

faune-aquitaine.org



Oiseaux migrants et changement climatique : *les réponses de quelques espèces*

Le contenu de l'espace téléchargeable est le fruit de la collaboration de l'ensemble des contributeurs au projet de base de données naturalistes

Oiseaux migrateurs et changement climatique : *les réponses de quelques espèces*

Rédaction :

Ondine Filippi-Codaccioni (LPO Aquitaine)

Relecture :

L. Couzi, F. Dupuy, O. Le Gall, JP. Urcun

Citations :

Filippi-Codaccioni, O. (2013) Oiseaux migrateurs et changement climatique : *les réponses de quelques espèces*. 0035FA-2013/faune-aquitaine.org. 24 p. Bordeaux.

Table des matières

Introduction	4
Matériel et méthode.....	5
Résultats.....	7
Discussion	12
Bibliographie	14



Spotteurs sur la Redoute de Lindux (Urepel , 64). Photo : Groupe migration/LPO Aquitaine.

Introduction

Depuis une trentaine d'années, les organismes vivants montrent des réponses d'adaptation variées au changement climatique (Walther et al. 2002). Les réponses d'adaptation les plus documentées dans la littérature scientifique sont celles sur le décalage temporel de la phénologie des espèces, dont nous avons pu être témoin grâce aux jeux de données de suivis à long terme. De multiples études ont rapporté une avance de la saison de reproduction ou de croissance chez un nombre important d'espèces animales et végétales. Celles sur les dates d'arrivée printanières des oiseaux migrateurs sont particulièrement remarquables (Sokolov et al. 1998; Lehikoinen et al. 2004; Sparks et al. 2005; Jonzén et al. 2006; Zalakevicius et al. 2006). En revanche, les effets du changement climatique sur les événements ultérieurs du cycle annuel, comme la migration automnale, sont peu étudiés et compris (Jenni and Kéry 2003; Tøttrup et al. 2006; Thorup et al. 2007, Jaffré 2012).

La mise en évidence d'une migration automnale avancée ou retardée est équivoque dans de nombreuses 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 d'histoire de vie spécifiques (Lehikoinen et al. 2004). Kéry (2003) a montré chez 65 espèces de passereaux que la tendance temporelle de la date du pic de passage dépendait de plusieurs traits d'histoire de vie comme la stratégie migratoire, le nombre de nichées ou le régime alimentaire.

Comme la plupart des études ont porté sur les passereaux (mais voir pour les anatidés : Jaffré et al. In prep ; pour les rapaces migrateurs courtes-distances: Jaffré et al. Soumis; Jaffré, 2012), la phénologie de migration des rapaces reste peu étudiée. En conséquence, nous avons choisi d'étudier les adaptations possibles de phénologie des rapaces en utilisant les comptages des oiseaux en migration sur l'un des principaux points convergents des routes de migration occidentales en France : le col d'Organbidexka dans les Pyrénées occidentales.

Nous avons calculé les dates moyennes de passage pondérées par l'abondance pour 14 espèces de rapaces sur 32 années (1981-2012) et cherché des tendances à long terme sur ces dates moyennes. Nous avons également évalué un décalage potentiel dans la phénologie de migration des espèces à partir de la méthode de lissage développée par Moussus et al. (2010).

Enfin, nous avons testé si les variations de tendances temporelles dans les dates de passage dépendaient de plusieurs traits d'histoire de vie :

- 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) ;
- la stratégie de mue : 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 partiraient plus tard que les autres ;
- 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.

Matériel et méthode

Lieu d'étude

Les cols des Pyrénées occidentales constituent un des points de convergence 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) (www.migration.net). Il est situé au Pays Basque, dans le département des Pyrénées-Atlantiques, 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 (Sweden) et le détroit de Gibraltar (Espagne), particulièrement pour l'observation des rapaces, des cigognes, des grues et des pigeons.

Les données de migration

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 40000 individus.

Nous avons utilisé un jeu de données comprenant 32 années de comptage de la migration, commençant en 1981 et jusqu'à 2012 ajoutant ainsi 4 années à l'étude réalisée avec des données allant jusqu'à 2008 (Filippi-Codaccioni et al. 2010). La même méthodologie est appliquée tout au long de la période (Protocole Transpyr ; Urcun, 2010). Les effectifs journaliers des oiseaux volant vers le sud sont utilisés pour les analyses.

Les traits testés sont 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) (Tableau 1).

Le Busard des roseaux est 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).

Tableau 1. 14 espèces de rapaces et traits d'histoire de vie étudiés.

Espèces	Stratégie de migration	Mue	Temps de génération
<i>Accipiter nisus</i>	short	BM	4
<i>Buteo buteo</i>	short	BM	8
<i>Circus aeruginosus</i>	long	BM	6
<i>Circus cyaneus</i>	short	BM	6
<i>Circaetus gallicus</i>	long	BM	13
<i>Circus pygargus</i>	long	BAM	6
<i>Falco columbarius</i>	short	BM	3
<i>Falco subbuteo</i>	long	BAM	5
<i>Falco tinnunculus</i>	short	BM	3
<i>Hieraaetus pennata</i>	long	BM	11
<i>Milvus migrans</i>	long	BAM	6
<i>Milvus milvus</i>	short	BM	6
<i>Pandion haliaetus</i>	long	BAM	9
<i>Pernis apivorus</i>	long	BAM	9

*Stratégie de migration : short = migrateur courte-distance, long = migrateur longue-distance ; Mue : BM = mue avant la migration, BAM= mue avant et après la migration, Temps de génération : âge moyen des parents à la première nichée

Des méthodes variées de modélisation phénologique créées dans le but de calculer les décalages phénologiques existent dans la littérature. Elles utilisent entre autre comme mesures : 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 quantiles (Jonzen et al. 2006) ou des techniques de lissage (Knudsen et al. 2007, Moussus et al. 2009).

Les dates de premières apparitions 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) et ont fait l'objet d'une étude comparant la robustesse de ces différents estimateurs (Moussus et al. 2010). Cette question est d'autant plus cruciale avec la phénologie de migration des rapaces que certaines espèces présentent une distribution phénologique bimodale due aux différences de dates de passage entre mâles et femelles et/ou 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 deux méthodes les plus robustes sont les dates de passage moyennes et les techniques de lissage qui tiennent toutes les deux compte de la distribution totale et produisent des estimateurs sensibles aux distributions phénologiques bimodales (Moussus et al. 2010).

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. Les détails méthodologiques sur la méthode GAM de lissage peuvent se trouver dans Moussus et al. (2009).

La tendance temporelle des dates de passage moyennes est modélisée à l'aide de modèles linéaires et sa significativité testée avec des Analyses de Variance (ANOVAs). Des modèles non-linéaires sont également utilisés pour détecter d'autres types de réponses notamment sur les migrateurs courtes-distances.

Les effets de la date de mue, de la stratégie migratoire et du temps de génération sont ajustés les uns aux autres (ANOVAs, type II error) pour l'étude sur les traits.

Nous avons également étudié le décalage phénologique d'autres espèces bien représentées en migration à Organbidexka (Grue cendrée, Cigogne noire, Cigogne blanche et Grand cormoran) mais qui ne font pas partie de l'analyse sur les traits car elles appartiennent à des « familles » différentes.

Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R (R Development Core Team 2006).

Résultats

Les décalages phénologiques au cours des 32 années sont significatifs chez 5 des 14 espèces de rapaces étudiées ($p < 0.05$) et 1 espèce de façon marginalement significative (Busard cendré *Circus pygargus*, $p = 0.10$).

Ils vont de -9.4 jours pour le Busard des roseaux (*Circus aeruginosus*) à -3.8 jours pour la Bondrée apivore (*Pernis apivorus*) (Tableau 2). Aucun décalage positif (passage retardé) n'est ressorti significatif.

Concernant les autres espèces (hors rapaces), la Cigogne blanche a avancé son passage migratoire à Organbidexka de 8.4 jours et la Grue cendrée d'une dizaine de jours de manière significative ($p = 0.05$ et $p < 0.001$). Pour ces espèces en revanche, la méthode d'estimation du décalage phénologique donne des estimations différentes avec aucun décalage significatif pour la Cigogne blanche, une avancée moyenne de 18 jours pour la Grue cendrée ainsi qu'une avancée de 7 jours pour le grand cormoran, toutes deux fortement significatives ($p < 0.001$).

Une tendance non-linéaire significative est détectée chez 2 espèces n'ayant pas de tendance linéaire significative : le Busard Saint-Martin (*Circus cyaneus*) et le Faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) (Figure 4). Aucun migrateur longues-distances pour lequel aucune tendance linéaire significative n'est détectée ne présente de tendance non-linéaire significative. Pour les autres, les GAM ne changent pas la forme de la relation (le modèle n'est pas meilleur).

Tableau 2. Décalages phénologiques (pente de la relation date de passage moyenne en fonction de l'année à Organbidexka (\pm SE) et P-values (one-tailed t-test) pour chacune des 14 espèces de rapaces.

Species	Pente (Jour/an) \pm SE	Pente (Jour/32ans)	p-value	GAM
<i>Accipiter nisus</i>	-0.193	-5.983	0.02	OUI
<i>Buteo buteo</i>	0.06409	1.98679	0.55	NON
<i>Circaetus gallicus</i>	-0.03444	-1.06764	0.54	NON
<i>Circus aeruginosus</i>	-0.3045	-9.4395	<0.001	OUI
<i>Circus cyaneus</i>	0.05274	1.63494	0.67	OUI
<i>Circus pygargus</i>	-0.0855	-2.6505	0.10	OUI.
<i>Falco columbarius</i>	-0.05677	-1.75987	0.35	NON
<i>Falco subbuteo</i>	-0.07438	-2.30578	0.28	NON
<i>Falco tinnunculus</i>	0.1051	3.2581	0.36	OUI
<i>Hieraaetus pennata</i>	-0.07429	-2.30299	0.24	OUI.
<i>Milvus migrans</i>	-0.16738	-5.18878	<0.001	OUI
<i>Milvus milvus</i>	0.01923	0.59613	0.75	NON
<i>Pandion haliaetus</i>	-0.15963	-4.94853	<0.05	OUI
<i>Pernis apivorus</i>	-0.12475	-3.86725	<0.001	OUI
<i>Ciconia ciconia</i>	-0.2731	-8.4661	0.05	NON
<i>Ciconia nigra</i>	-0.02536	-0.78616	0.68	NON
<i>Grus grus</i>	-0.327	-10.137	<0.001	OUI
<i>Phalacrocorax carbo</i>	-0.1008	-3.1248	0.44	NON

*GAM : Sélection ou non d'un modèle additif généralisé utilisé pour tester les relations non-linéaires ; OUI : significatif avec $p < 0.05$; OUI. : significatif avec $p > 0.10$

Lien avec les traits d'histoire de vie

Nous avons trouvé que la stratégie de migration explique de façon significative le changement de phénologie quand elle est ajustée à la stratégie de mue et au temps de génération ($F_{3,10} = 3.25, P=0.02$). Le modèle avec la stratégie de migration comme seul prédicteur explique 33.6% de la variance totale ($F_{1,12} = 6.07, P = 0.03$) alors que le modèle complet avec la mue et la stratégie de migration explique **49%** de la variance.

Une partition hiérarchique de la variance indique que la stratégie de migration explique **70%** de la variance totale dans le modèle avec la mue et le temps de génération et qu'elle est également la seule variable significative ($Z\text{-score} = 2.88, p<0.05$; Figure 1). Les autres traits n'expliquent pas la tendance temporelle des dates moyennes de passage quand ils sont testés séparément. Les migrateurs longues-distances présentent une pente négative significative de leur tendance temporelle de dates de passage ($-0.07 \pm 0.01, P < 0.001$) alors que les migrateurs courtes-distances présentent une pente négative non-significative ($-0.03 \pm 0.03, P = 0.19$; Figure 2).

Aucun des migrateurs longues-distances (8 espèces) et courtes-distances n'a retardé sa migration automnale au cours des 32 dernières années (Tableau 2).



Organbidexka (Larrau, 64), un jour d'été, où l'on constate l'intérêt du public pour la migration.
Photo : Groupe migration/LPO Aquitaine.

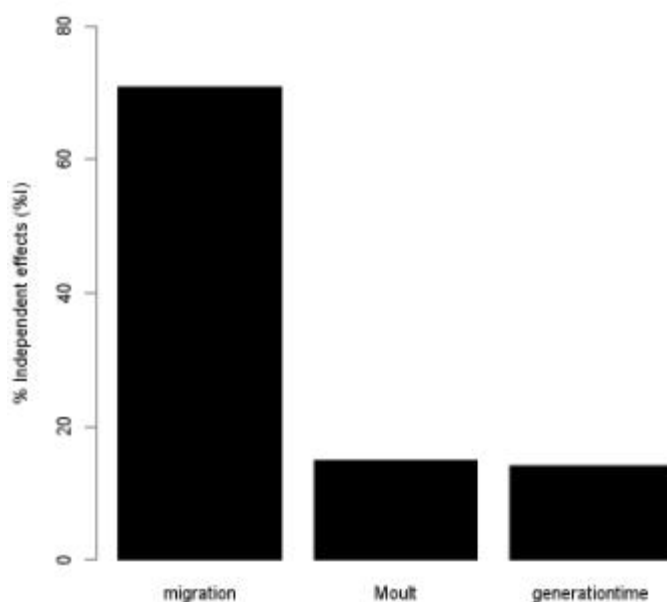


Figure 1. Pouvoir explicatif (%I = pourcentage de variance expliquée) des 3 traits étudiés (stratégie de migration, mue et temps de génération sur le décalage phénologique des 14 rapaces pris en compte.

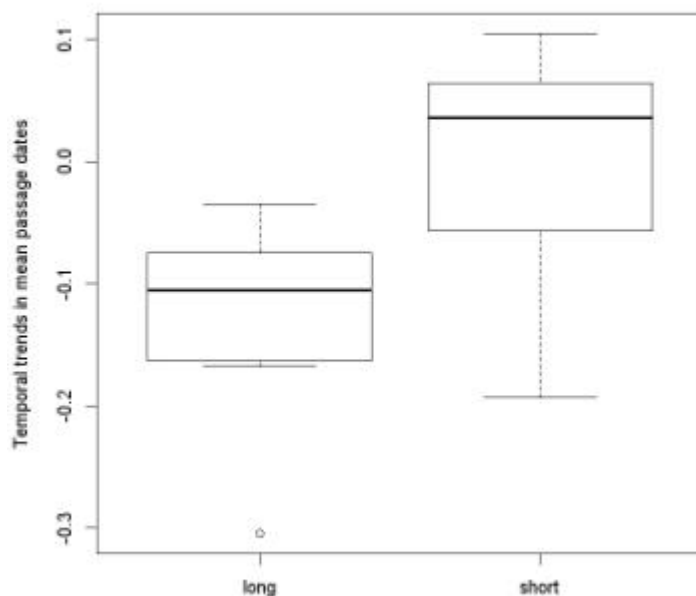
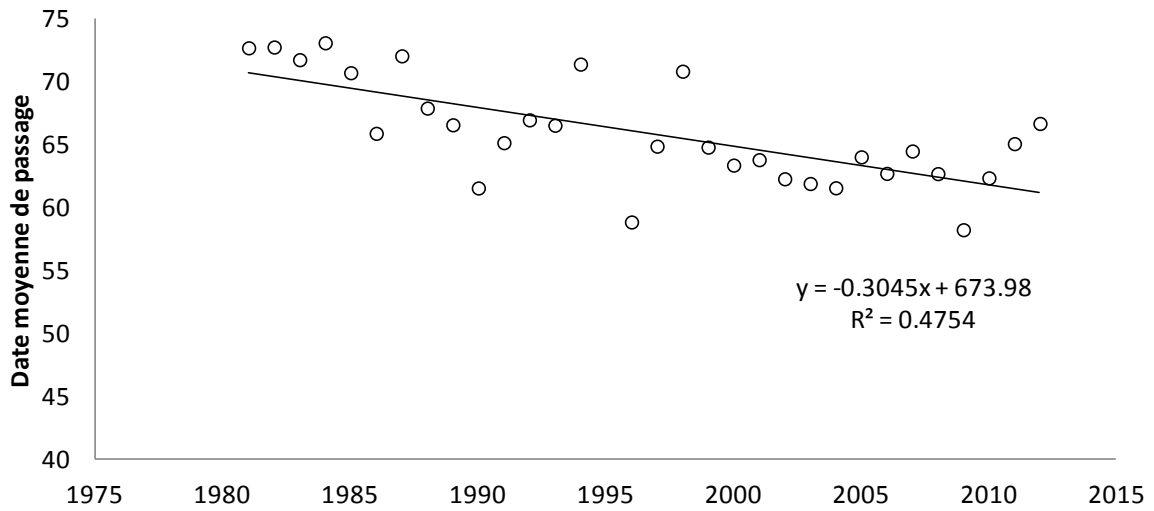


Figure 2. Boxplot des tendances temporelles des dates moyennes de passage en fonction de la stratégie migratoire (courtes et longues-distances) pour 14 espèces de rapaces migrant à Organbidexka.

* Les boites sont délimitées par les quartiles (25 % et 75 % des effectifs). Le trait gras représente la médiane (50% des effectifs), l'étendue des valeurs est représentée par les pointillés. Les points sont les valeurs extrêmes.

Décalage phénologique du Busard des roseaux



Décalage phénologique de la Bondrée apivore

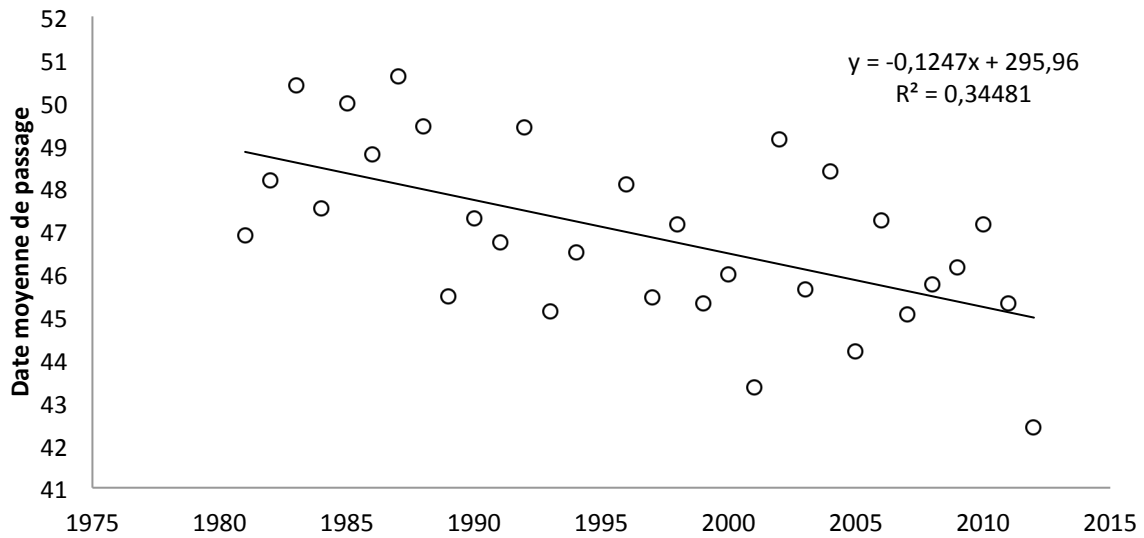


Figure 3. Exemples de changement de phénologie migratoire pendant 32 ans chez deux migrateurs longues-distances, le Busard des roseaux (*Circus aeruginosus*) et la Bondrée apivore (*Pernis apivorus*). Les dates moyennes sont données en nombre de jours, le premier jour étant le 15 juillet.

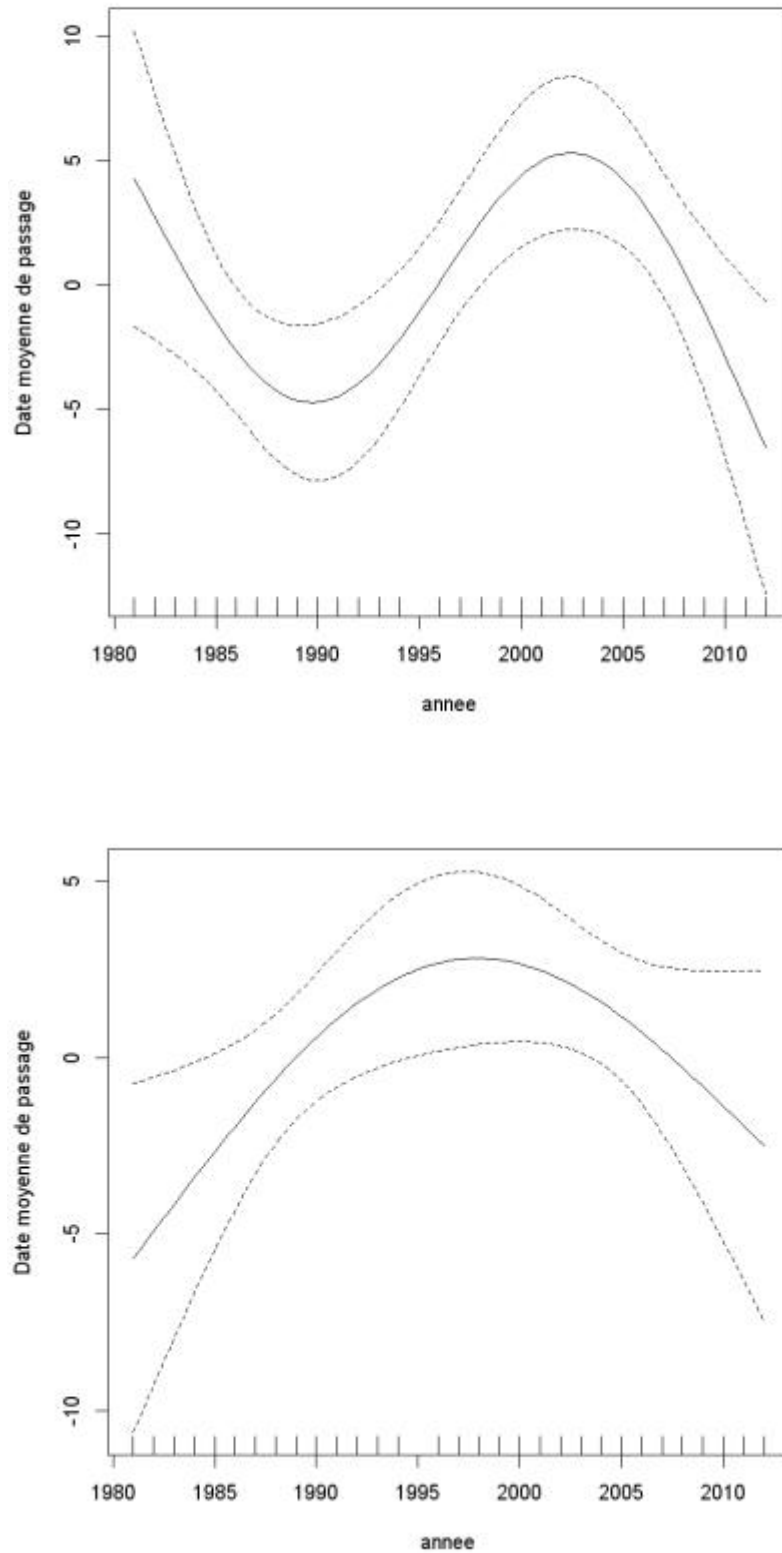


Figure 4. Décalage phénologique du Busard Saint-Martin (*Circus cyaneus*; en haut) et du Faucon crécerelle (*Falco tinnunculus* en bas), deux migrateurs courtes-distances, en fonction du temps (GAM : modèle additif généralisé)

Discussion

Différences de réponse en fonction du statut migratoire

Le résultat principal de l'étude montre que certains migrateurs longues-distances ont avancé leurs dates de passage lors de la migration post-nuptiale ces derniers 32 ans alors qu'aucun migrateur courtes-distances ne l'a fait de manière significative. Ces résultats diffèrent de façon notable avec les résultats sur le même jeu de données s'arrêtant en 2008, soit avec 4 années de moins (Filippi-Codaccioni et al. 2010). En effet, 8 espèces migratrices longues-distances avançaient leurs dates de passage à Organbidexka alors que 3 des 6 migrateurs courtes-distances retardaient leur passage significativement. Toutefois, le statut migratoire reste une variable explicative d'importance quant au décalage phénologique des espèces quelle que soit la stratégie de mue ou le temps de génération de celles-ci. De même, l'ensemble des espèces migratrices courtes-distances ne présente pas de tendance temporelle positive significative quant à un passage plus précoce et n'en présente toujours pas en 2012 alors que la tendance inverse pour les espèces migratrices longues-distances est toujours significative.

Les résultats récents de Jaffré et al. (2012) sur les migrateurs courtes-distances (7 espèces : Epervier d'Europe *Accipiter nisus*, Buse variable *Buteo buteo (buteo)*, Busard des roseaux *Circus aeruginosus*, Busard Saint-Martin *Circus cyaneus*, Faucon émerillon *Falco columbarius*, Faucon crécerelle *Falco tinnunculus* et le Milan royal *Milvus milvus*) montrent que ceux-ci ne retardent pas leurs dates de passage (sur l'ensemble de 13 sites d'observation de la migration postnuptiale en France) de façon linéaire mais qu'au contraire, ils les adaptent en fonction des températures automnales. Leurs résultats montrent notamment une réponse commune des 7 espèces avec un passage plutôt précoce de 1980 à 1994, puis un passage plus tardif de 1995 à 2005 (+3,23 jours), et enfin à nouveau un passage plus précoce de 2006 à 2010 (-4,52 jours). Ces changements observés suivent les changements de température d'automne à grande échelle spatiale. Lorsque les températures d'automne sont froides, les dates moyennes de passage sont précoces et lorsque les températures sont plus chaudes les dates moyennes de passage sont plus tardives.

Leurs conclusions sont que :

- Les rapaces migrateurs courte-distance européens ont montré une aptitude à rester plus longtemps sur les sites de reproduction lors des automnes chauds, allant dans le sens de l'existence d'une plasticité phénotypique permettant de déclencher un départ en migration quand les conditions environnementales l'exigent ;
- Une tendance à partir de plus en plus tôt a également été détectée mais concerne particulièrement les populations nordiques, ce qui témoigne d'un comportement migratoire plus proche de celui des migrateurs transsahariens.

L'étude des variations non-linéaires de la phénologie avec le temps nous indique que 2 espèces de migrateurs courtes-distances ont des tendances différentes (retard ou avance) de leur phénologie sur la période considérée. L'évolution de cette phénologie, dans notre étude, notamment pour le Busard Saint-Martin, semble assez similaire à celle trouvée dans l'étude de Jaffré et al. (2012) (Figure 4) suggérant une nouvelle fois que certains migrateurs courtes-distance suivent les changements de

température automnale. En ce qui concerne l'Épervier d'Europe (*Accipiter nisus*), il est possible que son statut de migrateur courte-distance ne soit pas correct et qu'il s'agisse de populations migratrices longues-distances.

Estimateurs du décalage phénologique

Des différences entre le décalage phénologique calculé à partir des dates moyennes de passage et à partir de la méthode de lissage sont observées dans notre étude, notamment sur les espèces « non-rapaces » : la Grue cendrée, la Cigogne blanche et le Grand cormoran. Bien que ces deux estimateurs soient les meilleurs pour nos données (Moussus et al. 2010 ; Filippi-Codaccioni et al. 2011), il apparaît que les estimations les plus similaires soient celles pour lesquelles la distribution soit bien entière sur la période et surtout la plus « belle » c'est-à-dire, unimodale et de forme gaussienne. En effet, les deux estimateurs se comportent différemment : alors que la date moyenne de passage prend les données telles qu'elles sont, le GAM les lisse pour en créer là où il n'y en a pas (mais toutefois pas jusqu'à la queue de la distribution). De plus, il se peut que le GAM ne soit pas optimal sur les distributions multimodales, créant ainsi des différences d'estimation.

Il est possible qu'il manque dans notre étude la queue de la distribution de la Grue cendrée et du Grand cormoran avec l'arrêt des observations au 15 novembre ainsi que peut-être le début des observations chez la Cigogne blanche, d'où les différences d'estimations. De même, les distributions du passage de la Cigogne blanche et de la Grue cendrée ne paraissent pas unimodales (Annexe 2).

Conclusion

En plus d'avoir montré une nouvelle fois l'influence du statut migratoire chez les rapaces, migrateurs courtes ou longues-distances, sur le décalage phénologique, cette étude met en valeur des différences quant au comportement des migrateurs courtes-distances. Ces derniers adaptent plus leur phénologie en fonction des températures automnales ce qui leur permettrait lors d'automne cléments de rester plus longtemps sur leurs sites de reproduction. Une telle plasticité phénotypique serait plus difficile chez les migrateurs longues-distances, ce qui expliquerait ces différences de réponses entre ces deux types de migrateurs.

Remerciements

Nous remercions tous particulièrement l'ensemble des spotteurs qui se sont relayés depuis 30 ans sur les sites de migration aquitains. Sans eux, bénévoles ou professionnels de grande technicité, le présent document n'aurait pas été possible.

Saluons aussi l'association Organbidexka Col Libre qui, sur les sites pyrénéens, fut pionnière dans le suivi de la migration, et la protection des oiseaux migrateurs.

Enfin, nous tenons à remercier la Mission Migration, rassemblement de plusieurs structures locales françaises, coordonnées par la LPO, qui s'efforce de décliner un programme d'actions en faveur des migrateurs.

Enfin, nous tenons à saluer le soutien constant de plusieurs collectivités, de l'État, de l'Europe, sans qui le vaste programme régional de suivi de la migration de la LPO Aquitaine, ne pourrait être poursuivi. L'ensemble du projet, dans son volet Pyrénéen, s'inscrit depuis 2010 dans un programme transfrontalier INTERREG.



Bibliographie

- 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
- Filippi-Codaccioni, O, Moussus, J-P, Urcun, J-P, Jiguet, F** (2010) Advanced departure dates in long-distance migratory raptors. *J Ornithol* (2010) 151:687–694
- Filippi-Codaccioni, O, Moussus, J-P, Urcun, J-P, Jiguet, F** (2011) Advanced autumn migration of the Common Crane *Grus grus* over Western Pyrenean passes. *Acta Ornithologica* 46: 37-45.
- 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
- Jaffré, M** (2012) *Migration des oiseaux et changement climatique : Analyse des données de migration active en France et en Europe*. Thèse de Doctorat de l'université de Lille 1.
- Jaffré, M, Beaugrand, G, Goberville, E, Jiguet, F, Kjellén, N, Troost, G, Dubois, PJ, Leprêtre, A, Luczak, C**. Long-term phenological shifts in bird migration and climate. *Nature Climate Change* (soumis)
- Jaffré, M, Goberville, E, Beaugrand, G, Jiguet, F, Kjellén, N, Troost, G, Dubois, PJ, Poddevin, V, Luczak, C**. Seaducks and climate in North-Western Europe: how to keep in tune. *In prep*
- 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, Linden A, Ergon T, Knudsen E, Vik JO, Rubolini D, Piacentini D, Brinch C, Spina, F, Karlsson L, Stervander M, Andersson A, Waldenstrom J, Lehikoinen A, Edvardsen E, Solvang R, Stenseth NC** (2006) Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science* 312:1959-1961
- Knudsen E, Linden A, Ergon T, Jonzen N, Vik JO, Knape J, Roer JE, Stenseth NC** (2007) Characterizing bird migration phenology using data from standardized monitoring at bird observatories. *Clim Res* 35:59-77
- 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
- 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
- Moussus J-P, Julliard R, Jiguet F** (2010) Featuring 10 phenological estimators using simulated data. *Methods Ecol. Evol.* 1: 140-150

- 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
- Sokolov LV** (2006) Effect of Global Warming on the Timing of Migration and Breeding of Passerine Birds in the 20th Century. *Entomol Rev* 86:59-81
- 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
- Thorup K, Tøttrup AP, Rahbek C** (2007) Patterns of phenological changes in migratory birds. *Oecologia* 151:697-703
- Tøttrup AP, Thorup K, Rahbek C** (2006) Changes in timing of autumn migration in North European songbird populations. *Ardea* 94:527-536
- Urcun J.P.** (2010) Méthode de recueil de données applicables sur les sites de l'Observatoire Régional de la Migration des Oiseaux en Aquitaine. LPO Aquitaine, http://files.biolovision.net/www.migraction.net/pdffiles/news/Protocole_2010_web-5177.pdf, pp 92.
- Vähätalo A, Rainio K, Lehikoinen A, Lehikoinen E** (2004) Spring arrival of birds depends on North Atlantic Oscillation. *J Avian Biol* 35:210-216
- Walther GR, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJC, Fromentin J-M, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F** (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416:389-395
- Zalakevicius M, Bartkeviciene G, Raudonikis L, Janulaitis J** (2006) Spring arrival response to climate change in birds: a case study from eastern Europe. *J Ornithol* 147:326-3

Site Web :

www.migraction.net

Annexe 1. Décalage phénologique moyen \pm SE (ShiftSM en jour), date moyenne de passage (Meandate, Jour 1 = 14 juillet) et décalage phénologique de la date moyenne de passage (Meanshift, année référence 1981) par année et par espèce (14 rapaces, Cigogne blanche, Cigogne noire et Grue cendrée)

Espèces	1981				1982				1983				1984				1985			
	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift
ACCNIS	4.33	\pm 2.43	74.49	0.00	1.18	\pm 2.01	71.71	-2.78	-2.34	\pm 1.91	67.83	-6.66	1.91	\pm 1.97	73.63	-0.85	-5.53	\pm 2.08	66.08	-8.41
BUTBUT	5.87	\pm 1.36	90.03	0.00	-0.28	\pm 1.17	87.84	-2.18	1.78	\pm 1.37	84.31	-5.72	1.78	\pm 1.08	86.95	-3.07	0.46	\pm 1.47	86.50	-3.52
CIRAER	1.63	\pm 1.26	72.75	0.00	2.54	\pm 1.72	72.81	0.06	-0.81	\pm 1.23	71.80	-0.95	0.82	\pm 2.74	73.15	0.40	1.12	\pm 1.45	70.76	-1.98
CIRCYA	-0.70	\pm 3.13	88.74	0.00	5.04	\pm 3.03	83.98	-4.76	8.58	\pm 4.91	83.73	-5.02	-0.55	\pm 3.99	77.29	-11.45	-17.04	\pm 6.53	73.59	-15.16
CIRGAL	-0.98	\pm 1.53	65.20	0.00	3.09	\pm 1.54	67.58	2.38	-2.38	\pm 1.76	62.26	-2.94	-1.88	\pm 1.63	63.07	-2.12	-4.35	\pm 2.28	61.15	-4.05
CIRPYG	5.89	\pm 1.39	52.18	0.00	-0.97	\pm 1.27	46.53	-5.65	0.66	\pm 1.46	47.91	-4.27	1.81	\pm 1.18	47.44	-4.75	-0.52	\pm 1.65	45.87	-6.31
FALCOL	1.74	\pm 3.31	90.28	0.00	7.74	\pm 3.36	95.68	5.40	-7.45	\pm 5.04	82.91	-7.37	5.11	\pm 3.95	93.60	3.32	-5.29	\pm 2.95	84.47	-5.81
FALSUB	1.02	\pm 2.35	74.14	0.00	0.77	\pm 2.77	73.31	-0.83	-1.49	\pm 2.65	73.34	-0.80	5.27	\pm 3.39	75.81	1.68	0.17	\pm 2.99	69.11	-5.03
FALTIN	-2.11	\pm 2.09	81.42	0.00	2.53	\pm 1.92	83.61	2.19	-3.22	\pm 2.14	78.98	-2.44	2.83	\pm 2.17	82.98	1.57	-4.22	\pm 2.27	75.35	-6.07
HIEPEN	-2.07	\pm 1.48	65.38	0.00	5.68	\pm 1.59	70.62	5.24	-1.96	\pm 1.76	64.09	-1.30	-0.11	\pm 2.03	67.59	2.21	-2.24	\pm 1.91	64.24	-1.14
MILMIG	3.84	\pm 0.25	30.28	0.00	1.68	\pm 0.35	28.37	-1.92	1.98	\pm 0.26	29.78	-0.51	-14.12	\pm 0.26	21.21	-9.07	-2.09	\pm 0.17	23.90	-6.38
MILMIL	3.01	\pm 0.37	93.73	0.00	0.52	\pm 0.38	92.41	-1.32	-3.30	\pm 0.31	87.56	-6.17	5.65	\pm 0.33	93.61	-0.13	-1.55	\pm 0.37	90.49	-3.24
PANHAL	-0.08	\pm 2.78	64.95	0.00	9.84	\pm 2.77	71.71	6.76	-3.35	\pm 2.37	59.50	-5.45	-5.75	\pm 2.89	60.00	-4.95	-1.41	\pm 2.57	62.82	-2.13
PERAPI	-1.95	\pm 0.06	46.88	0.00	-1.15	\pm 0.07	48.17	1.28	1.65	\pm 0.07	50.39	3.50	-0.64	\pm 0.07	47.53	0.64	1.71	\pm 0.08	49.95	3.07
CICCIC	-6.84	\pm 2.62	39.36	0.00	-2.81	\pm 3.50	43.40	4.04	-5.17	\pm 2.71	47.56	8.20	-11.01	\pm 4.60	44.33	4.97	18.33	\pm 6.90	63.86	24.49
CICNIG	1.01	\pm 2.23	59.09	0.00	6.51	\pm 2.13	65.41	6.32	0.41	\pm 1.84	60.22	1.13	-6.66	\pm 2.53	51.22	-7.86	-1.84	\pm 2.02	57.59	-1.49
GRUGRU	3.68	\pm 0.08	116.54	0.00	6.46	\pm 0.08	118.24	1.70	1.33	\pm 0.11	112.47	-4.07	6.44	\pm 0.09	117.05	0.51	-14.84	\pm 0.13	101.09	-15.45

Espèces	1985				1986				1987				1988				1989			
	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift
ACCNIS	-5.53	\pm 2.08	66.08	-8.41	0.47	\pm 2.02	71.32	-3.17	6.60	\pm 2.00	79.19	4.70	1.76	\pm 2.23	72.51	-1.98	-1.92	\pm 1.94	69.23	-5.26
BUTBUT	0.46	\pm 1.47	86.50	-3.52	-5.09	\pm 1.14	85.26	-4.77	2.76	\pm 1.40	88.05	-1.97	3.31	\pm 0.94	86.87	-3.16	-5.95	\pm 1.29	83.73	-6.29
CIRAER	1.12	\pm 1.45	70.76	-1.98	-5.08	\pm 1.88	65.93	-6.81	0.82	\pm 1.69	72.11	-0.64	-2.05	\pm 1.19	67.94	-4.80	-4.02	\pm 1.19	66.61	-6.13
CIRCYA	-17.04	\pm 6.53	73.59	-15.16	11.41	\pm 6.25	78.98	-9.76	7.04	\pm 2.82	88.22	-0.53	-2.15	\pm 4.76	80.46	-8.29	-4.31	\pm 4.29	79.36	-9.38
CIRGAL	-4.35	\pm 2.28	61.15	-4.05	0.16	\pm 2.00	63.34	-1.85	6.82	\pm 2.03	70.24	5.05	2.08	\pm 1.35	68.68	3.48	-2.67	\pm 1.77	60.50	-4.70
CIRPYG	-0.52	\pm 1.65	45.87	-6.31	-6.82	\pm 1.28	41.01	-11.17	1.59	\pm 1.52	48.44	-3.74	2.52	\pm 1.03	48.50	-3.68	-6.56	\pm 1.33	39.57	-12.62
FALCOL	-5.29	\pm 2.95	84.47	-5.81	-1.70	\pm 2.86	87.55	-2.73	5.30	\pm 2.51	94.74	4.46	2.26	\pm 3.16	89.00	-1.28	-2.02	\pm 4.67	90.08	-0.20
FALSUB	0.17	\pm 2.99	69.11	-5.03	-5.73	\pm 3.59	65.73	-8.41	10.23	\pm 3.25	78.62	4.49	1.36	\pm 2.66	74.73	0.59	-4.01	\pm 2.62	68.24	-5.90
FALTIN	-4.22	\pm 2.27	75.35	-6.07	-3.36	\pm 1.95	70.22	-11.20	4.50	\pm 2.25	73.69	-7.73	5.68	\pm 2.32	86.86	5.45	-8.86	\pm 2.06	73.22	-8.20
HIEPEN	-2.24	\pm 1.91	64.24	-1.14	0.85	\pm 1.66	65.11	-0.27	6.13	\pm 1.94	65.05	-0.33	0.88	\pm 1.47	68.88	3.50	-0.14	\pm 1.49	65.83	0.45
MILMIG	-2.09	\pm 0.17	23.90	-6.38	0.03	\pm 0.24	26.54	-3.75	3.04	\pm 0.13	26.41	-3.87	3.77	\pm 0.12	27.29	-2.99	-4.81	\pm 0.16	24.05	-6.23
MILMIL	-1.55	\pm 0.37	90.49	-3.24	-4.24	\pm 0.31	87.11	-6.62	5.28	\pm 0.38	95.91	2.17	5.68	\pm 0.35	95.71	1.98	-4.10	\pm 0.29	86.97	-6.76
PANHAL	-1.41	\pm 2.57	62.82	-2.13	0.76	\pm 2.77	63.49	-1.46	3.14	\pm 2.64	66.76	1.81	1.02	\pm 2.52	63.48	-1.47	-3.70	\pm 2.34	59.35	-5.60
PERAPI	1.71	\pm 0.08	49.95	3.07	0.56	\pm 0.07	48.78	1.89	1.76	\pm 0.08	50.60	3.72	0.88	\pm 0.09	49.43	2.55	-3.92	\pm 0.08	45.47	-1.42
CICCIC	18.33	\pm 6.90	63.86	24.49	9.81	\pm 3.57	70.00	30.64	-1.01	\pm 2.00	53.14	13.78	1.63	\pm 2.10	53.11	13.74	-7.10	\pm 3.64	34.71	-4.66
CICNIG	-1.84	\pm 2.02	57.59	-1.49	0.68	\pm 1.90	59.54	0.46	2.16	\pm 1.77	61.55	2.47	7.23	\pm 2.17	64.63	5.54	-1.34	\pm 2.02	58.27	-0.82
GRUGRU	-14.84	\pm 0.13	101.09	-15.45	-2.32	\pm 0.09	110.75	-5.79	-2.98	\pm 0.14	110.17	-6.36	-13.20	\pm 0.11	110.07	-6.47	10.52	\pm 0.11	121.28	4.74

Annexe 1. Décalage phénologique moyen \pm SE (ShiftSM en jour), date moyenne de passage (Meandate, Jour 1 = 14 juillet) et décalage phénologique de la date moyenne de passage (Meanshift, année référence 1981) par année et par espèce (14 rapaces, Cigogne blanche, Cigogne noire et Grue cendrée) (suite)

Espèces	1990				1991				1992				1993				1994			
	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift
ACCNIS	-4.09 \pm 1.81		66.53	-7.96	1.03 \pm 1.86		71.64	-2.85	6.27 \pm 1.65		74.85	0.36	6.44 \pm 2.07		77.20	2.71	-0.39 \pm 1.77		71.91	-2.58
BUTBUT	-2.70 \pm 1.07		82.17	-7.86	1.76 \pm 1.19		88.51	-1.52	3.48 \pm 1.19		90.80	0.77	0.40 \pm 1.26		90.91	0.89	0.70 \pm 1.47		88.26	-1.76
CIRAER	-10.31 \pm 1.15		61.58	-11.16	-6.50 \pm 1.52		65.19	-7.56	-3.72 \pm 1.53		67.01	-5.74	-5.25 \pm 1.06		66.58	-6.17	-1.61 \pm 1.39		71.45	-1.30
CIRCYA	-16.02 \pm 4.19		69.53	-19.22	-3.46 \pm 3.15		73.81	-14.94	9.24 \pm 4.10		83.34	-5.40	-2.18 \pm 3.31		82.29	-6.45	-16.43 \pm 4.18		65.70	-23.04
CIRGAL	-0.16 \pm 1.54		64.44	-0.76	2.50 \pm 1.76		66.59	1.40	4.39 \pm 1.68		69.81	4.62	4.72 \pm 1.58		69.29	4.09	0.67 \pm 1.39		66.24	1.05
CIRPYG	-3.32 \pm 1.08		43.40	-8.78	1.15 \pm 1.23		47.53	-4.66	2.36 \pm 1.27		48.20	-3.98	-0.42 \pm 1.40		46.29	-5.89	-0.36 \pm 1.87		44.98	-7.20
FALCOL	2.27 \pm 3.88		88.89	-1.39	1.10 \pm 3.43		88.84	-1.44	-5.43 \pm 3.61		85.09	-5.19	6.10 \pm 3.87		90.43	0.15	-0.25 \pm 3.33		88.18	-2.10
FALSUB	1.76 \pm 2.75		74.17	0.03	1.69 \pm 2.38		74.48	0.34	-4.91 \pm 2.53		68.69	-5.45	1.00 \pm 2.58		74.69	0.55	-6.84 \pm 2.77		64.42	-9.72
FALTIN	-4.92 \pm 2.54		76.66	-4.76	1.84 \pm 1.73		83.16	1.75	0.79 \pm 1.94		83.23	1.81	4.51 \pm 1.60		87.66	6.24	1.77 \pm 1.95		84.37	2.95
HIEPEN	1.98 \pm 1.50		68.74	3.36	4.59 \pm 1.72		69.26	3.88	7.02 \pm 2.01		73.33	7.95	2.95 \pm 1.83		70.07	4.69	2.56 \pm 1.65		69.44	4.06
MILMIG	-1.83 \pm 0.18		25.40	-4.88	4.06 \pm 0.10		26.69	-3.60	0.84 \pm 0.12		24.80	-5.48	-1.45 \pm 0.13		22.57	-7.72	-3.14 \pm 0.13		22.16	-8.12
MILMIL	-0.82 \pm 0.28		90.15	-3.58	5.83 \pm 0.33		95.48	1.75	5.30 \pm 0.32		94.66	0.92	4.25 \pm 0.31		96.38	2.65	-2.04 \pm 0.26		86.12	-7.61
PANHAL	-2.34 \pm 2.42		60.43	-4.52	-3.93 \pm 1.96		57.75	-7.20	0.58 \pm 2.16		62.94	-2.01	-5.30 \pm 2.28		58.26	-6.69	0.25 \pm 2.49		64.27	-0.68
PERAPI	-1.00 \pm 0.07		47.29	0.40	-1.42 \pm 0.05		46.71	-0.17	0.74 \pm 0.07		49.42	2.54	-3.04 \pm 0.07		45.12	-1.76	-1.74 \pm 0.07		46.49	-0.40
CICCCIC	-4.70 \pm 2.59		42.78	3.42	-3.24 \pm 3.16		48.37	9.00	-4.07 \pm 3.51		45.54	6.18	-1.13 \pm 3.68		46.43	7.07	0.33 \pm 3.38		47.05	7.69
CICNIG	1.70 \pm 1.58		61.90	2.82	4.55 \pm 2.03		62.31	3.22	5.98 \pm 1.78		63.81	4.73	7.61 \pm 1.87		65.26	6.17	3.97 \pm 1.48		64.64	5.55
GRUGRU	-13.67 \pm 0.05		103.29	-13.25	-21.87 \pm 0.07		105.63	-10.91	-18.84 \pm 0.14		101.42	-15.12	-4.04 \pm 0.08		109.65	-6.89	-14.33 \pm 0.06		105.76	-10.78

Espèces	1996				1997				1998				1999				2000			
	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift
ACCNIS	-1.14 \pm 1.88		69.14	-5.35	1.06 \pm 1.92		70.57	-3.92	2.29 \pm 1.92		73.24	-1.25	-8.47 \pm 1.72		61.03	-13.46	-0.82 \pm 1.78		69.39	-5.09
BUTBUT	-0.58 \pm 1.12		81.36	-8.66	3.24 \pm 1.27		89.07	-0.95	3.38 \pm 1.77		87.06	-2.97	0.45 \pm 0.98		104.41	14.39	-3.05 \pm 1.20		99.59	9.57
CIRAER	-11.14 \pm 1.26		58.87	-13.87	-6.53 \pm 1.75		64.91	-7.83	-1.99 \pm 1.44		70.88	-1.86	-6.05 \pm 1.64		64.84	-7.91	-6.84 \pm 1.46		63.40	-9.34
CIRCYA	3.07 \pm 2.90		80.80	-7.94	9.37 \pm 3.32		90.97	2.22	-3.80 \pm 2.98		81.69	-7.05	6.39 \pm 3.39		90.55	1.81	10.74 \pm 4.30		91.28	2.54
CIRGAL	-5.11 \pm 1.88		60.35	-4.84	0.37 \pm 1.68		62.80	-2.39	-0.77 \pm 1.44		64.88	-0.32	2.46 \pm 1.43		66.81	1.61	2.79 \pm 1.75		66.91	1.72
CIRPYG	-2.86 \pm 1.15		44.55	-7.63	0.36 \pm 1.36		46.34	-5.84	0.89 \pm 1.13		48.43	-3.75	-0.79 \pm 1.04		46.16	-6.03	-4.81 \pm 1.26		42.40	-9.78
FALCOL	9.87 \pm 3.40		96.48	6.20	2.32 \pm 2.92		91.00	0.72	-0.58 \pm 3.41		91.00	0.72	2.11 \pm 2.99		91.64	1.36	1.69 \pm 2.60		90.87	0.59
FALSUB	-0.17 \pm 3.01		74.45	0.31	-6.01 \pm 2.58		70.97	-3.17	-3.60 \pm 2.31		71.35	-2.78	2.23 \pm 2.79		77.08	2.94	4.02 \pm 3.18		75.82	1.69
FALTIN	3.79 \pm 2.41		84.86	3.45	10.07 \pm 2.16		91.64	10.23	2.39 \pm 2.77		85.79	4.38	7.31 \pm 2.25		90.38	8.96	12.12 \pm 2.35		94.19	12.78
HIEPEN	-1.52 \pm 2.29		64.89	-0.49	-8.09 \pm 2.79		56.93	-8.45	0.21 \pm 1.59		67.76	2.38	0.80 \pm 1.68		66.38	1.00	-0.60 \pm 1.40		64.92	-0.46
MILMIG	-4.97 \pm 0.13		21.21	-9.08	-1.09 \pm 0.15		24.81	-5.48	1.17 \pm 0.10		24.31	-5.97	1.60 \pm 0.10		25.39	-4.89	-5.67 \pm 0.15		19.87	-10.42
MILMIL	-1.22 \pm 0.34		90.59	-3.14	-2.18 \pm 0.31		91.11	-2.62	3.25 \pm 0.39		94.37	0.63	5.60 \pm 0.28		95.51	1.78	-0.79 \pm 0.27		89.39	-4.35
PANHAL	-3.72 \pm 2.61		58.45	-6.50	-0.57 \pm 2.31		62.22	-2.73	-5.07 \pm 2.37		60.22	-4.73	-2.30 \pm 1.98		62.29	-2.66	-3.27 \pm 2.28		61.06	-3.89
PERAPI	0.11 \pm 0.08		48.08	1.19	-4.65 \pm 0.11		45.43	-1.45	-1.51 \pm 0.07		47.13	0.25	-3.36 \pm 0.08		45.29	-1.59	-2.51 \pm 0.07		45.96	-0.92
CICCCIC	-5.04 \pm 2.10		43.29	3.92	2.96 \pm 2.20		49.60	10.24	0.00 \pm 0.00		40.31	0.94	-3.70 \pm 3.36		43.39	4.03	-5.07 \pm 2.50		43.93	4.56
CICNIG	-0.23 \pm 1.69		57.47	-1.61	2.26 \pm 2.10		61.25	2.16	5.91 \pm 1.74		65.35	6.27	0.60 \pm 2.13		60.53	1.44	2.24 \pm 2.11		60.28	1.19
GRUGRU	-5.15 \pm 0.15		117.53	0.99	-20.69 \pm 0.08		102.34	-14.19	6.71 \pm 0.12		118.53	1.99	-19.01 \pm 0.09		100.82	-15.72	-13.59 \pm 0.11		105.03	-11.51

Annexe 1. Décalage phénologique moyen \pm SE (ShiftSM en jour), date moyenne de passage (Meandate, Jour 1 = 14 juillet) et décalage phénologique de la date moyenne de passage (Meanshift, année référence 1981) par année et par espèce (14 rapaces, Cigogne blanche, Cigogne noire et Grue cendrée) (suite)

Espèces	2001				2002				2003				2004				2005			
	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift
ACCNIS	-6.05	\pm 1.83	64.77	-9.72	-4.85	\pm 1.37	62.43	-12.06	-6.35	\pm 1.72	63.43	-11.05	-1.50	\pm 1.54	67.42	-7.07	-4.80	\pm 1.97	67.56	-6.93
BUTBUT	-3.62	\pm 1.15	98.88	8.85	-1.98	\pm 1.06	83.47	-6.55	-1.98	\pm 1.13	93.31	3.28	2.13	\pm 1.25	81.38	-8.65	-1.66	\pm 1.16	91.65	1.62
CIRAER	-7.80	\pm 1.86	63.84	-8.91	-7.58	\pm 1.22	62.31	-10.44	-11.31	\pm 1.35	61.94	-10.81	-9.19	\pm 1.00	61.60	-11.15	-8.52	\pm 1.65	64.06	-8.69
CIRCYA	7.28	\pm 3.16	85.60	-3.14	8.71	\pm 4.28	88.32	-0.43	-1.94	\pm 5.62	79.09	-9.65	11.95	\pm 3.61	92.88	4.13	3.10	\pm 3.36	82.46	-6.29
CIRGAL	-5.85	\pm 1.53	58.71	-6.48	-5.06	\pm 1.46	61.45	-3.74	-0.23	\pm 1.53	65.39	0.19	0.92	\pm 1.37	66.37	1.17	-1.38	\pm 1.41	63.94	-1.26
CIRPYG	-5.51	\pm 1.39	41.58	-10.60	-3.44	\pm 1.11	43.39	-8.79	-3.55	\pm 1.24	43.20	-8.98	0.20	\pm 1.38	47.38	-4.81	-3.44	\pm 1.27	43.41	-8.77
FALCOL	2.28	\pm 5.35	91.41	1.13	2.01	\pm 3.66	91.64	1.36	-1.53	\pm 3.53	88.06	-2.22	-1.52	\pm 2.63	87.89	-2.39	4.59	\pm 3.47	91.54	1.26
FALSUB	-1.70	\pm 3.99	69.19	-4.94	-8.34	\pm 3.05	67.84	-6.30	-3.10	\pm 3.43	70.73	-3.41	-6.24	\pm 2.81	69.65	-4.48	-0.88	\pm 3.13	74.90	0.76
FALTIN	7.64	\pm 2.15	90.72	9.30	-11.62	\pm 3.16	76.00	-5.42	-5.04	\pm 2.60	81.00	-0.42	-6.49	\pm 2.34	77.79	-3.63	4.43	\pm 2.32	88.83	7.41
HIEPEN	-4.08	\pm 1.86	60.78	-4.60	-7.33	\pm 1.83	59.98	-5.40	0.05	\pm 1.94	65.94	0.56	0.74	\pm 1.51	67.40	2.02	-2.26	\pm 1.51	64.43	-0.95
MILMIG	-2.05	\pm 0.13	21.45	-8.83	-0.52	\pm 0.14	22.15	-8.14	0.37	\pm 0.09	22.38	-7.90	-0.68	\pm 0.13	23.29	-7.00	0.84	\pm 0.10	23.81	-6.47
MILMIL	4.32	\pm 0.43	95.68	1.95	-3.70	\pm 0.38	88.08	-5.65	0.14	\pm 0.37	91.17	-2.56	3.35	\pm 0.42	94.56	0.83	1.71	\pm 0.44	93.05	-0.68
PANHAL	-1.01	\pm 2.43	64.33	-0.62	-5.45	\pm 1.94	58.11	-6.84	-3.10	\pm 1.87	58.90	-6.05	1.16	\pm 1.80	62.46	-2.48	-6.60	\pm 2.14	56.24	-8.71
PERAPI	-4.80	\pm 0.06	43.35	-3.54	0.85	\pm 0.11	49.12	2.24	-3.08	\pm 0.08	45.63	-1.26	-0.34	\pm 0.08	48.37	1.49	-4.59	\pm 0.08	44.19	-2.69
CICCIC	-0.76	\pm 2.82	47.25	7.89	-3.59	\pm 2.08	47.66	8.30	9.40	\pm 2.38	41.85	2.48	8.05	\pm 4.79	50.83	11.46	-7.98	\pm 2.52	39.88	0.51
CICNIG	-1.65	\pm 2.25	56.84	-2.24	-0.40	\pm 2.13	58.51	-0.58	1.66	\pm 1.82	60.61	1.52	6.79	\pm 1.85	64.48	5.40	4.23	\pm 2.04	61.93	2.84
GRUGRU	-17.87	\pm 0.21	112.89	-3.65	-6.95	\pm 0.14	104.99	-11.55	-17.65	\pm 0.09	99.41	-17.13	-24.08	\pm 0.08	106.90	-9.64	-20.43	\pm 0.05	102.17	-14.37

Espèces	2006				2007				2008				2009				2010			
	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift
ACCNIS	-5.12	\pm 1.39	62.91	-11.58	-2.38	\pm 1.71	67.21	-7.28	-6.43	\pm 1.53	63.77	-10.72	-1.66	\pm 1.51	69.65	-4.84	0.66	\pm 1.68	71.01	-3.47
BUTBUT	0.10	\pm 1.13	83.01	-7.02	-0.46	\pm 0.87	93.03	3.00	-1.87	\pm 1.16	83.14	-6.89	-3.10	\pm 1.31	87.12	-2.90	0.09	\pm 1.11	93.14	3.12
CIRAER	-8.57	\pm 1.17	62.74	-10.00	-6.96	\pm 1.68	64.53	-8.22	-7.38	\pm 1.47	62.73	-10.02	-12.52	\pm 1.72	58.26	-14.49	-8.37	\pm 1.39	62.39	-10.36
CIRCYA	8.05	\pm 2.92	84.96	-3.78	-0.97	\pm 2.89	82.55	-6.19	-12.60	\pm 4.04	75.05	-13.69	6.10	\pm 3.65	81.83	-6.91	0.64	\pm 2.47	80.08	-8.66
CIRGAL	4.04	\pm 1.48	67.53	2.33	0.54	\pm 1.82	63.74	-1.46	-2.93	\pm 1.32	62.53	-2.66	1.02	\pm 1.27	65.24	0.04	-1.63	\pm 1.50	62.77	-2.42
CIRPYG	-1.84	\pm 1.24	45.24	-6.94	-1.75	\pm 0.99	44.94	-7.24	-3.28	\pm 1.16	43.99	-8.20	-5.17	\pm 1.45	42.73	-9.45	-1.41	\pm 1.14	45.44	-6.75
FALCOL	-1.36	\pm 4.28	89.15	-1.13	-3.15	\pm 2.27	86.36	-3.92	-9.72	\pm 6.32	87.63	-2.65	0.42	\pm 2.40	89.50	-0.78	0.79	\pm 2.75	89.46	-0.82
FALSUB	-2.08	\pm 2.36	72.00	-2.14	1.97	\pm 2.81	72.54	-1.60	1.88	\pm 4.34	72.61	-1.52	-9.98	\pm 3.48	65.63	-8.51	-1.43	\pm 2.41	73.45	-0.69
FALTIN	-5.65	\pm 1.75	77.96	-3.46	-1.20	\pm 1.24	82.32	0.90	-2.20	\pm 1.77	80.15	-1.26	-6.50	\pm 1.66	78.52	-2.89	-1.70	\pm 1.68	82.52	1.10
HIEPEN	1.24	\pm 1.54	66.08	0.70	-3.36	\pm 1.79	63.21	-2.17	-2.62	\pm 1.46	62.87	-2.51	2.88	\pm 1.27	68.63	3.25	-2.26	\pm 1.23	64.81	-0.57
MILMIG	1.21	\pm 0.12	24.37	-5.91	3.32	\pm 0.12	25.96	-4.33	-0.64	\pm 0.08	21.98	-8.31	3.62	\pm 0.11	20.17	-10.12	1.60	\pm 0.10	23.51	-6.77
MILMIL	3.23	\pm 0.37	94.44	0.71	4.21	\pm 0.36	94.49	0.76	-6.13	\pm 0.28	87.39	-6.34	-4.05	\pm 0.29	88.36	-5.37	2.78	\pm 0.34	94.06	0.33
PANHAL	0.14	\pm 1.90	62.51	-2.44	-3.36	\pm 2.22	59.89	-5.06	-4.36	\pm 2.05	58.63	-6.32	-4.48	\pm 2.02	58.33	-6.62	-3.74	\pm 2.07	58.68	-6.27
PERAPI	-1.95	\pm 0.09	47.24	0.36	-3.04	\pm 0.07	45.04	-1.85	-3.61	\pm 0.09	45.75	-1.13	-2.00	\pm 0.06	46.14	-0.74	-1.36	\pm 0.07	47.13	0.24
CICCIC	0.00	\pm 0.00	33.38	-5.99	2.33	\pm 1.72	43.72	4.36	-6.33	\pm 2.22	45.50	6.14	-1.73	\pm 1.58	35.68	-3.68	0.00	\pm 0.00	41.86	2.50
CICNIG	0.11	\pm 1.95	58.83	-0.25	4.72	\pm 2.23	61.08	1.99	-5.19	\pm 1.87	58.10	-0.99	0.74	\pm 1.98	57.07	-2.01	-3.10	\pm 1.74	57.09	-2.00
GRUGRU	-3.77	\pm 0.12	111.40	-5.14	-20.08	\pm 0.07	99.63	-16.91	-19.51	\pm 0.17	111.97	-4.56	-20.72	\pm 0.08	100.17	-16.37	-20.00	\pm 0.11	101.38	-15.16

Annexe 1. Décalage phénologique moyen \pm SE (ShiftSM en jour), date moyenne de passage (Meandate, Jour 1 = 14 juillet) et décalage phénologique de la date moyenne de passage (Meanshift, année référence 1981) par année et par espèce (14 rapaces, Cigogne blanche, Cigogne noire et Grue cendrée) (suite)

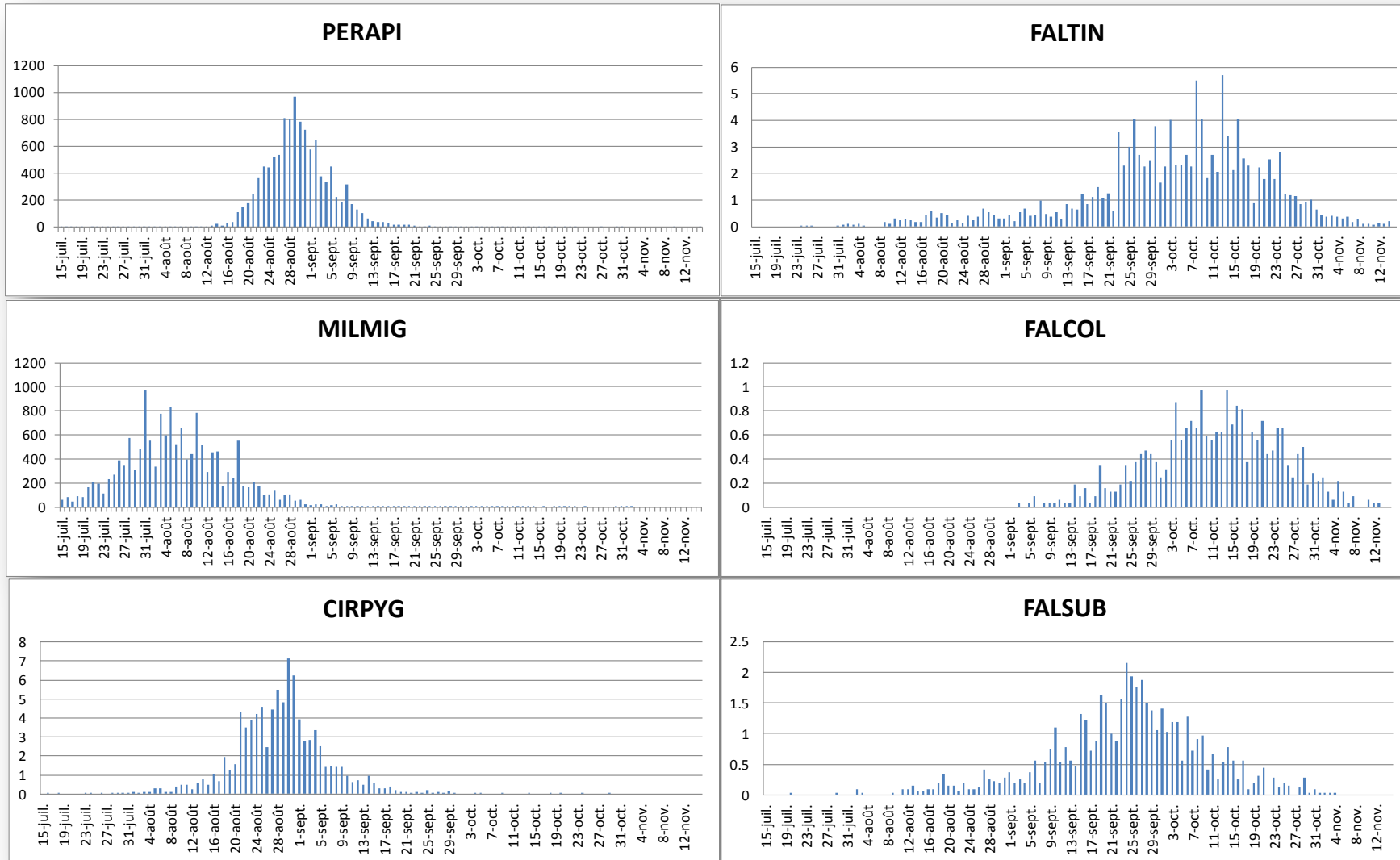
Espèces	2011				2012			
	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift	ShiftSM	SE	Meandate	Meanshift
ACCNIS	-3.64	\pm 1.68	67.17	-7.32	2.40	\pm 1.89	73.91	-0.58
BUTBUT	-1.74	\pm 1.02	81.69	-8.34	3.69	\pm 0.84	88.14	-1.88
CIRAER	-7.29	\pm 1.20	65.11	-7.63	-4.76	\pm 1.39	66.72	-6.02
CIRCYA	-7.03	\pm 3.34	78.79	-9.95	-1.60	\pm 3.41	77.07	-11.68
CIRGAL	1.76	\pm 1.23	67.01	1.81	-2.56	\pm 1.34	62.61	-2.59
CIRPYG	-3.54	\pm 1.21	43.59	-8.59	2.37	\pm 0.87	49.38	-2.80
FALCOL	-3.28	\pm 4.18	85.32	-4.96	-2.44	\pm 3.61	86.04	-4.24
FALSUB	-5.46	\pm 2.47	67.15	-6.99	-1.30	\pm 2.70	72.52	-1.62
FALTIN	-7.70	\pm 1.91	75.11	-6.31	4.78	\pm 1.66	86.23	4.81
HIEPEN	0.48	\pm 1.21	67.56	2.18	-0.06	\pm 1.46	66.91	1.53
MILMIG	6.55	\pm 0.09	22.00	-8.29	1.60	\pm 0.09	22.26	-8.02
MILMIL	-0.63	\pm 0.32	91.07	-2.66	2.45	\pm 0.29	94.65	0.92
PANHAL	-3.08	\pm 2.19	60.40	-4.55	-3.37	\pm 2.19	59.91	-5.04
PERAPI	-4.28	\pm 0.08	45.32	-1.57	-6.34	\pm 0.07	42.41	-4.48
CICCIC	2.02	\pm 2.38	51.10	11.74	-2.08	\pm 2.67	40.69	1.32
CICNIG	6.27	\pm 2.42	58.96	-0.12	4.40	\pm 1.93	62.50	3.42
GRUGRU	-19.43	\pm 0.07	102.99	-13.55	-7.69	\pm 0.06	106.40	-10.14

Date	JM	29	12-août	58	10-sept.	87	9-oct.	116	7-nov.
1	15-juil.	30	13-août	59	11-sept.	88	10-oct.	117	8-nov.
2	16-juil.	31	14-août	60	12-sept.	89	11-oct.	118	9-nov.
3	17-juil.	32	15-août	61	13-sept.	90	12-oct.	119	10-nov.
4	18-juil.	33	16-août	62	14-sept.	91	13-oct.	120	11-nov.
5	19-juil.	34	17-août	63	15-sept.	92	14-oct.	121	12-nov.
6	20-juil.	35	18-août	64	16-sept.	93	15-oct.	122	13-nov.
7	21-juil.	36	19-août	65	17-sept.	94	16-oct.	123	14-nov.
8	22-juil.	37	20-août	66	18-sept.	95	17-oct.	124	15-nov.
9	23-juil.	38	21-août	67	19-sept.	96	18-oct.		
10	24-juil.	39	22-août	68	20-sept.	97	19-oct.		
11	25-juil.	40	23-août	69	21-sept.	98	20-oct.		
12	26-juil.	41	24-août	70	22-sept.	99	21-oct.		
13	27-juil.	42	25-août	71	23-sept.	100	22-oct.		
14	28-juil.	43	26-août	72	24-sept.	101	23-oct.		
15	29-juil.	44	27-août	73	25-sept.	102	24-oct.		
16	30-juil.	45	28-août	74	26-sept.	103	25-oct.		
17	31-juil.	46	29-août	75	27-sept.	104	26-oct.		
18	1-août	47	30-août	76	28-sept.	105	27-oct.		
19	2-août	48	31-août	77	29-sept.	106	28-oct.		
20	3-août	49	1-sept.	78	30-sept.	107	29-oct.		
21	4-août	50	2-sept.	79	1-oct.	108	30-oct.		
22	5-août	51	3-sept.	80	2-oct.	109	31-oct.		
23	6-août	52	4-sept.	81	3-oct.	110	1-nov.		
24	7-août	53	5-sept.	82	4-oct.	111	2-nov.		
25	8-août	54	6-sept.	83	5-oct.	112	3-nov.		
26	9-août	55	7-sept.	84	6-oct.	113	4-nov.		
27	10-août	56	8-sept.	85	7-oct.	114	5-nov.		
28	11-août	57	9-sept.	86	8-oct.	115	6-nov.		

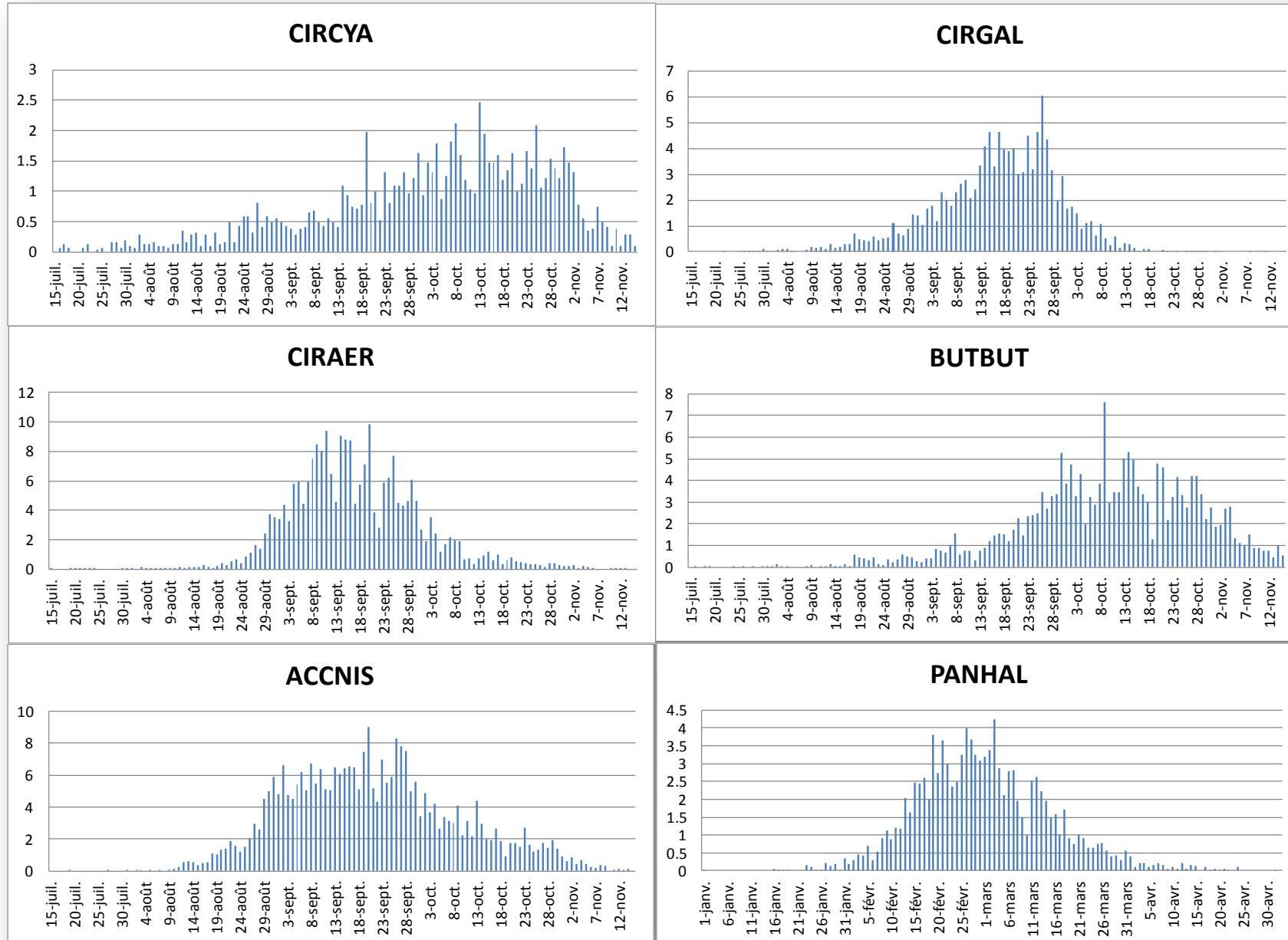
* ACCNIS : *Accipiter nisus* (Epervier d'Europe) ; BUTBUT : *Buteo buteo* (Buse variable) ; CIRAER : *Circus aeruginosus* ; CIRCYA : *Circus cyaneus* (Busard Saint Martin) ; CIRGAL : *Circaetus gallicus* (Circaète Jean-le-Blanc) ; CIRPYG : *Circus pygargus* (Busard cendré) ; FALCOL : *Falco colombarius* (Faucon émerillon) ; FALSUB : *Falco subbuteo* (Faucon hobereau) ; FALTIN : *Falco tinnunculus* (Faucon crécerelle) ; HIEPEN : *Hieraetus pennatus* (Aigle botté) ; MILMIG : *Milvus migrans* (Milan noir) ; MILMIL : *Milvus milvus* (Milan royal) ; PANHAL : *Pandion haliaetus* (Balzard pêcheur) ; PERAPI : *Pernis apivorus* (Bondrée apivore) ; CICCIC : *Ciconia ciconia* (Cigogne blanche) ; CICNIG : *Ciconia nigra* (Cigogne noire) ; GRUGRU : *Grus grus* (Grue cendrée)

* Lire : L'Epervier d'Europe a une date moyenne de passage en 2011 autour du jour 67 (19 septembre, correspondance dans le tableau ci-dessus), passe en moyenne 3.64 jours plus tôt en 2011 que les autres années et passe 7.32 jours plus tôt en 2011 qu'en 1981.

Annexe 2. Phénologie de la migration automnale de 14 espèces de rapaces, de la Cigogne blanche, de la Cigogne noire et de la Grue cendrée à Organbidexka



Annexe 2. Phénologie de la migration automnale de 14 espèces de rapaces, de la Cigogne blanche, de la Cigogne noire et de la Grue cendrée à Organbidexka



Annexe 2. Phénologie de la migration automnale de 14 espèces de rapaces, de la Cigogne blanche, de la Cigogne noire et de la Grue cendrée à Organbidexka

