

Tendances à long terme de la phénologie de migration prénuptiale en relation avec le changement climatique local dans la Vienne

Raphaël Bussière
88 rue du Planty
86180 BUXEROLLES



Introduction

Le réchauffement climatique global a des répercussions importantes, notamment sur le cycle de vie des animaux (Parmesan, 2006 ; Carey, 2009). De nombreux organismes vivants ont en effet modifié leur phénologie au cours des dernières décennies (Walther *et al.*, 2002 ; Parmesan & Yohe, 2003), et parmi eux, nombre d'oiseaux se reproduisent ou migrent plus précocement. Des études récentes, principalement menées en Europe, mais aussi en Amérique du Nord, ont mis en évidence, entre autres, des modifications de la stratégie de migration (Thorup *et al.*, 2007), de la reproduction (Sokolov, 2006) et de la distribution des espèces (Miller-Rushing *et al.*, 2008a) qu'elles considèrent comme autant de réponses aux conséquences du réchauffement climatique. Un des aspects les plus étudiés est celui de la phénologie de migration printanière des passereaux (Gordo, 2007), pour laquelle les séries de données à long terme permettent d'étudier les effets climatiques sur l'arrivée des migrateurs. La variable explicative souvent utilisée est celle de la température relevée sur le site étudié, puisqu'il est difficile de collecter les températures sur la route de migration, voire sur les zones d'hivernages. Dans la majorité des études, quelle que soit la méthode d'analyse utilisée, il a été constaté au cours du temps une arrivée printanière plus précoce des migrateurs (Mason, 1995 ; Jonzén *et al.*, 2006 ; Waldemar *et al.*, 2009). À l'automne, un retard des départs a été souligné par certains auteurs notamment chez les rapaces (Jenni & Kéry, 2003 ; Filippi-Codaccioni, 2010) mais d'autres, quant à eux, ont

constaté une précocité (Péron *et al.*, 2007). Dans le département de la Vienne, une enquête spécifique portant sur les arrivées printanières de 41 espèces migratrices nicheuses avait été menée par le Groupe Ornithologique de la Vienne (GOV) pour la période 1974-1980 (Prévost, 1982). Depuis, aucun suivi de ce type n'a été entrepris, mais le retour du printemps avec son lot de migrateurs engendre toujours un engouement particulier chez les observateurs et une compilation des données pour la période 1981-2006 avait déjà permis de mettre en évidence une anticipation significative des retours de migration pour 6 migrateurs sur les 45 espèces étudiées (Bussière, 2008). Des éléments d'analyse sont donc disponibles pour les quarante années qui viennent de s'écouler.

Dans ce présent travail, la date moyenne de première observation annuelle sera déterminée à partir de la date de première observation pour chacune des espèces concernées au cours de la période 1975-2015. L'étude portera à la fois sur les espèces nicheuses et non-nicheuses notées régulièrement au passage prénuptial dans la Vienne. Une estimation de la phénologie de la migration printanière pourra être avancée afin d'examiner si certains migrateurs montrent des changements à long terme dans leur arrivée printanière et si ces changements peuvent être liés aux changements climatiques.

Méthodologie

Collecte des données ornithologiques

Le premier travail a consisté à compiler l'ensemble des données disponibles pour

la période 1975-2015 pour chacune des espèces migratrices observées dans le département de la Vienne. La récupération de ces données s'est opérée de différentes manières. À l'époque du Groupe Ornithologique de la Vienne (GOV), les données ornithologiques étaient centralisées sous format papier et recouvraient la période 1975-1990. Une consultation de ces archives a permis de recueillir la majorité des données. Ensuite, les différentes synthèses ornithologiques publiées dans le bulletin « L'Outarde » ont été également consultées afin de compléter le jeu de données existant. Pour la période 1991-1999, les données proviennent des synthèses ornithologiques annuelles (fichiers Word). Certaines espèces ont été malheureusement peu documentées. Des observateurs ont donc été sollicités pour combler certaines données manquantes qui pourraient être dans leur carnet de terrain. À partir de 2000, les données ont été issues des bases de données de la LPO Vienne (BdNat et Biolovision).

Traitement des données ornithologiques

Pour chacune des espèces migratrices notées au passage migratoire prénuptial, la première date d'observation annuelle a été retenue et inscrite sous la forme JJ-MM-AAAA dans un fichier Excel sur l'ensemble de la période étudiée (1975-2015). Les données « papiers » ont été retranscrites manuellement. Quant aux données saisies dans les bases de données, elles ont été extraites et, à l'aide d'une macro spécifique, seule la première date printanière a été retenue, puis classée par espèce et par année.

Les dates de chaque donnée ont été converties en jour juliens en prenant en compte les années bissextiles. Par exemple, le 15 mars est le 74^e jour de l'année (75^e pour une année bissextile). Lors de la retranscription des résultats, les jours juliens ont été notés en format conventionnel.

Un graphique en nuages de points par espèce a été élaboré afin de vérifier la distribution des données. Les données présentant une date d'arrivée extrêmement précoce par rapport aux mœurs de l'espèce ont fait l'objet d'une validation auprès des observateurs concernés. Il s'agissait d'erreurs de saisie dans la plupart des cas ; quant à celles qui ont été validées par les observateurs, elles restent sous leur entière responsabilité.

Données de température

Les températures moyennes mensuelles, de février à mai pour la période 1975-2015, ont été obtenues à partir du site internet : <http://www.infoclimat.fr/>. Elles proviennent de la station météorologique de Poitiers-Biard (46,58°N ; 0,30°E) située au centre-ouest du département de la Vienne. Elles seront exprimées en degré Celsius (°C).

Espèces étudiées

Dans les précédents articles, traitant des dates d'arrivées prénuptiales, seules les espèces nicheuses du département étaient concernées (Prévost, 1982 ; Bussière, 2008). Pour être le plus exhaustif possible, le présent travail prend en compte également les espèces migratrices non nicheuses. Au total, ce sont 61 espèces qui ont été traitées (Figure 1) ; des 49 espèces dont la reproduction a été prouvée au cours de

la dernière décennie ont été retirées : l'Alouette calandrelle et le Blongios nain - espèces se reproduisant de façon irrégulière avec un passage migratoire prénuptial occasionnel, voire rare -, la Fauvette à tête noire, le Pouillot véloce et le Serin cini - espèces hivernant régulièrement ; aux 44 espèces ainsi retenues viennent s'ajouter les 17 espèces migratrices non nicheuses où ne figurent que celles qui sont notées régulièrement au passage printanier, avec depuis 2005 l'Aigle botté, la Cigogne noire, l'Échasse blanche et le Merle à plastron.

Analyses statistiques

Les résultats présentés dans cet article portent sur les dates moyennes d'arrivée, leurs variabilités, leurs tendances sur la période étudiée et leurs corrélations avec l'évolution des températures. Les outils utilisés sont présentés dans ce paragraphe. Pour chacune des espèces étudiées, ont été calculés la date moyenne d'arrivée (μ), la variance (σ^2) et l'écart-type (σ) sur l'ensemble de la période concernée. À titre indicatif, au cours de la période 1975-2015, les « records » de précocité ont été retenus, sauf pour les espèces qui peuvent être occasionnellement observées en période hivernale : Balbuzard pêcheur, Chevalier aboyeur, Chevalier gambette, Combattant varié, Courlis cendré et Œdicnème criard. Afin d'appréhender la variation des dates d'arrivées au cours de la migration prénuptiale, la relation entre les dates moyennes d'arrivées et leur écart-type (SD) sera examinée en utilisant la régression linéaire. Seules les espèces dont le nombre

de données excède 33 (soit un taux de remplissage de 80 % au minimum pour la période considérée) seront prises en compte dans cette analyse, qui concerne 46 espèces dont 23 de passereaux.

Les tendances temporelles des dates d'arrivées moyennes au cours de la période d'étude ont été analysées à l'aide de régressions linéaires. Dans ces régressions, les dates d'arrivée sont modélisées comme une fonction affine de l'année. La significativité de l'effet linéaire de l'année a été testé par analyse de variance. La part de variation inter-annuelle de date d'arrivée qui est expliquée par la tendance temporelle linéaire au cours de la période d'étude est estimée par le coefficient de détermination (r^2). Les analyses ont été réalisées indépendamment pour chacune des espèces étudiées.

Les tendances météorologiques ont été analysées en vue de tester si les changements de température printanière peuvent expliquer une part des changements de date d'arrivée. Pour cela, les dates d'arrivées ont été modélisées comme une fonction affine de la température moyenne départementale du mois de la date moyenne d'arrivée de l'espèce. Par exemple, si la date moyenne d'arrivée de l'espèce étudiée est le 5 avril, alors c'est la température moyenne du mois d'avril correspondante qui a été utilisée comme variable explicative. Cette analyse a été réalisée uniquement pour les espèces qui ont été étudiées pour la période 1975-2015 (n=52). Toutes les données ont été analysées en utilisant le logiciel R. Le niveau de significativité retenu a été fixé à $p < 0,05$. Un résultat sera statistiquement significatif dès lors que celui-ci aura une probabilité (p-value) inférieure à 0,05 et dans ces conditions-là, l'hypothèse de départ (H0) sera rejetée avec un risque de 5 % et l'hypothèse alternative (H1) sera, quant à elle, retenue. Par exemple, pour la phénologie des migrateurs au printemps, on aurait :

- H0 : l'espèce étudiée ne modifie pas son arrivée printanière au cours de la période considérée.
- H1 : l'espèce étudiée montre un changement dans son arrivée printanière au cours de la période considérée.

Résultats

Date moyenne et variation des arrivées printanières

Pour chacune des espèces étudiées (n = 61), la date moyenne d'arrivée (basée sur le premier contact annuel) et son écart-type ont été calculés. Les résultats sont présentés sous la forme d'un diagramme de Gantt pour la période 1975-2015 (Annexe 1).

Espèces migratrices nicheuses (n = 44)			
Bergeronnette printanière	Fauvette grisette	Loriot d'Europe	Pipit rousseline
Bondrée apivore	Gobemouche gris	Martinot noir	Pouillot de Bonelli
Bruant ortolan	Gorgebleue à miroir	Milan noir	Pouillot siffleur
Busard cendré	Guêpier d'Europe	Œdicnème criard*	Rossignol philomèle
Caille des blés*	Héron pourpré	Outarde canepetière	Rougequeue à front blanc
Circaète Jean-le-Blanc	Hirondelle de fenêtre	Petit-duc scops	Rousserolle effarvate
Coucou gris	Hirondelle de rivage	Petit gravelot	Sarcelle d'été
Courlis cendré*	Hirondelle rustique	Phragmite des joncs	Sterne pierregarin
Engoulevent d'Europe	Huppe fasciée	Pie-grièche à tête rousse	Torcol fourmilier
Faucon hobereau	Hypolaïs polyglotte	Pie-grièche écorcheur	Tourterelle des bois
Fauvette des jardins	Locustelle tachetée	Pipit des arbres	Traquet motteux
Espèces migratrices non nicheuses (n = 17)			
Aigle botté	Chevalier gambette*	Gobemouche noir	Pouillot fitis
Balbuzard pêcheur*	Chevalier sylvain	Grand gravelot	Tarier des prés
Bihoreau gris	Cigogne noire	Guifette moustac	
Chevalier aboyeur*	Combattant varié*	Guifette noire	
Chevalier arlequin	Échasse blanche	Merle à plastron	

* espèce pouvant être observée occasionnellement en hiver dans le département de la Vienne

Figure 1 : Liste des espèces migratrices nicheuses et non nicheuses pour l'étude des dates d'arrivées moyennes prénuptiales dans la Vienne.

La première date d'arrivée moyenne revient au Courlis cendré (27/02) alors que le Guêpier d'Europe et la Pie-grièche à tête rousse arrivent en dernier (07/05). La plupart des dates d'arrivées moyennes se situent en avril avec 31 espèces sur 61. Les passereaux migrateurs qui reviennent plus tôt en saison semblent avoir une date d'arrivée moins variable que les migrateurs tardifs, mais cette tendance temporelle n'est pas confirmée statistiquement ($F_{1,21} = 1,158$, $p = 0,294$; Figure 2). Ce sont le Bihoreau gris, la Cigogne noire et le Grand gravelot qui révèlent la plus grande variabilité dans leurs arrivées (SD = 22 jours) alors que 14 espèces, dont la plupart sont des insectivores, ont un écart-type inférieur à 10 jours.

Tendance temporelle de la phénologie printanière des migrateurs

Parmi les 61 espèces migratrices examinées, la tendance temporelle est significative pour 38 d'entre-elles dont 16 avec une probabilité p inférieure à 0,001 (Annexe 2). Toutes ces espèces arrivent de plus en plus tôt au printemps au cours de la période d'étude. D'autres, au nombre de 16, présentent également une tendance négative au cours du temps, bien que ces tendances ne soient pas significatives. Aucune espèce n'arrive significativement plus tard. Les espèces ayant une tendance à une arrivée plus tardive (bien que non-significative) sont : Aigle botté, Chevalier aboyeur, Chevalier arlequin, Échasse blanche, Gorgebleue à miroir, Grand gravelot, Héron pourpré.

Sur une période de 41 ans (1975-2015), 35 espèces (64,8 % des espèces analysées) ont ainsi avancé significativement leur arrivée avec une moyenne de 19 ± 6 jours (Annexe 2). D'après les équations de régression linéaire, cette avance des arrivées printanières varierait entre 10 jours (Hirondelle rustique et Rougequeue à front blanc) et 37 jours (Caille des blés).

Analyse des tendances météorologiques

Les températures moyennes mensuelles enregistrées à la station météorologique de Poitiers-Biard ont augmenté au cours du temps pour les mois de mars à mai contrairement à février où les températures semblent stables (Figure 3). Ces tendances ne sont significatives que pour les mois d'avril ($F_{1,39} = 18,1700$, $p = 0,0001$) et de mai ($F_{1,39} = 8,564$, $p = 0,006$).

À partir des équations de régression linéaire (Février : $y = -0,017x + 38,56$; Mars : $y = 0,032x - 55,38$; Avril : $y = 0,068x - 124,67$; Mai : $y = 0,050x - 84,98$), les variations de températures sur l'ensemble de la période d'étude ont été de $-0,7$ °C en février, $+1,3$ °C en mars, $+2,8$ °C en avril et $+2,0$ °C en mai.

Influence de la température sur la date d'arrivée printanière

Les variations entre années de dates d'arrivées sont expliquées par les températures moyennes du mois d'arrivée pour 18 des 52 espèces traitées (Annexe 3). Ces 18 espèces ont une relation négative significative indiquant que ces espèces arrivent plus tôt au printemps avec l'augmentation de la température.

Les espèces qui seraient les plus influencées par le réchauffement climatique, et la précocité avancée sur le printemps, sembleraient être les passereaux qui constituent 67 % des espèces dont la date d'arrivée dépendrait de la température printanière. Le Busard cendré et le Circaète Jean-le-Blanc, au régime alimentaire composé principalement d'invertébrés, ont avancé leur arrivée printanière avec respectivement 3,3 et 5,4 jours pour chaque degré Celsius d'augmentation. Cette avancée varie de 2,4 (Rougequeue à front blanc) à 5,4 (Circaète Jean-le-Blanc) avec un déplacement moyen de $3,6 \pm 0,9$ jours/°C d'augmentation.

Discussion

Chronologie du retour des migrateurs

La phénologie des arrivées printanières des 61 espèces migratrices, observées régulièrement dans le département de la Vienne, a pu être établie et 88 % des espèces étudiées ont été analysées sur une période de 41 ans (1975-2015). L'écart-type, associé à la date moyenne d'arrivée, présente une amplitude non négligeable pour certaines espèces, pouvant atteindre 22 jours. Les valeurs élevées concernent principalement les espèces au passage régulier avec un faible effectif de migrateurs (Aigle botté, Chevalier arlequin, Grand gravelot) ou alors à des espèces difficiles à détecter (Bihoreau gris, Petit-duc scops).

La date moyenne d'arrivée pour une espèce donnée au cours de la période étudiée a été déterminée par le premier contact annuel qu'il soit auditif ou visuel. La date du premier individu d'une espèce détectée ne représente pas la majeure partie de la migration, et il n'est pas possible de prédire avec précision l'arrivée du reste de la population (Mills, 2005). Dans certaines analyses de données à long terme, la date moyenne d'arrivée d'une espèce pour une période définie a été obtenue en faisant la moyenne des 5 premières données printanières par année (Both *et al.*, 2005 ; Dolenc, 2013). Dans le cas de ce présent travail, cette méthode n'a pas pu être appliquée à cause d'un manque de données disponibles pour toutes les années antérieures à 2009. Même si certaines espèces peuvent présenter une précocité extrême pour une année donnée, la répercussion est minime sur le calcul de la date moyenne d'arrivée et de la détection de tendances temporelles linéaires sur l'ensemble de la période d'étude.

Les données utilisées pour cette étude ne sont pas issues d'un protocole standardisé sauf pour la période 1974-1980.

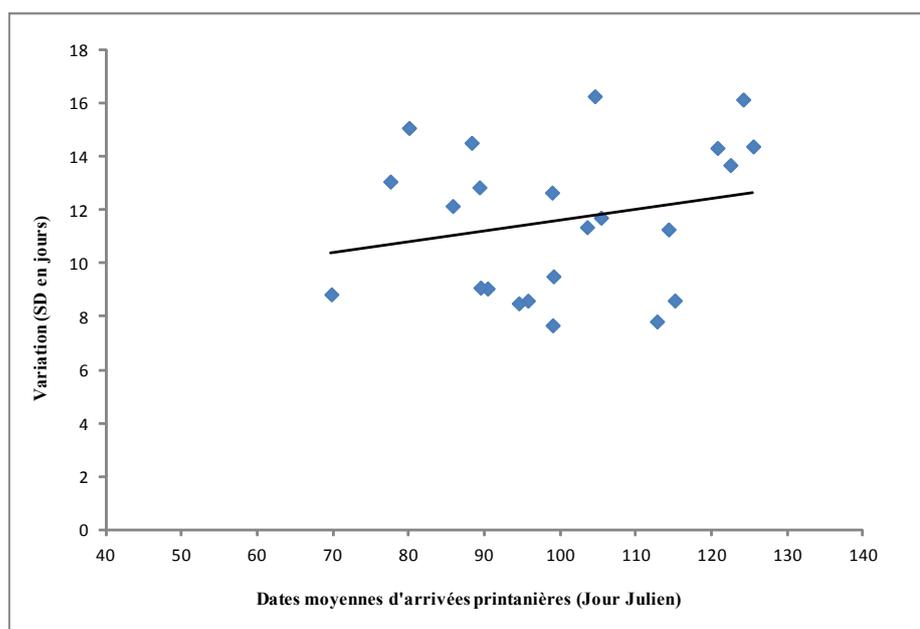


Figure 2. Variation des dates d'arrivées en fonction des dates moyennes d'arrivées printanières des passereaux migrateurs ($n = 23$) dans la Vienne pour la période 1975-2015.

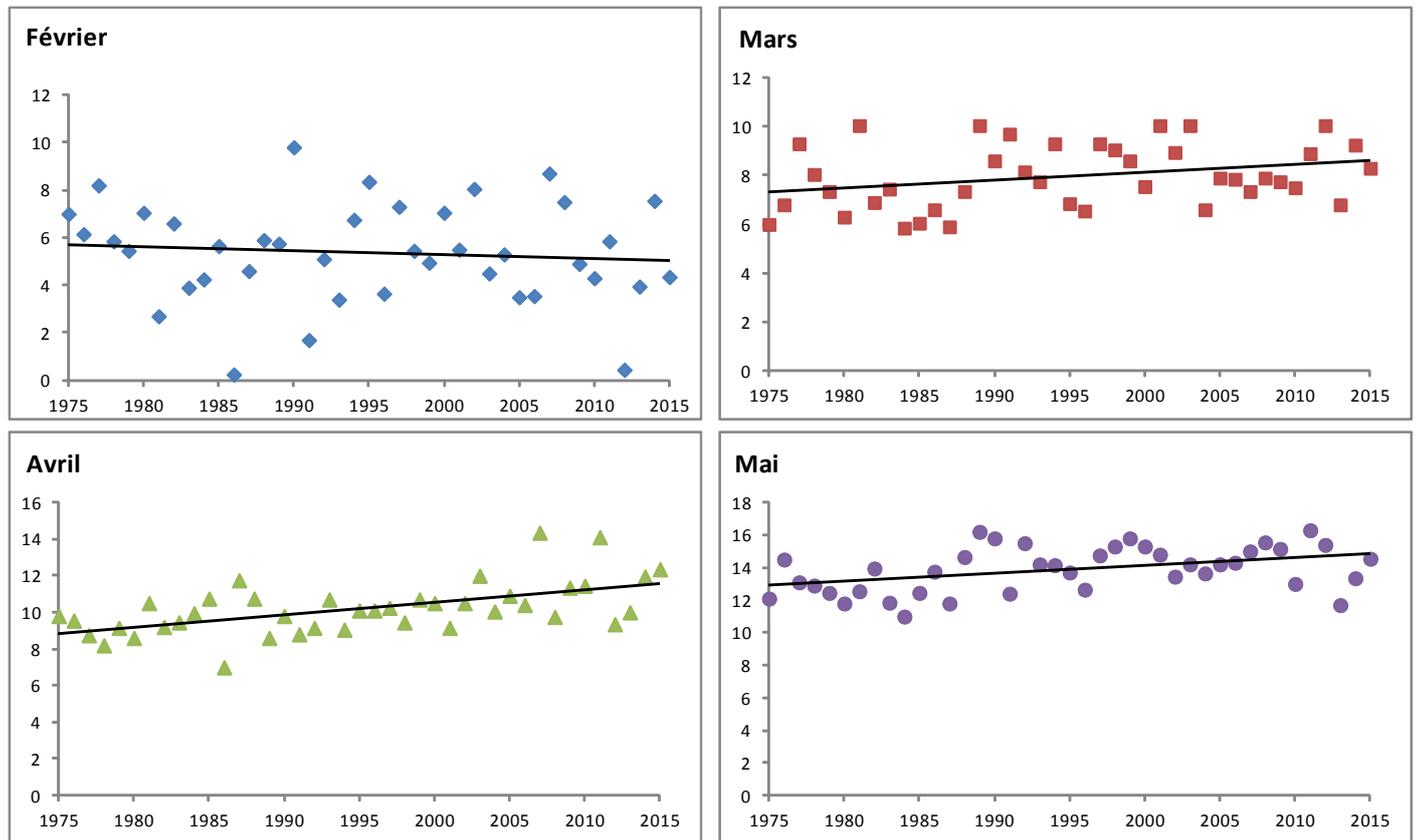


Figure 3. Tendances des températures mensuelles moyennes au cours du temps (1975-2015) à Poitiers-Biard, de février à mai.

Dans ce contexte, il existe plusieurs sources d'erreurs potentielles à considérer avec notamment des biais spatio-temporels : évolution des compétences ornithologiques, hausse de l'effort de prospection, changement d'abondance des espèces (Miller-Rushing *et al.*, 2008b). Les premières arrivées ont tendance à être recueillies pendant le week-end plutôt que durant le reste de la semaine. Le biais du week-end a déjà été abordé dans les études britanniques, notamment en utilisant les premières dates d'arrivées. Cependant, si l'effort de prospection week-end/semaine est considéré comme constant au cours du temps, ce biais n'influence pas le résultat (Sparks, 1999). Autre facteur à prendre en considération, valable pour la plupart des espèces, les mâles ont tendance à arriver plus tôt que les femelles sur les lieux de reproduction et le sexe est donc susceptible d'influencer les premières dates d'observations (Francis & Cooke, 1986).

Bien qu'il existe de nombreux biais, les données de premières observations sont très utilisées dans les analyses phénologiques de migration et, quelque soit le marqueur utilisé, la tendance générale est l'avancement de la phénologie printanière des oiseaux migrateurs tant en Europe qu'en Amérique du Nord (Francoeur, 2012).

Avancement des arrivées printanières

Parmi les 61 espèces étudiées, 38 (62 %) arrivent significativement plus tôt au printemps dans le département de la Vienne. Ces tendances temporelles générales d'un avancement dans les dates d'arrivée printanière chez les migrateurs ont été bien documentées notamment en Europe et en Amérique du Nord (Crick, 2004 ; Lehikoinen *et al.*, 2004 ; Crick & Sparks, 2006). Cependant, il existe une variabilité dans les tendances phénologiques. En effet, elles ne sont pas uniformes selon les espèces et les sites étudiés. En Amérique du Nord, 18 à 48 % des espèces étudiées arrivent de plus en plus tôt au printemps (Butler, 2003 ; Murphy-Klassen *et al.*, 2005 ; MacMynowski & Root, 2007 ; Miller-Rushing *et al.*, 2008). Lehikoinen *et al.* (2004) ont montré que la moyenne d'avancement de la date de première observation pour toutes les espèces et tous sites confondus en Europe est de 0,373 jour/année et de 0,100 jour/année pour la date médiane. Dans la Vienne, le devancement moyen de la date d'arrivée des espèces traitées est de 0,51 jour/année soit 5,1 jours par décennie. Cette valeur est légèrement plus élevée que celle obtenue au niveau européen en 2004 mais reste sensiblement de même grandeur. Parmi les espèces qui

ont avancé leur arrivée printanière, la cigogne noire semblerait arriver 52 jours plus tôt au cours de ces 11 dernières années (2005-2015). Durant cette dernière décennie, la hausse constatée des effectifs de Cigogne noire en France a engendré une recrudescence des observations printanières dans le département de la Vienne depuis 2005. Cette évolution a eu probablement un effet sur son apparition plus tôt en saison, surtout dans les cinq dernières années, plutôt qu'un réel avancement de son arrivée. Les observations répertoriées se sont étalées du 5 mars au 18 avril (dates classiques d'apparition de l'espèce en France) mais il existe une forte variabilité des premières observations inter-annuelles, d'où cette valeur obtenue par régression linéaire très élevée. Dans les départements où l'espèce fait l'objet d'un suivi régulier annuel, son arrivée printanière n'a pas eu de modification notable depuis 20 ans (Chapalain F., *comm. pers.*). L'avancement de 52 jours, obtenu par régression linéaire, est donc incohérent. En Bourgogne, l'analyse des dates d'arrivées printanières de passereaux migrateurs transsahariens par la technique de baguage de 1995 à 2011 semble montrer une avancée pour certaines espèces (Bouzendorff, 2012). Dans le Rhône, les données de premières observations annuelles saisies sur la base

de données Biovision « faune-rhone » de 2009 à 2014 pour 36 espèces migratrices retenues présentent également une arrivée de plus en plus précoce (Frey, 2014).

Effet de la température locale sur les tendances phénologiques printanières

Selon la méthode des premières observations annuelles, 18 espèces ont montré une relation significative entre les changements phénologiques et les variations climatiques. Parmi elles, la Fauvette des jardins ($F_{1,33} = 3,521$, $p = 0,069$) et le Pouillot siffleur ($F_{1,37} = 3,021$, $p = 0,091$) présentaient une tendance négative marginalement significative ($p < 0,1$) dans leur arrivée printanière au cours des 41 dernières années, mais ces deux espèces montrent bien une relation négative significative à la température locale.

Les passereaux modifient le plus leur phénologie en réponse aux changements du climat. La présente étude a mis en évidence un avancement des arrivées en relation avec la température printanière locale moyenne estimé à $3,6 \pm 0,9$ jours pour chaque degré Celsius d'augmentation. Cette valeur est supérieure à celle indiquée par Sparks *et al.* (2002) de 2 jours/°C en Angleterre. Dans la synthèse de Lehikoinen *et al.* (2004), les réponses varient de 2,47 à 3,33 jours/°C ($n = 203$ régressions en Eurasie). En Amérique du Nord, les avancées des arrivées printanières sont de l'ordre d'un jour par degré Celsius d'augmentation (Marra *et al.*, 2005 ; Murphy-Klassen *et al.*, 2005 ; Miller-Rushing *et al.*, 2008a ; Van Buskirk *et al.*, 2009) tout comme celles annoncées par Francoeur (2012) au Québec. L'interprétation quantitative des réponses phénologiques doit être prise avec précaution car celles-ci dépendent des méthodes d'analyses utilisées (Moussus *et al.*, 2010). Selon Francoeur (2012), les méthodes par premières mentions ont une réponse phénologique d'amplitude presque deux fois supérieure aux autres marqueurs phénologiques. Il faut donc être prudent dans l'extrapolation de la réponse des premières arrivées printanières à l'ensemble du passage migratoire printanier (cas de la Cigogne noire par exemple).

Les changements climatiques ont aussi des conséquences sur la phénologie de la reproduction (McCleery & Perrins, 1998 ; Sokolov, 2006 ; Charmantier *et al.*, 2008 ; Dickey *et al.*, 2008). Certaines espèces chantent plus tôt au printemps sur leur lieu de reproduction. À l'échelle de la Vienne, la présence du Pouillot véloce, de la Fauvette à tête noire et du Serin cini (espèces migratrices partielles) est devenue régulière en période hivernale depuis 2000. En se basant

sur le premier contact auditif annuel, ces trois espèces n'ont pas été entendues de plus en plus précocement au cours des 16 dernières années (Fauvette à tête noire : $F_{1,14} = 0,547$, $p = 0,472$, Pouillot véloce : $F_{1,14} = 0,554$, $p = 0,469$, Serin cini : $F_{1,13} = 1,675$, $p = 0,218$). Cependant, une relation positive significative existerait entre les changements d'activités de chant et les variations climatiques pour la Fauvette à tête noire ($y = 5,51x + 61$, $r^2=0,69$; $F_{1,13} = 28,7041$, $p = 0,0001$) et le Serin cini ($y = 3,44x + 55$, $r^2=0,34$; $F_{1,13} = 6,860$, $p = 0,021$) ; cette relation n'est pas significative pour le Pouillot véloce ($y = 1,86x + 57$, $r^2=0,11$; $F_{1,13} = 1,802$, $p = 0,2$). Les résultats obtenus signifieraient donc que pour ces deux espèces sur les trois étudiées, elles chantaient plus tard en saison lors des années plutôt chaudes. Ce trait comportemental irait à l'encontre des reproductions précoces constatées lors des années chaudes (Crick & Sparks, 1999). En modifiant la variable « température moyenne du mois » par la « température moyenne du jour » du premier chant annuel, seul le Serin cini présenterait une relation positive significativement exploitable ($y = 2,05x + 38$, $r^2=0,38$; $F_{1,13} = 8,033$, $p = 0,014$). Même si la cohérence de ces résultats ne correspond pas aux tendances généralement observées, ce constat reste valable localement et statistiquement validé.

Remerciements

La phénologie de la migration prénuptiale en Vienne n'aurait pas pu être appréhendée sans l'implication des contributeurs qui ont transmis les observations qu'ils ont faites depuis la création du Groupe Ornithologique de la Vienne (GOV) en 1975. Qu'ils en soient ici remerciés ! Chaque observation transmise est précieuse et sera un jour ou l'autre valorisée à sa juste valeur. N'hésitez pas à contribuer *via* la base de données en ligne VisioNature <http://vienna.lpo.fr/> en saisissant vos observations ornithologiques.

Les analyses présentées ont bénéficié des enseignements de statistiques à l'intention des ornithologues dispensés par le Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (Muséum National d'Histoire Naturelle).

Un grand merci à François Kihm et à Pierre-Yves Henry qui ont assuré la relecture de cet article et apporté leurs corrections avisées.

Bibliographie

BOTH C., BIJLSMA R. G. & VISSER M. E. (2005). Climatic effects on timing of spring migration and breeding in a

long-distance migrant, the pied flycatcher *Ficedula hypoleuca*. *Journal of avian biology* 36 : 368-373.

BOUZENDORF F. (2012). Avifaune et changement climatique : Bilan 2011. EPOB, 22p.

BUSSIÈRE R. (2008). Arrivée des oiseaux migrateurs prénuptiaux nicheurs dans la Vienne. *L'Outarde* N°45 : 14-18.

BUTLER C. J. (2003). The disproportionate effect of global warming on the arrival dates of short distance migratory birds in North America. *Ibis* 145: 484-495.

CAREY C. (2009). The impacts of climate change on the annual cycles of birds. *Philosophical Transaction of the Royal Society B-Biological Sciences* 364 : 3321-3330.

CHARMANTIER A., MCCLEERY R. H., COLE L. R., PERRINS C., KRUIK E. B. & SHELDON B. C. (2008). Adaptive phenotypic plasticity in response to climate change in a wild bird population. *Science*, 320: 800-803.

CRICK H. Q. P. & SPARKS T. H. (1999). Climate change related to egg-laying trends. *Nature* 399 : 423-424.

CRICK H. Q. P. (2004). The impact of climate change on birds. *Ibis* 146 (Suppl.) : 48-56.

CRICK H. Q. P. & SPARKS T. H. (2006). Changes in the phenology of breeding and migration in relation to global climate change. *Acta Zoologica Sinica* 52(Suppl.) : 154-157.

DICKEY M.-H., GAUTHIER G. & CADIEUX M.-C. (2008). Climatic effects on the breeding phenology and reproductive success of an arctic-nesting goose species. *Global Change Biology* 14 : 1973-1985.

DOLENEC Z. (2013). Implications of temperature change on spring arrival dates of chiffchaff (*Phylloscopus collybita*) in a site in Croatia. *Current science* 104, N°6 : 700-702.

FILIPPI-CODACCIONI O., MOUSSUS J.-P., URCUN J.-P. & JIGUET F. (2010). Advanced departure dates in long-distance migratory raptors. *Journal of Ornithology* 153(3) : 687-694.

FRANCIS C. M. & COOKE F. (1986). Differential timing of spring migration in wood warblers (Parulinae). *The Auk* 103 : 548-556.

FRANCOEUR X. W. (2012). Effets des changements climatiques sur la phénologie printanière de l'avifaune du Québec. Université du Québec à Rimouski. Thèse. 78p.

FREY C. (2014). Les migrateurs printaniers reviennent-ils plus tôt ?

- L'effraie n°36 : 4-9.
- GORDO O. (2007). Why are bird migration dates shifting ? A review of weather and climate effects on avian migratory phenology. *Climate research* 35 : 37-58.
- JENNI L. & KÉRY M. (2003). Timing of autumn bird migration under climate change: advances in long-distance migrants, delays in short-distance migrants. *Proceedings of the Royal Society B* 270 : 1467-1471.
- JONZÉN N., LINDEN A., ERGON T., KNUDSEN E., VIK J. O., RUBOLINI D., PIACENTINI D., BRINCH C., SPINA F., KARLSSON L., STERVANDER M., ANDERSSON A., WALDENSTROM J., LEHIKOINEN A., EDVARDSEN E., SOLVANG R. & STENSETH N. C. (2006). Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science* 312 : 1959-1961.
- LEHIKOINEN E., SPARKS T. H. & ZALAKEVICIUS M. (2004). Arrival and departure dates. *In* : *Advances in ecological research*, vol. 35. Birds and climate change (A. P. Møller, W. Fiedler, and P. Berthold, eds.), pp.1-31. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- MACMYNOWSKI D. P. & ROOT T. L. (2007). Climate and the complexity of migratory phenology: sexes, migratory distance and arrival distributions. *International Journal of Biometeorology* 51 : 361-373.
- MARRA P. P., FRANCIS C. M., MULVIHILL R. S. & MOORE F. R. (2005). The influence of climate on the timing and rate of spring bird migration. *Oecologia* 142 : 307-315.
- MASON C. F. (1995). Long-term trends in the arrival dates of spring migrants. *Bird Study* 42 : 182-189.
- MCCLEERY R. H. & PERRINS C. M. (1998). Temperature and egg-laying trends. *Nature* 391 : 30-31.
- MILLER-RUSHING A. J., LLOYD-EVANS T. L., PRIMACK R. B. & SATZINGER P. (2008a). Bird migration times, climate change and changing population sizes. *Global Change Biology* 14 : 1959-1972.
- MILLER-RUSHING A. J., PRIMACK R. B. & STYMEIST R. (2008b). Interpreting variation in bird migration times as observed by volunteers. *The Auk* 125 : 565-573.
- MILLS A. M. (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.
- MOUSSUS J.-P., JULLIARD R. & JIGUET F. (2010). Featuring 10 phenological estimators using simulated data. *Methods in Ecology and Evolution* 1(2) : 140-150.
- MURPHY-KLASSEN H. M., UNDERWOOD T. J., SEALY S. G. & CZYRNYJ A. A. (2005). Long-term trends in spring arrival dates of migrant birds at Delta Marsh, Manitoba, in relation to climate change. *Auk* 122 : 1130-1148.
- PARMESAN C. & YOHE G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421 : 37-42.
- PARMESAN C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual review of ecology, evolution and systematics*, Vol. 37 : 637-669.
- 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* 35 : 147-157.
- PRÉVOST J. (1982). Arrivée des oiseaux migrants nicheurs dans le département de la Vienne. *L'Outarde* N°14 : 57-71.
- SOKOLOV L. V., MARKOVETS M. Yu., SHAPOVAL A. P. & MOROZOV Yu. G. (1998). Long-term trends in the timing of spring migration of passerines on the Courish spit of the Baltic sea. *Avian Ecology Behaviour* 1 : 1-21.
- SOKOLOV L. V. (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 T. H. (1999). Phenology and the changing pattern of bird migration in Britain. *International Journal of Biometeorology* 42 : 134-138.
- SPARKS T., CRICK H., ELKINS N., MOSS R., MOSS S. & MYLNE K. (2002). Birds, weather and climate. *Weather* 57 : 399-410.
- THORUP K., TØTTRUP A. P., RAHBEK C. (2007). Patterns of phenological changes in migratory birds. *Oecologia* 151(4) : 697-703.
- TRYJANOWSKI P., KUZNIAK S. & SPARKS T. (2002). Earlier arrival of some farmland migrants in western Poland. *Ibis* 144 : 62-68.
- Van BUSKIRK J., MULVIHILL R. S. & LEBERMAN R. C. (2009). Variable shifts in spring and autumn migration phenology in North American songbirds associated with climate change. *Global Change Biology* 15 : 760-771.
- WALDEMAR B., KITOWSKI I. & FILIPIUK E. (2009). Trends in the arrival dates of spring migrants in Lublin (E Poland). *Acta ornithologica* 44 : 89-94.
- WALTHER G.-R., POST E., CONVEY P., MENZEL A., PARMESAN C., BEEBEE T.J.-C., FROMENTIN J.-M., HOEGH-GULDBERG O. & BAIRLEIN F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416 : 389-395.

Espèce	Février	Mars	Avril	Mai	Date record
Pouillot de Bonelli					22/03/1990
Pouillot fitis					08/03/2014
Pouillot siffleur					09/03/2001
Rossignol philomèle					10/03/2005
Rougequeue à front blanc					18/03/1998
Rousserolle effarvatte					28/03/2014
Sarcelle d'été					18/02/1978
Sterne pierregarin					28/03/2014
Tarier des prés					05/03/1997
Torcol fourmilier					22/03/2000
Tourterelle des bois					30/03/1990
Traquet motteux					10/02/1997

Annexe 1. Chronologie du retour des oiseaux migrateurs dans la Vienne pour la période 1975-2015. Date moyenne d'arrivée associée à son écart-type. (a : 1994-2015, b : 2000-2015, c : 2005-2015, d : 2010-2015)

Relations significatives (n=38)					Relations non significatives (n=23)				
Balbusard pêcheur	$y = -0,63x + 1332$	$r^2 = 0,27$	$p = 0,002$	$nj = 26$	Aigle botté ^C	$y = 3,48x - 6866$	$r^2 = 0,32$	$p = 0,111$	
Bergeronnette printanière	$y = -0,40x + 896$	$r^2 = 0,14$	$p = 0,020$	$nj = 17$	Chevalier aboyeur	$y = 0,18x - 260$	$r^2 = 0,01$	$p = 0,466$	
Bihoreau gris ^b	$y = -2,35x + 4835$	$r^2 = 0,36$	$p = 3,05E-05$	$nj = 37$	Chevalier arlequin	$y = 0,30x - 496$	$r^2 = 0,04$	$p = 0,267$	
Bondrée apivore	$y = -0,51x + 1140$	$r^2 = 0,19$	$p = 0,005$	$nj = 21$	Chevalier gambette	$y = -0,30x + 677$	$r^2 = 0,06$	$p = 0,127$	
Bruant ortolan	$y = -0,42x + 959$	$r^2 = 0,13$	$p = 0,028$	$nj = 17$	Chevalier sylvain	$y = -0,49x + 1091$	$r^2 = 0,134$	$p = 0,065$	
Busard cendré	$y = -0,31x + 714$	$r^2 = 0,12$	$p = 0,030$	$nj = 13$	Combattant varié	$y = -0,41x + 894$	$r^2 = 0,09$	$p = 0,065$	
Caille des blés	$y = -0,89x + 1888$	$r^2 = 0,43$	$p = 6,01E-06$	$nj = 37$	Echasse blanche ^C	$y = 2,33x - 4577$	$r^2 = 0,15$	$p = 0,218$	
Cigogne noire ^C	$y = -4,71x + 9561$	$r^2 = 0,50$	$p = 0,023$	$nj = 52$	Fauvette des jardins	$y = -0,28x + 669$	$r^2 = 0,10$	$p = 0,069$	
Circaète Jean-le-Blanc	$y = -0,62x + 1313$	$r^2 = 0,33$	$p = 1,38E-04$	$nj = 25$	Gobemouche gris	$y = -0,25x + 621$	$r^2 = 0,04$	$p = 0,267$	
Coucou gris	$y = -0,47x + 1020$	$r^2 = 0,37$	$p = 2,80E-05$	$nj = 19$	Gorgebleue à miroir ^d	$y = 3,94x - 7846$	$r^2 = 0,42$	$p = 0,162$	
Courlis cendré	$y = -0,34x + 742$	$r^2 = 0,20$	$p = 0,007$	$nj = 14$	Grand gravelot	$y = 0,64x - 1156$	$r^2 = 0,14$	$p = 0,061$	
Engoulevent d'Europe	$y = -0,56x + 1248$	$r^2 = 0,33$	$p = 4,40E-04$	$nj = 23$	Guifette noire	$y = -0,25x + 623$	$r^2 = 0,09$	$p = 0,078$	
Faucon hobereau	$y = -0,38x + 862$	$r^2 = 0,24$	$p = 0,002$	$nj = 16$	Héron pourpré	$y = 0,06x - 27$	$r^2 = 0,01$	$p = 0,663$	
Fauvette grisette	$y = -0,44x + 977$	$r^2 = 0,47$	$p = 1,66E-06$	$nj = 18$	Locustelle tachetée	$y = -0,16x + 411$	$r^2 = 0,04$	$p = 0,218$	
Gobemouche noir	$y = -0,37x + 845$	$r^2 = 0,16$	$p = 0,038$	$nj = 15$	Merle à plastron ^C	$y = -0,71x + 1520$	$r^2 = 0,17$	$p = 0,243$	
Guépier d'Europe ^a	$y = -1,05x + 2235$	$r^2 = 0,57$	$p = 7,92E-05$	$nj = 23$	Petit-duc scops	$y = -0,09x + 306$	$r^2 = 0,00$	$p = 0,777$	
Guifette moustac	$y = -0,62x + 1341$	$r^2 = 0,32$	$p = 2,62E-04$	$nj = 25$	Pie-grièche à tête rousse	$y = -0,20x + 525$	$r^2 = 0,05$	$p = 0,226$	
Hirondelle de fenêtre	$y = -0,77x + 1615$	$r^2 = 0,40$	$p = 9,59E-06$	$nj = 31$	Pipit rousseline	$y = -0,15x + 417$	$r^2 = 0,02$	$p = 0,456$	
Hirondelle de rivage	$y = -0,50x + 1082$	$r^2 = 0,16$	$p = 0,010$	$nj = 21$	Pouillot siffleur	$y = -0,27x + 640$	$r^2 = 0,08$	$p = 0,091$	
Hirondelle rustique	$y = -0,24x + 549$	$r^2 = 0,11$	$p = 0,038$	$nj = 10$	Sarcelle d'été	$y = -0,02x + 114$	$r^2 = 0,00$	$p = 0,885$	
Huppe fasciée	$y = -0,57x + 1224$	$r^2 = 0,38$	$p = 1,51E-05$	$nj = 24$	Torcol fourmilier	$y = -0,25x + 610$	$r^2 = 0,04$	$p = 0,239$	
Hypolaïs polyglotte	$y = -0,29x + 684$	$r^2 = 0,16$	$p = 0,010$	$nj = 12$	Tourterelle des bois	$y = -0,19x + 491$	$r^2 = 0,08$	$p = 0,072$	
Loriot d'Europe	$y = -0,39x + 884$	$r^2 = 0,34$	$p = 8,90E-05$	$nj = 16$	Traquet motteux	$y = -0,13x + 328$	$r^2 = 0,01$	$p = 0,475$	
Martinet noir	$y = -0,58x + 1255$	$r^2 = 0,52$	$p = 9,80E-08$	$nj = 24$					
Milan noir	$y = -0,55x + 1172$	$r^2 = 0,49$	$p = 3,59E-07$	$nj = 23$					
Œdicnème criard	$y = -0,40x + 860$	$r^2 = 0,13$	$p = 0,025$	$nj = 16$					
Outarde canepetière	$y = -0,39x + 864$	$r^2 = 0,18$	$p = 0,007$	$nj = 16$					
Petit gravelot	$y = -0,64x + 1348$	$r^2 = 0,39$	$p = 2,67E-05$	$nj = 26$					
Phragmite des joncs	$y = -0,36x + 816$	$r^2 = 0,12$	$p = 0,030$	$nj = 15$					
Pie-grièche écorcheur	$y = -0,51x + 1152$	$r^2 = 0,19$	$p = 0,006$	$nj = 21$					
Pipit des arbres	$y = -0,46x + 1000$	$r^2 = 0,35$	$p = 6,02E-05$	$nj = 19$					
Pouillot de Bonelli	$y = -0,26x + 613$	$r^2 = 0,13$	$p = 0,020$	$nj = 11$					
Pouillot fitis	$y = -0,39x + 863$	$r^2 = 0,16$	$p = 0,013$	$nj = 16$					
Rossignol philomèle	$y = -0,42x + 925$	$r^2 = 0,35$	$p = 5,58E-05$	$nj = 17$					
Rougequeue à front blanc	$y = -0,25x + 580$	$r^2 = 0,10$	$p = 0,047$	$nj = 10$					
Rousserolle effarvatte	$y = -0,39x + 896$	$r^2 = 0,18$	$p = 0,007$	$nj = 16$					
Sterne pierregarin	$y = -0,74x + 1582$	$r^2 = 0,29$	$p = 0,003$	$nj = 30$					
Tarier des prés	$y = -0,53x + 1153$	$r^2 = 0,15$	$p = 0,016$	$nj = 22$					

y : équation de la régression linéaire ; *r*² : coefficient de détermination
p : valeur de la probabilité ; *nj* : avancement des arrivées en nombre de jours
a : 1994-2015, b : 2000-2015, c : 2005-2015, d : 2010-2015

Annexe 2. Tendances à long terme des dates d'arrivées des migrateurs au passage pré-nuptial dans la Vienne, 1975-2015.

Relations significatives (n=18)

Bergeronnette printanière	$y = -4,07x + 94$	$r^2 = 0,29$	$p = 3,60E-04$
Busard cendré	$y = -3,30x + 97$	$r^2 = 0,28$	$p = 4,77E-04$
Circaète Jean-le-Blanc	$y = -5,42x + 92$	$r^2 = 0,41$	$p = 1,24E-05$
Faucon hobereau	$y = -2,52x + 104$	$r^2 = 0,16$	$p = 0,010$
Fauvette des jardins	$y = -2,90x + 106$	$r^2 = 0,16$	$p = 0,016$
Fauvette grisette	$y = -3,22x + 101$	$r^2 = 0,35$	$p = 6,70E-05$
Hirondelle de fenêtre	$y = -4,99x + 95$	$r^2 = 0,36$	$p = 3,23E-05$
Martinet noir	$y = -3,65x + 106$	$r^2 = 0,33$	$p = 7,88E-05$
Outarde canepetière	$y = -4,44x + 92$	$r^2 = 0,40$	$p = 1,33E-05$
Petit gravelot	$y = -4,92x + 89$	$r^2 = 0,38$	$p = 4,21E-05$
Phragmite des joncs	$y = -2,65x + 102$	$r^2 = 0,16$	$p = 0,012$
Pipit des arbres	$y = -3,44x + 94$	$r^2 = 0,42$	$p = 6,57E-06$
Pouillot de Bonelli	$y = -2,59x + 99$	$r^2 = 0,31$	$p = 1,71E-04$
Pouillot fitis	$y = -3,74x + 91$	$r^2 = 0,26$	$p = 8,61E-04$
Pouillot siffleur	$y = -3,88x + 108$	$r^2 = 0,28$	$p = 6,06E-04$
Rossignol philomèle	$y = -2,55x + 97$	$r^2 = 0,27$	$p = 6,14E-04$
Rougequeue à front blanc	$y = -2,43x + 93$	$r^2 = 0,22$	$p = 0,003$
Tarier des prés	$y = -3,63x + 108$	$r^2 = 0,12$	$p = 0,028$

Relations non significatives (n=34)

Balbusard pêcheur	$y = -1,71x + 81$	$r^2 = 0,04$	$p = 0,231$
Bondrée apivore	$y = 2,19x + 118$	$r^2 = 0,05$	$p = 0,165$
Bruant ortolan	$y = -0,45x + 121$	$r^2 = 0,00$	$p = 0,791$
Caille des blés	$y = 0,04x + 108$	$r^2 = 0,00$	$p = 0,984$
Chevalier aboyeur	$y = -2,23x + 99$	$r^2 = 0,03$	$p = 0,253$
Chevalier arlequin	$y = 0,24x + 100$	$r^2 = 0,00$	$p = 0,911$
Chevalier gambette	$y = 1,09x + 74$	$r^2 = 0,01$	$p = 0,461$
Chevalier sylvain	$y = -0,28x + 113$	$r^2 = 0,00$	$p = 0,876$
Combattant varié	$y = 2,64x + 70$	$r^2 = 0,09$	$p = 0,064$
Coucou gris	$y = -0,79x + 81$	$r^2 = 0,02$	$p = 0,398$

Engoulevent d'Europe	$y = 0,98x + 122$	$r^2 = 0,02$	$p = 0,480$
Gobemouche gris	$y = 2,20x + 120$	$r^2 = 0,04$	$p = 0,232$
Gobemouche noir	$y = -2,28x + 107$	$r^2 = 0,08$	$p = 0,164$
Grand gravelot	$y = 3,48x + 108$	$r^2 = 0,05$	$p = 0,288$
Guifette moustac	$y = -0,96x + 109$	$r^2 = 0,01$	$p = 0,490$
Guifette noire	$y = 1,10x + 116$	$r^2 = 0,03$	$p = 0,343$
Héron pourpré	$y = -1,65x + 96$	$r^2 = 0,08$	$p = 0,093$
Hirondelle de rivage	$y = 0,94x + 79$	$r^2 = 0,01$	$p = 0,483$
Hirondelle rustique	$y = 1,07x + 68$	$r^2 = 0,03$	$p = 0,260$
Huppe fasciée	$y = -0,34x + 81$	$r^2 = 0,00$	$p = 0,709$
Hypolaïs polyglotte	$y = 0,88x + 114$	$r^2 = 0,03$	$p = 0,293$
Locustelle tachetée	$y = -1,25x + 100$	$r^2 = 0,04$	$p = 0,189$
Loriot d'Europe	$y = -0,70x + 113$	$r^2 = 0,01$	$p = 0,466$
Milan noir	$y = 1,20x + 67$	$r^2 = 0,05$	$p = 0,176$
Petit-duc scops	$y = 3,38x + 120$	$r^2 = 0,12$	$p = 0,102$
Pie-grièche à tête rousse	$y = 0,79x + 126$	$r^2 = 0,01$	$p = 0,546$
Pie-grièche écorcheur	$y = 1,19x + 123$	$r^2 = 0,02$	$p = 0,431$
Pipit rousseline	$y = 2,43x + 119$	$r^2 = 0,07$	$p = 0,117$
Rousserolle effarvate	$y = 0,36x + 114$	$r^2 = 0,00$	$p = 0,755$
Sarcelle d'été	$y = 1,58x + 70$	$r^2 = 0,10$	$p = 0,060$
Sterne pierregarin	$y = 1,41x + 111$	$r^2 = 0,02$	$p = 0,480$
Torcol fourmilier	$y = -2,56x + 108$	$r^2 = 0,08$	$p = 0,093$
Tourterelle des bois	$y = -1,43x + 108$	$r^2 = 0,09$	$p = 0,062$
Traquet motteux	$y = -2,01x + 80$	$r^2 = 0,06$	$p = 0,146$

y : équation de la régression linéaire ; r^2 : coefficient de détermination
 p : valeur de la probabilité

Annexe 3. Résultats des régressions linéaires des dates moyennes d'arrivées printanières en fonction de la température moyenne de leurs mois d'arrivée, 1975-2015.

