, H. Berlanga, P. J. Blancher, G. S. Butcher, D. W. Demarest, R. Dettmers, W. C. Hunter, and others. 2005. High priority needs for range-wide monitoring of North American landbirds. Partners in Flight Technical Series, no. 2. [Online.] Available at www.partnersinflight.org/pubs/ts/02-MonitoringNeeds.pdf.
- Dunn, E. H., and D. J. T. Hussell. 1995. Using migration counts to monitor landbird populations: Review and evaluation of current status. Pages 43–88 in *Current Ornithology*, vol. 12 (D. M. Power, Ed.). Plenum Press, New York.
- Elkins, N. (1995) *Weather and Bird Behaviour*, 2nd Ed., Poyser, London.
- FAOSTAT database of the UN's Food and Agriculture Organisation (<http://faostat.fao.org>)
- Farmer, C.J., Hussell, D.J.T., Mizrahi, D. 2007. Detecting population trends in migratory birds of prey. *The Auk* 124:1047–1062.
- Farmer, C. J. and D.J.T. Hussell. 2008. The Raptor Population Index in Practice. Pp. 165-178 in K.L. Bildstein, J.P. Smith, E. Ruelas I., and R.R. Veit (eds). *State of North America's Birds of Prey*. Nuttall Ornithological Club and American Ornithologists. Union Series in Ornithology No. 3. Cambridge, Massachusetts, and Washington, D.C. [TP-05]
- Farmer, C.J., D.J.T. Hussell, and D. Mizrahi. 2007. Detecting Population Trends in Migratory Birds of Prey. *The Auk* 124:1047-1062.
- Fiedler, W. (2001) In: *Avian Migration* (Ed. by P. Berthold, E. Gwinner and E. Sonnenschein), pp. 21–38. Springer, Berlin.
- Forchhammer MC, Post E, Stenseth NC (2002) North Atlantic Oscillation timing of long- and short-distance migration. *J Anim Ecol* 71:1002–1014.
- Francis, C.M. & Cooke, F. (1986). Differential timing of spring migration in wood warblers (*Parulinae*). *Auk*, 103, 548-556.
- Francis, C.M. & Cooke, F. (1990). Differential timing of spring migration in rose-breasted grosbeaks. *J. Field Ornithol.*, 61, 404-412.
- Francis, C. M., and D. J. T. Hussell. 1998. Changes in numbers of land birds counted on migration at Long Point Bird Observatory, 1961–1997. *Bird Populations* 4:37–66.
- Fuller RJ, *et al.* (1995) Population declines and range contractions among lowland farmland birds in Britain. *Conserv Biol* 9:1425–1441.
- Fuller, M. R., and J. A. Mosher. 1981. Methods of detecting and counting raptors: A review.

- Pages 235–246 in *Estimating Numbers of Terrestrial Birds* (C. J. Ralph and J. M. Scott, Eds.). *Studies in Avian Biology*, no. 6.
- Gatter, W. 1992 Zugzeiten und Zugmuster im Herbst: Einfluss des Treibhauseffektes auf den Vogelzug? *J. Ornithol.* **133**, 427–436.
- Gauthreaux, S.A. Jr (1982). The ecology and evolution of avian migration systems. In: *Avian Biology*, Vol. 6, eds. Farner, D.S., King, J.R. & Parkes, K.C. New York: Academic Press, pp. 93-168.
- Gordo O, Brotons L, Ferrer X, Comas P (2005) Do changes in climate patterns in wintering areas affect the timing of the spring arrival of trans-Saharan migrant birds? *Global Change Biol* 11:12–21.
- Gougeon (1996) Bilan de la migration pré-nutiale à la Pointe de Grave.
- Gougeon (1997) Bilan de la migration pré-nutiale à la Pointe de Grave.
- Gougeon (1998) Bilan de la migration pré-nutiale à la Pointe de Grave.
- Gilyazov, A. and Sparks, T. (2002) *Avian Ecol. Behav.* 8, 35–47.
- Hagan JM, Lloyd-Evans TL, Atwood J, 1991. The relationship between latitude and the timing of spring migration of North American landbirds. *Ornis Scand* 22:129–136.
- Hasselquist, D. (1998). Polygyny in great reed warblers: a long-term study of factors contributing to male fitness. *Ecology*, 53, 938-946.
- Hjort C, Lindholm C-G (1978) Annual bird ringing totals and population fluctuations. *Oikos* 30:387–392.
- Hoffman, S. W., and J. P. Smith. 2003. Population trends of migratory raptors in western North America 1977–2001. *Condor* 105:397–419.
- Hughes, L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends Ecol. Evol.* 15, 56±61 (2000).
- Huin, N. and Sparks, T.H. (1998) *Bird Study* 45, 361–370.
- Hüppop O, Hüppop K (2003) North Atlantic Oscillation and timing of spring migration in birds. *Proc R Soc Lond B* 270:233–240.
- Hussell, D.J.T. and E. Ruelas I. 2008. Long-term Monitoring: The Raptor Population Index in Principle. Pp. 151-164 in K.L. Bildstein, J.P. Smith, E. Ruelas I., and R.R. Veit (eds). *State of North America's Birds of Prey*. Nuttall Ornithological Club and American Ornithologists. Union Series in Ornithology No. 3. Cambridge, Massachusetts, and Washington, D.C.
- Hussell, D. J. T., and L. Brown. 1992. Population changes in diurnally-migrating raptors at Duluth, Minnesota (1974–1989) and Grimsby, Ontario (1975–1990). Ontario Ministry of Natural Resources, Maple, Ontario, Canada.
- Kerlinger, P., and S. A. Gauthreaux, Jr. 1985. Seasonal timing, geographic distribution, and flight behavior of Broad-winged Hawks during migration in south Texas: A radar and visual study. *Auk* 102:735–743.
- Ketterson, E.D. & Nolan, V.J. (1976). Geographic variation and its climatic correlates in the sex ratio of eastern-wintering dark-eyed juncos (*Junco hyemalis hyemalis*). *Ecology*, 57, 679-693.
- Ketterson, E.D. & Nolan, V.J. (1983). The evolution of differential bird migration. In: *Current Ornithology*, Vol. 1, ed. Johnston, R.F. New York: Plenum Press, pp. 357-402.
- Kir, D. A., and C. Hyslop. 1998. Population status and recent trends in Canadian raptors: A review. *Biological Conservation* 83: 91–118.
- Kokko, H. (1999). Competition for early arrival in migratory birds. *J. Anim. Ecol.*, 68, 940±950.
- Inchausti, P. and Bretagnolle, V. 2005. Predicting short-term extinction risk for the declining Little Bustard (*Tetrax tetrax*) in intensive agricultural habitats. - *Biol. Conserv.* 122: 375-384.

- Jenni, L. and Kéry, M. (2003) Timing of autumn bird migration under climate change: advances in long-distance migrants, delays in short-distance migrants. *Proc. R. Soc. Lond. B* 270, 1467–1471.
- Jiguet F, Gadot AS, Julliard R, Newson SE, Couvet D (2007) Climate envelope, life history traits and the resilience of birds facing global change. *Glob Change Biol* 13:1672–1684.
- Jonzén N, et al. (2006) Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science* 312:1959–1961.
- Julliard R, Jiguet F, Couvet D (2004) Common birds facing global changes: What makes a species at risk? *Glob Change Biol* 10:148–154.
- Kerlinger, P. 1989. *Flight Strategies of Migrating Hawks*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- Ketterson, E.D. & Nolan, V.J. (1983). The evolution of differential bird migration. In: *Current Ornithology*, Vol. 1, ed. Johnston, R.F. New York: Plenum Press, pp. 357±402.
- Kirby, J. S., Stattersfield, A. J., Evans, M. I., Grimmett, R., Newton, I., O'Sullivan, J. and Lehikoinen E, Sparks T, Zalakevicius M (2004) Arrival and departure dates. In: Møller AP, Fiedler W, Berthold P (eds) *Birds and Climate Change*. *Advances in Ecological Research*, vol 35. Academic Press, NY, pp1–31
- Kissner KJ, Weatherhead PJ, Francis CM, 2003. Sexual size dimorphism and timing of spring migration in birds. *J Evol Biol* 16:154–162.
- Lanfear A, Hasselquist D, von Schantz T, 1998. Extra-pair fertilizations in the sedge warbler. *J Avian Biol* 29:134–144.
- Lehikoinen E, Sparks T, Zalakevicius M (2004) Arrival and departure dates. In: Møller AP, Fiedler W, Berthold P (eds) *Birds and Climate Change*. *Advances in Ecological Research*, vol 35. Academic Press, NY, pp1–31.
- Loxton, R.G., Sparks, T.H. (1999) *Bardsey Observ. Rep.* 42, 105–143.
- Loxton, R.G., Sparks, T.H. and Newnham, J.A. (1998) *Sussex Bird Rep.* 50, 182–196.
- Lozano GA, Perreault S, Lemon RE, 1996. Age, arrival date and reproductive success of male American redstarts *Setophaga ruticilla*. *J Avian Biol* 27:164–170.
- Maigre et Zenoni (1999) Bilan de la migration pré-nutiale à la Pointe de Grave.
- Maigre et Zenoni (2000) Bilan de la migration pré-nutiale à la Pointe de Grave.
- Maigre et Zenoni (2001) Bilan de la migration pré-nutiale à la Pointe de Grave.
- Maigre et Zenoni (2002) Bilan de la migration pré-nutiale à la Pointe de Grave.
- Maigre et Zenoni (2003) Bilan de la migration pré-nutiale à la Pointe de Grave.
- Maigre et Zenoni (2004) Bilan de la migration pré-nutiale à la Pointe de Grave.
- Menzel, A. & Estrella, N. (2001) "Fingerprints" of Climate Change Adapted Behaviour and Shifting Species Ranges (eds Walther, G.-R., Burga, C. A. & Edwards, P. J.) 123±137 (Kluwer Academic, New York).
- Menzel, A., Estrella, N. & Fabian, P. (2001). Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951±1996. *Glob. Change Biol.* 7, 657±666
- Climate Change 2001. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (WG I & II) (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2001).
- Miller-Rushing, A.J., Lloyd-Evans, T.L., Primack, R.B. and Satzing, P. (2008) Bird migration times, climate change, and changing population sizes. *Global Change Biology* 14, 1959–1972.
- Mills, A. 2005. Changes in the timing of spring and autumn migration in North American migrant passerines during a period of global warming. *Ibis* 147, 259–269.
- Moore, F.R., Kerlinger, P. & Simons, T.R. (1990). Stopover on a gulf coast barrier island by spring trans-gulf migrants. *Wilson Bull.*, 102, 487±500.
- Møller AP, Garamszegi LZ, Spottiswoode CN (2008) Genetic similarity, distribution range and sexual selection. *J Evol Biol* 21:213–225.

- Morbey YE, Ydenberg RC, 2001. Protandrous arrival timing to breeding areas: a review. *Ecol Lett* 4:663–673.
- Mueller, H. C., D. D. Berger, and G. Allez. 1988. Population trends in migrating Peregrines at Cedar Grove, Wisconsin, 1936–1985. Pages 496–506 in *Peregrine Falcon Populations, Their Management and Recovery* (T. J. McCade, J. H. Enderson, C. G. Thelander, and C. M. White, Eds.). The Peregrine Fund, Boise, Idaho.
- Myers, J.P. (1981). A test of three hypotheses for latitudinal segregation of the sexes in wintering birds. *Can. J. Zool.*, 59, 1527±1534.
- Oba, G., Post, E., Stenseth, N.C. (2001) Sub-Saharan desertification and productivity are linked to hemispheric climate variability. *Global Change Biology*, 7, 241–246.
- Otahal, C.D. (1995). Sexual differences in Wilson's warbler migration. *J. Field Ornithol.*, 66, 60±69.
- Ottosson, U., Waldenström, J., Hjort, C., McGregor, R. 2005 Garden warbler *Sylvia borin* migration in sub-Saharan West Africa: phenology and body mass changes. *Ibis* 147, 750–757.
- Parmesan C, Yohe G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421:37–42.
- Péron, G., Henry, P-Y. , Provost, P., Dehorter, O., Julliard, R. (2007) Climate changes and post-nuptial migration strategy by two reedbed passerines. *Climate Research* Vol. 35: 147–157.
- Peterjohn, B. G., Sauer, J. R. and Robbins, C. S. (1995) Population trends from the North American Breeding Bird Survey. Pp. 3–39 in T. E. Martin and D. M. Finch, eds., *Ecology and management of Neotropical migratory birds: a synthesis and review of critical issues*. Oxford: Oxford University Press.
- Rainio, K., Tøttrup, A.P., Lehikoinen, E., Coppack, T. 2007. Effects of climate change on the degree of protandry in migratory songbirds. *Climate Research* Vol. 35: 107–114, 2007.
- Reynolds JD, Colwell MA, Cooke F, 1986. Sexual selection and spring arrival times of red-necked and Wilson's phalaropes. *Behav Ecol Sociobiol* 18:303–310.
- Rich, T. D., C. J. Beardmore, H. Berlanga, P. J. Blancher, M. S. W. Bradstreet, G. S. Butcher, D. W. Demarest, E. H. Dunn, W. C. Hunter, E. E. Inigo-Elias, and others. 2004. *Partners in Flight North American Landbird Conservation Plan*. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York.
- Robbins, C. S., Sauer, J. R., Greenberg, R. S. and Droege, S. (1989) Population declines in North American birds that migrate to the neotropics. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 86: 7658–7662.
- Root TL, et al. (2003) Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57–60.
- Rubolini D, Møller AP, Rainio K, Lehikoinen E (2007) Intraspecific consistency and geographic variability in temporal trends of spring migration phenology among European bird species. *Clim Res* 35:135–146.
- Rubolini D, Spina F, Saino N (2004) Protandry and sexual dimorphism in trans-Saharan migratory birds. *Behav Ecol* 15:592–601.
- Sanderson, F. J., Donald, P. F., Pain, D. J., Burfield, I. J. and van Bommel, F. P. J. (2006) Long-term population declines in Afro-Palearctic migrant birds. *Biol Conserv.* 131: 93–105.
- Sauer, J. R. and Droege, S. (1992). Geographic patterns in population trends of Neotropical migrants in North America. Pp. 26–42 in J. M. Hagan and D. W. Johnston, eds., *Ecology and conservation of Neotropical migrant landbirds*. Washington, D. C.: Smithsonian Institution Press.
- Sauer, J. R., Hines, J. E. and Fallon, J. (2007) *The North American Breeding Bird Survey, results and analysis 1966–2007*. Version 10.13.2007. USGS Patuxent Wildlife Research Centre, Laurel, MD.

- Schaub, M., Kania, W. and Köppen, U. (2005) Variation of primary production during winter induces synchrony in survival rates in migratory white storks *Ciconia ciconia*. *J. Anim Ecol.* 74: 656–666.
- Schultz, S., Bradbury, R. B., Evans, K. L., Gregory, R. D. and Blackburn, T. M. (2005) Brain size and resource specialization predict long-term population trends in British birds. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B* 272: 2305–2311.
- Siriwardena, G. M., et al. 1998. Trends in the abundance of farmland birds: a quantitative comparison of smoothed Common Birds Census indices. - *J. Appl. Ecol.* 35: 24–43.
- Smith, N. G. 1985. Some uncertain aspects of migration by Swainson's Hawks and Turkey Vultures. Pages 219–222 in *Proceedings of Hawk Migration Conference IV* (M. Harwood, Ed.). Hawk Migration Association of North America, North Wales, Pennsylvania.
- Sokolov, L.V., Markovets, M.Yu., Shapoval, A.P. and Morozov, Yu.G. (1998) *Avian Ecol. Behav.* 1, 1–21.
- Sokolov L (2006) Effect of global warming on the timing of migration and breeding of passerine birds in the 20th century. *Entomol Rev* 86:S59–S81
- Sol, D., Lefebvre, L. and Rodríguez-Teijeiro, J. D. (2005) Brain size, innovative propensity and migratory behaviour in temperate Palearctic birds. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B* 272: 1433–1441.
- Sparks, T.H. and Braslavská, O. (2001) *Int. J. Biometeorol* 45, 212–216.
- Sparks, T.H. and Mason, C.F. (2001) *Essex Bird Rep.* 1999, 154–164.
- Sparks, T., Crick, H., Elkins, N., Moss, R., Moss, S. and Mylne, K. (2002) *Weather* 57, 399–410.
- Sparks, T.H., Bairlein, F., Bojarinova, J.G., Hüppop, O., Lehikoinen, E., Rainio, K., Sokolov, L.V., Walker, D. (in press) *Global Change Biology*.
- Spina F, Massi A, Montemaggiore A, 1994. Back from Africa: who's running ahead?: aspects of differential migration of sex and age classes in Palearctic-African spring migrants. *Ostrich* 65: 137–150.
- Spottiswoode, C.N., Tøttrup, A.P. and Coppack, T. (2006) Sexual selection predicts advancement of avian spring migration in response to climate change *Proc. R. Soc. B* 273, 3023–3029
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R. and Polasky, S. (2002) Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671–677.
- Tøttrup, A.P. (2004) M.Sc. thesis, Zoological Museum, University of Copenhagen.
- Tucker, G. (2008) Key conservation issues for migratory birds in the world's major flyways. *Bird Conserv. Int.* 18: 49–73.
- Tucker, G. M. and Heath, M. F. (1994) *Birds in Europe: their conservation status*. Cambridge, UK: BirdLife International (BirdLife Conservation Series 03).
- Urcun, J.P. Bilan de la migration pré-nutiale à la Pointe de Grave (1992).
- Urcun, J.P. Bilan de la migration pré-nutiale à la Pointe de Grave (1993).
- Urcun, J.P. Bilan de la migration pré-nutiale à la Pointe de Grave (1994).
- Vähätalo, A., Rainio, K., Lehikoinen, A. and Lehikoinen, E. (2004) *J. Avian Biol.* 35, 210–216.
- Walther, G.-R., Burga, C. A. & Edwards, P. J. (eds) "Fingerprints" of Climate Change-Adapted Behaviour and Shifting Species Ranges (Kluwer Academic/Plenum, New York, 2001).
- Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Merzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O. and Bairlein, F. (2002) *Nature* 416, 389–395.
- York, Hussell, D. J. T., M. H. Mather, and P. H. Sinclair. 1992. Trends in numbers of tropical- and temperate-wintering migrant landbirds in migration at Long Point, Ontario, 1961–1988. Pages 101–114 in *Ecology and Conservation of Neotropical Migrant*

Landbirds. (J. M. Hagan III and D. W. Johnson, Eds.). Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.

Zalakevicius, M. (1993) Acta Orn. Lithuanica 7–8, 16–26.

Zalakevicius, M., Svazas, S., Stanevicius, V. and Vaitkus, G. (1995) Bird Migration and Wintering in Lithuania. Acta Zoologica Lituanica: Ornithologia, Vol. 2, 252 pp. Institute of Ecology, Vilnius, a monograph (in English).

Websites:

EBCC: <http://www.ebcc.info/pecbm.html> FBBS (STOC): <http://www2.mnhn.fr/vigie-nature/>

Birdlife International: <http://www.birdlife.org/>

Migraction: <http://www.migraction.net/>

Raptor Population Index: <http://www.rpi-project.org/>

Oiseaux: <http://www.oiseaux.net/>

LPO Aquitaine: <http://lpoaquitaine.org/>