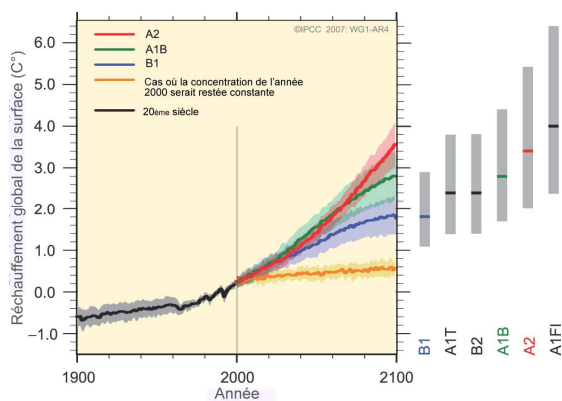




Développement d'indicateurs de l'impact des changements climatiques sur les oiseaux en Wallonie

Recherche d'intérêt général et pluridisciplinaire, rapport final, Novembre 2014



Wallonie



Développement d'indicateurs de l'impact des changements climatiques sur les oiseaux en Wallonie

Recherche d'intérêt général et pluridisciplinaire, rapport final, nov 2014

Aves, pôle ornithologique de Natagora

Rue Nanon 98

5000 Namur

info@aves.be - www.aves.be

www.natagora.be

Rédaction : Arnaud Laudelout et Jean-Yves Paquet

Personnes de contact : Jean-Yves Paquet (jean-yves.paquet@aves.be)

Financement : Service Public de Wallonie, Direction Générale Opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et de l'Environnement

Comité d'accompagnement : Violaine Thiry (fonctionnaire dirigeant, Direction de l'État Environnemental), Catherine Généreux (Direction de l'État Environnemental), Philippe Goffart (DEMNA), Jérémy Simar (DEMNA), Jean-Philippe Bizoux (DN), Julien Hoyaux (Agence Wallonne de l'Air et du Climat).

Photos de couverture : Jules Fouarge

Citation recommandée : Laudelout, A. & Paquet, J.-Y. (2014) Développement d'indicateurs de l'impact des changements climatiques sur les oiseaux en Wallonie. Rapport final de convention. Aves pôle ornithologique de Natagora et Direction de l'État Environnemental du Service Public de Wallonie. Namur, 33 pp.

Table des matières

SYNTHÈSE	4
SYNTHESIS	5
1. INTRODUCTION	6
2. PROGRAMME DE TRAVAIL.....	6
3. ORGANISATION DU TRAVAIL	7
4. PREMIÈRE PARTIE : L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'AVIFAUNE DES RÉGIONS TEMPÉRÉES (SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE)	7
4.1. INTRODUCTION	7
4.2. MODIFICATION DU CLIMAT DES AIRES D'HIVERNAGE.....	7
4.3. MODIFICATION DU TIMING DE LA MIGRATION ET DES DATES DE PONTE	8
4.4. MODIFICATION DU CLIMAT DES AIRES DE REPRODUCTION	9
4.5. IMPACTS SUR LA TAILLE DES POPULATIONS	10
4.6. IMPACT SUR LA RÉPARTITION DES ESPÈCES	10
4.7. IMPACT SUR LES COMMUNAUTÉS D'ESPÈCES.....	11
4.8. L'AVIFAUNE FORESTIÈRE ET PERTURBATIONS DE L'HABITAT.....	11
4.9. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	13
5. DEUXIÈME PARTIE : ÉLABORATION D'INDICATEURS DE L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'AVIFAUNE EN WALLONIE	15
5.1. LISTE DES INDICATEURS POTENTIELS POUR LA WALLONIE	15
5.2. BRÈVE PRÉSENTATION DES DONNÉES EXISTANTES POUVANT ÊTRE MISES À PROFIT POUR LE CALCUL D'INDICATEURS CLIMATIQUES.....	16
<i>La Surveillance des Oiseaux Communs en Wallonie par points d'écoute (SOCWAL).....</i>	<i>16</i>
<i>Les atlas des oiseaux nicheurs</i>	<i>17</i>
<i>Les données courantes.....</i>	<i>17</i>
<i>Les suivis de la migration visible</i>	<i>18</i>
5.3. ANALYSE EXPLORATOIRE DES MODIFICATIONS DE LA PHÉNOLOGIE DES ESPÈCES MIGRATRICES AU TRAVERS DES DONNÉES COURANTES	19
5.4. ANALYSE EXPLORATOIRE DE L'INFLUENCE DE LA MÉTÉO HIVERNALE SUR LES TENDANCES DES ESPÈCES	22
5.5. INDICATEUR DE L'ÉVOLUTION CLIMATIQUE DES COMMUNAUTÉS D'ESPÈCES.....	24
Évolution de l'indice de température des communautés calculé via les points d'écoute.....	24
Évolution de l'indice de température des communautés, variation par habitat.....	25
Évolution de l'indice de température des communautés, variation par écorégion	27
Évolution du CTI entre les deux atlas des oiseaux nicheurs	28
5.6. SPÉCIALISATION DES COMMUNAUTÉS	30
5.7. INDICATEUR D'IMPACT DU CLIMAT SUR LES POPULATIONS	30
5.8. CONCLUSIONS.....	33
6. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	33
<i>En rapport avec les séries de données déjà existantes :.....</i>	<i>33</i>
<i>En rapport avec de nouvelles sources données à développer :</i>	<i>34</i>
7. BIBLIOGRAPHIE	35

Synthèse

En Wallonie, les données d'observations des oiseaux sont recueillies systématiquement depuis près de 50 ans (1966 pour les données les plus anciennes) mais aucune analyse n'avait encore été entreprise dans l'optique de détecter l'influence des changements climatiques sur l'avifaune régionale. L'objectif de ce travail est d'analyser les données disponibles afin d'évaluer comment les changements observés ailleurs en Europe peuvent être détectés en Wallonie et de proposer des indicateurs reliés aux changements climatiques adaptés à notre région.

Une abondante littérature scientifique démontre l'influence des changements climatiques sur l'avifaune des régions tempérées, en particulier :

- Une modification des périodes de migration, à des degrés divers selon les espèces : sous les latitudes tempérées et boréales, les dates moyennes de retour de migration ont été avancées de deux jours par décade au cours des dernières décennies. L'analyse des données wallonnes confirme ce phénomène pour les migrateurs transitant dans nos régions. Cependant, en raison du type de données récoltées, il n'a pas été possible de mettre ce phénomène en évidence pour les espèces présentant des populations nicheuses régionales.
- Une altération des paramètres démographiques des populations en toutes saisons (taux de survie et de reproduction des espèces) : plus qu'un impact physiologique direct de la hausse de température, les phénomènes biotiques (accès à la ressource alimentaire, compétition ou prédation) jouent un rôle dominant. Il en résulte un impact sur la taille des populations : C'est ainsi qu'en Wallonie, les hivers doux semblent favorables aux effectifs des espèces sédentaires ou migrateurs à courte distance.
- Un impact sur les communautés : En réponse au réchauffement, la distribution de nombreuses espèces se déplace vers les pôles. Cela se traduit par le fait qu'en un point donné en Europe, la communauté d'espèces d'oiseaux qu'on y trouve a tendance à s'enrichir en espèces associées méridionales. A l'échelle européenne, les compositions des communautés sont maintenant typiques de celles qui étaient situées en moyenne à 37 km plus au sud il y a 20 ans. En Wallonie, une comparaison entre les deux atlas des oiseaux nicheurs consacrés à notre région ainsi que l'analyse des données récoltées lors du suivi des oiseaux communs par points d'écoute (SOCWAL) confirment tout-à-fait ce changement. L'évolution est très similaire dans tous les milieux et dans toutes les écorégions, à l'exception des milieux ouverts tourbeux des plateaux ardennais où la méridionalisation de l'avifaune est particulièrement marquée.

En l'état actuel des connaissances, il apparaît que l'impact des changements climatiques sur notre avifaune nicheuse peut être appréhendé au travers de quelques indicateurs établis sur base des données récoltées au travers du programme de suivi de l'avifaune nicheuse par points d'écoute (programme SOCWAL). Les quelques analyses réalisées confirment que les données récoltées patiemment depuis près de 50 ans par des milliers d'ornithologues amateurs en Wallonie permettent bien de mettre en évidence des modifications significatives dans l'avifaune wallonne, modifications que l'on peut relier aux changements climatiques. Pourtant, les changements observés jusqu'à ce jour ne constituent qu'une menace mineure pour l'avifaune de notre région. Mais la complexité des mécanismes à l'œuvre, l'incertitude quant à l'ampleur des changements futurs, la difficulté d'appréhender les effets retards, et surtout les effets cumulatifs avec d'autres menaces particulièrement exacerbées dans notre environnement extrêmement anthropisé, incitent à la plus grande prudence lorsqu'il s'agit de prévoir l'avenir.

Synthesis

In Wallonia, ornithological data is systematically collected since nearly 50 years (1966 for oldest sightings) but no data analysis had been performed yet to detect the influence of climatic changes on the regional avifauna. The goal of this work is to analyze the available data to assess how changes noticed elsewhere in Europe may be detected in Wallonia and to suggest indicators linked to climate change adapted to our region.

An abundant scientific literature demonstrates the impact of climate change on birds of temperate regions , particularly :

- A change in migration timing, variable according to the species considered : under temperate and boreal latitudes, average spring arrival date has advanced by 2 days per decade during last decades. An analysis of Walloon data confirms this phenomenon for migrants flying over our regions. However, due to the type of data recorded, it was not possible to show this phenomenon for species with regional breeding populations
- A change in bird population demography (mortality and breeding rates) : more than just a direct physiological impact, biotic processes (resource availability, competition, predation) have a major role, and impacts population size. In Wallonia, population size of sedentary and short distance migratory species benefit from mild winters.
- A community impact : because of climate change, the distribution of many species heads poleward. At a given location, bird community tends to enrich with meridional species. At the continent scale, bird communities are now on average typical of what they were 37 km further south 20 years ago. In Wallonia, a comparison between our two breeding bird atlas and an analysis of breeding birds point counts data (SOCWAL) confirm this modification. The evolution is very similar between habitats and ecoregions, except for highland moorheath where the meridionization of avifauna is extremely strong.

In the actual state of knowledge, it appears that climate change impacts on our breeding birds may be described through indicators calculated from data collected by point counts (SOCWAL programme). Analyses made confirms that ornithological data patiently collected by thousands of birdwatchers since 50 years allows to highlight significant change to Walloon avifauna related to climatic changes. However, changes observed so far are a minor threat to bird communities of our region. But the complexity of ongoing mechanisms, the magnitude of future changes, the difficulties to understand delay effects and cumulative effects with other threats extremely exacerbated in our anthropised landscape suggest maximum care to be taken when forecasting the future.

1. Introduction

Le changement climatique semble avoir un effet déjà bien perceptible sur les phénomènes naturels et en particulier sur de nombreuses espèces d'oiseaux. Les effets mis en évidence concernent tous les stades du cycle de vie de nombreuses espèces (reproduction, migration...) à des degrés divers. Le changement climatique induit des adaptations (phénologie et succès de la reproduction, utilisation des ressources alimentaires, etc.) ou modifie les aires de répartition des espèces et influence l'évolution numérique des populations, leur séjour dans les aires de nidification ou d'hivernage. Certains de ces changements sont si perceptibles que leur mise en évidence a directement contribué à la prise de conscience de l'importance des modifications du climat et des risques qu'elles entraînaient pour la biodiversité et les activités humaines.

En Wallonie, de nombreuses données d'observations des oiseaux sont recueillies systématiquement depuis de nombreuses années (1966 pour certaines) mais aucune analyse temporelle n'a jamais été entreprise dans l'optique de détecter des possibles changements, indicateurs d'une influence climatique sur la biologie des espèces au niveau régional.

L'objectif principal de ce projet est d'explorer les données ornithologiques disponibles en Wallonie afin d'établir des indicateurs directement ou indirectement reliés aux changements climatiques. Un second objectif est de suggérer des pistes d'action et des recommandations pour assurer une continuité dans l'acquisition de données susceptibles de documenter un impact des changements climatiques sur les populations d'oiseaux, nicheurs mais aussi migrateurs et hivernants.

Ce travail s'inscrit dans les recommandations concernant la biodiversité du rapport sur l'Adaptation aux changements climatiques en Wallonie (AGENCE WALLONNE DE L'AIR ET DU CLIMAT, 2011): « Poursuivre les suivis de la biodiversité existants, les améliorer/compléter et faire le lien avec le Changement Climatique ».

2. Programme de travail

Le changement climatique est un des facteurs identifiés comme potentiellement les plus influents pour l'évolution de la biodiversité dans les 100 prochaines années. Les longues séries temporelles d'observations de la faune fournissent une base d'information importante pour mesurer le phénomène et son impact. En Wallonie, Aves collecte depuis les années 1960 des données sur l'avifaune, que le contractant se propose d'explorer sous deux aspects :

- Le calcul d'un indicateur d'impact du changement climatique sur les populations des oiseaux communs en Wallonie ;
- La construction d'indicateurs phénologiques, permettant d'évaluer les changements induits dans les cycles de vie des oiseaux en Wallonie.

L'intérêt de développer ces indicateurs en Wallonie, alors que le phénomène est global, est triple :

- Ce travail permettra d'ajouter notre part au corpus de connaissances en valorisant les données accumulées en Wallonie ;
- Il permettra de vérifier de quelles manières les observations réalisées à l'échelle européenne s'expriment en Wallonie ;
- Il constituera une opportunité de sensibilisation privilégiée, le grand public étant plus facilement sensibilisé par des observations réalisées dans son environnement immédiat.

Le programme de travail comporte les tâches suivantes :

1. Analyse approfondie de la littérature – incluant un tableau synthétique des « indicateurs » développés dans d'autres pays.
2. Calcul d'un indicateur de l'impact des changements climatiques sur les populations d'oiseaux communs
3. Analyse de la phénologie de la migration et établissement d'indicateurs de la phénologie des migrations
4. Exploration de la base de données historique d'Aves

Il est à noter que le comité d'accompagnement, au cours de la réunion intermédiaire et en fonction des résultats intermédiaires présentés, a demandé que la tâche 2 soit particulièrement approfondie, plutôt que les tâches relatives aux données sur les observations de la migration.

3. Organisation du travail

Les objectifs et le programme de travail ont été précisés lors de la première réunion du comité d'accompagnement le 16 décembre 2013. Une deuxième réunion s'est tenue le 2 septembre 2014. L'expertise a été menée entre décembre 2013 et le 30 novembre 2014.

Deux scientifiques de l'équipe d'Aves, pôle ornithologique de Natagora, ont travaillé sur cette expertise (Arnaud Laudelout et Jean-Yves Paquet, avec l'appui de Marc De Sloover, responsable des banques de données Natagora).

4. Première partie : l'impact des changements climatiques sur l'avifaune des régions tempérées (synthèse bibliographique)

4.1. Introduction

Indéniablement, le climat belge s'est modifié depuis le début des relevés météorologiques, en 1833. Par exemple, la température moyenne a augmenté d'environ 2°, sans toutefois que cette hausse ne soit régulière. Deux élévations d'environ 1°C, très significatives, ont ainsi eu lieu : la première vers 1910 et la seconde à la fin des années 1980 (INSTITUT ROYAL MÉTÉOROLOGIQUE, 2008; AGENCE WALLONNE DE L'AIR ET DU CLIMAT, 2011 ; COMMISSION NATIONALE CLIMAT, 2013) Depuis une dizaine d'année, les changements climatiques et leurs impacts possibles et avérés pour la biodiversité ont suscité une abondante littérature scientifique, plus particulièrement sur l'avifaune. Bien que ces changements soient reconnus par la majeure partie de la communauté scientifique comme une menace majeure pour la biodiversité, la science est loin d'avoir percé dans le détail les nombreux mécanismes qui entrent en jeu.

À vrai dire, un nombre très restreint de publications met en évidence les causes d'extinction locale d'espèces dans une perspective de changement climatique. Les effets physiologiques directs d'une hausse de la température ne sont vraisemblablement qu'une cause peu fréquente de déclin, intervenant principalement chez des espèces aux capacités de thermorégulation limitées. D'autres mécanismes paraissent plus répandus comme les effets directs et indirects de la modification des précipitations ou surtout l'altération des relations interspécifiques, en particulier au niveau des relations proies-prédateurs (CAHILL ET AL., 2013).

Cette synthèse identifie et détaille brièvement les principaux effets des changements climatiques influençant les oiseaux, en se focalisant sur l'avifaune des régions tempérées.

4.2. Modification du climat des aires d'hivernage

Pour les espèces hivernant au sein des zones tempérées, une hausse de la température moyenne a un effet positif sur le taux de survie de la majorité des espèces. Des hivers froids tendent à limiter la nourriture disponible, par exemple via le gel au sol ou via une couverture de neige, ce qui impacte les oiseaux bien plus que l'effet physiologique de la température. Les modifications dans le régime des précipitations semblent, quant à elles, entraîner des conséquences plus contrastées, en particulier au regard des habitudes alimentaires des espèces (PEARCE-HIGGINS & GREEN, 2014).

Au sein des zones tropicales, la pluviosité est le facteur clé intervenant dans la limitation des populations locales d'oiseaux, à l'instar de la température au sein des zones tempérées (PEARCE-HIGGINS & GREEN, 2014). L'importance de la pluviosité tropicale se fait pourtant ressentir jusque sous nos latitudes. Depuis la fin des années 60, une relation forte a pu être mise en évidence entre la pluviosité au Sahel et les

effectifs de nombreuses espèces européennes hivernant au sud du Sahara (PEACH *ET AL.*, 1991; BAILLIE & PEACH, 1992; MARCHANT, 1992; NEVOUX *ET AL.*, 2008; NORMAN & PEACH, 2013; OCKENDON *ET AL.*, 2014b). Un indicateur de l'impact des changements climatiques basés sur l'évolution des populations d'oiseaux migrateurs transsaharien a été proposé (NEWSON *ET AL.*, 2009) : il est stable sur les 40 dernières années, mais montre une diminution de 20 à 30 % pendant les années de sécheresse sahélienne des années 1970 et début 1980.

En effet, la pluviosité a un rôle crucial pour bon nombre de nos espèces hivernant sous ces latitudes : non seulement celle-ci conditionne l'étendue de nombreuses zones humides, mais elle favorise la croissance de la végétation, et indirectement, les ressources alimentaires disponibles pour les oiseaux, tant pour les espèces insectivores que pour les granivores et les frugivores. Les oiseaux disposant de meilleures ressources alimentaires présentent alors une meilleure condition corporelle, ce qui augmente leur taux de survie pendant l'hivernage et la migration, résultant dans des populations nicheuses plus abondantes lors du printemps suivant (NEWTON, 2004).

Pour certaines espèces comme la Cigogne blanche *Ciconia ciconia*, les ressources accumulées lors de l'hivernage influencent même la taille de la nichée lors du printemps suivant (BAIRLEIN & HENNEBERG, 2000). Un phénomène similaire à celui qui affecte les cigognes blanches a été mis en évidence pour quelques oiseaux d'eau hivernant en Europe de l'ouest. Aux Pays-bas, les femelles de Bernache cravant *Branta bernicla* ayant accumulé le plus de réserves lors de leur migration pré-nuptiale sont aussi celles qui ont le plus de chance de revenir accompagnées de jeunes lors de l'automne suivant (EBBINGE & SPAANS, 1995). Chez le Cygne chanteur *Cygnus cygnus*, la proportion de jeunes au sein des troupes hivernant en Suède est corrélée à la température moyenne de l'hiver précédent, ce qui laisse entendre que la douceur de l'hiver influence le succès reproducteur au travers de la condition corporelle des animaux (NILSSON, 1979). A l'inverse, les limicoles nichant dans l'arctique produisent leurs œufs grâce à la nourriture qu'ils consomment sur leurs sites de reproduction (KLAASSEN *ET AL.*, 2001). Il en est de même pour les Hirondelles rustiques *Hirundo rustica* (WARD & M BRYANT, 2006), mais cela ne signifie pas que l'hivernage soit sans conséquence sur la reproduction. En effet, les conditions d'hivernages influencent la précocité des dates de retour qui conditionne le succès reproducteur (SAINO *ET AL.*, 2004). Il apparaît en fin de compte qu'une stratégie intermédiaire prévaut chez la majorité des espèces, tant la nourriture disponible pendant l'hivernage, que lors des arrêts migratoires ou à l'arrivée sur les sites de reproduction conditionnant le succès reproducteur (DRENT *ET AL.*, 2006).

4.3. Modification du timing de la migration et des dates de ponte

L'environnement de nombreuses espèces est caractérisé par des fluctuations dans la disponibilité des ressources, en particulier par l'abondance de nourriture. Les espèces migratrices adaptent dès lors leurs déplacements à la variation géographique des ressources alimentaires. Pour la plupart, celles-ci varient sur une base annuelle, en relation avec la température et les précipitations. Dès lors, les changements climatiques sollicitent la capacité des populations à s'adapter pour choisir le juste timing pour la reproduction et la migration.

Sous les latitudes tempérées et boréales, les dates moyennes de retour de migration ont été avancées de deux jours par décade au cours des dernières décennies. Les modifications de dates de fin de la période de reproduction et de migration automnales varient beaucoup plus entre les espèces, en fonction de leurs stratégies de reproduction, de mue et de migration (LEHIKONEN *ET AL.*, 2004; RUBOLINI *ET AL.*, 2007; HURLBERT & LIANG, 2012)

Toutes les espèces ne répondent pas de la même manière aux modifications climatiques. Un lien entre la capacité de réponse d'une espèce et les tendances de population est mentionné pour la période 1990-2000 : parmi les espèces migratrices, celles qui ont le moins modifié leurs dates de retour sont également celles dont le déclin est le plus marqué (MØLLER *ET AL.*, 2008). Toutefois, il est possible que la non-adaptation de la période de migration de certaines espèces soit causée par la détérioration des habitats d'hivernage, détérioration qui serait également responsable des déclins observés au sein des populations (KNUDSEN *ET AL.*, 2011).

A l'instar des dates de migration, les dates de pontes sont également impactées par les changements climatiques. Mais les ressources alimentaires dont dépendent les oiseaux n'ont pas forcément été impactées de la même manière, ce qui conduit à une désynchronisation entre la période où les oiseaux ont les besoins les plus élevés et la période où les ressources alimentaires disponibles sont maximales. Cette désynchronisation, mieux connue sous le nom de Mismatch, équivaut in fine à une diminution des ressources alimentaires. (DUNN, 2004; DUNN & WINKLER, 2010; VISSER *ET AL.*, 2012). Dans certains cas, les paramètres démographiques de la population peuvent être affectés (survie ou la productivité en jeunes), ce qui peut conduire à un déclin de la population (BOTH *ET AL.*, 2006). Toutefois, il nous paraît intéressant de mentionner que, malgré de nombreuses études, un lien entre mismatch phénologique et déclin d'une population est seulement proposé pour deux espèces. Finalement, ce mécanisme n'a probablement qu'une influence très limitée sur la taille des populations, comparé à d'autres aspects de la biologie de la reproduction ou de la phénologie (KNUDSEN *ET AL.*, 2011; DUNN & MØLLER, 2014).

En effet, un début plus précoce de la reproduction favorise finalement les espèces capables de réaliser plusieurs nichées au cours de la période de reproduction, tandis que les espèces qui ne réalisent qu'une seule nichée par saison de reproduction sont plus dépendantes de l'abondance des ressources alimentaires, et dès lors plus sensibles aux variations de celles-ci. Ceci conduit à ce que les tendances de populations des premières espèces soient plutôt stables ou en légère augmentation, tandis que les secondes montrent une tendance au déclin (DUNN & MØLLER, 2014).

4.4. Modification du climat des aires de reproduction

De nombreuses études ornithologiques ont mis en relation les conditions météorologiques et des paramètres démographiques de populations d'espèces (taux de survie, production de jeunes, taux de croissance, probabilité d'entreprendre une Xème nichée, ...). Bien souvent, ces études ont été réalisées en l'absence de considération sur les changements climatiques, mais leurs résultats sont certainement instructifs si l'on souhaite appréhender les implications potentielles des changements climatiques sur ces espèces. En Wallonie, quelques études spécifiques ont établi un lien entre la démographie d'une espèce et les conditions météorologiques, p.ex. pour le Martin-pêcheur *Alcedo atthis* (LIBOIS, 1994), le Rôle des genêts *Crex crex* (RYELANDT, 1995), le Tétraz Lyre *Tetrao tetrix* (KEULEN *ET AL.*, 2005),...

D'une manière générale, la température a un effet positif sur la reproduction des oiseaux terrestres des zones tempérées, au travers d'une survie accrue et d'un meilleur succès reproducteur. Cet effet positif semble toutefois moins évident chez les passereaux, pour lesquels les résultats sont assez hétérogènes. Enfin, il est à remarquer que les populations les plus nordiques sont celles qui réagissent le plus favorablement à la hausse des températures (PEARCE-HIGGINS & GREEN, 2014).

L'effet des précipitations pendant la période de reproduction semble plutôt contrasté pour les espèces des zones tempérées. Plusieurs mécanismes entrent en jeu :

- Un effet négatif direct sur la survie des jeunes, particulièrement marqué chez les espèces nidifuges.
- Un besoin accru en soins parentaux, au détriment de la recherche de nourriture.
- Une réduction de la disponibilité en proies, pour les insectivores, ou une augmentation, pour les espèces consommant des invertébrés.
- Une augmentation du risque de prédation dans le cas où les parents consacrent plus de temps à la recherche de nourriture.

En fonction des caractéristiques propres de chaque espèce, certains de ces mécanismes sont prédominants. Enfin, mentionnons que les événements climatiques extrêmes peuvent causer l'échec de nichées, par exemple suite à des crues. L'effet démographique de tels événements sera d'autant plus dramatique que les populations sont réduites et que ces événements sont fréquents (PEARCE-HIGGINS & GREEN, 2014).

Il convient toutefois de rester prudent quant à ces tendances à court terme, car des modifications plus profondes des relations interspécifiques pourraient aboutir à un effet inverse à long-terme.

4.5. Impacts sur la taille des populations

Il est probable que de nombreuses conséquences des changements climatiques à l'échelle des populations passeront inaperçues, masqués par d'autres éléments anthropiques comme les modifications d'habitats (EGLINGTON & PEARCE-HIGGINS, 2012). À ce jour, le nombre d'espèces ou de populations pour lesquelles il existe des preuves tangibles d'un mécanisme mettant en œuvre les changements climatiques dans la réduction des populations est extrêmement réduit (CAHILL ET AL., 2013). Même si peu d'espèces font l'objet d'études détaillées, les oiseaux font preuve de la capacité à s'adapter aux changements climatiques, en tout cas dans la mesure des changements observés jusqu'à ce jour. Néanmoins, il est extrêmement délicat de prévoir dans quelle mesure les populations auront les capacités de s'adapter aux changements climatiques futurs (GIENAPP ET AL., 2008).

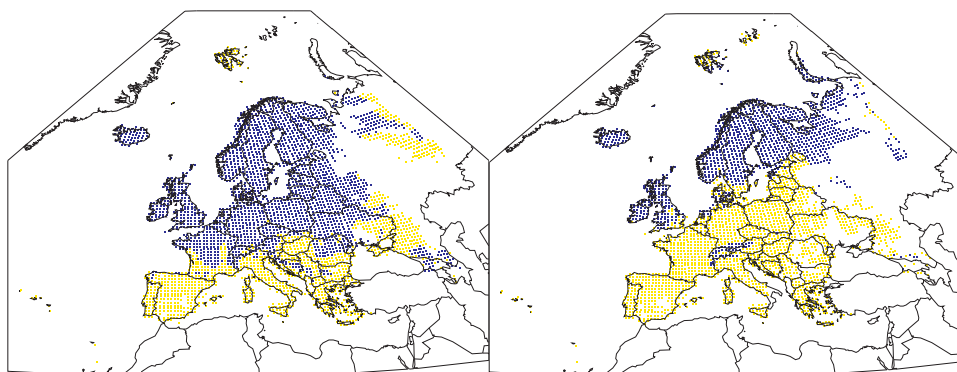
A l'échelle du continent européen, les effets des changements climatiques sont devenus suffisamment tangibles que pour être perceptibles sur les populations (DEVICTOR ET AL., 2008; GREGORY ET AL., 2009b; DEVICTOR ET AL., 2012). Un indicateur d'impact des changements climatiques sur les populations d'oiseaux communs en Europe a été développé et montre un impact manifeste surtout à partir de la fin des années 1980 (GREGORY ET AL., 2009b). Nous avons construit ce même indicateur pour la Wallonie (voir point 4).

4.6. Impact sur la répartition des espèces

En réponse au réchauffement, la distribution de nombreuses espèces tend à s'étendre vers les pôles grâce à l'impact positif de la température sur la productivité et la survie (THOMAS & LENNON, 1999; BROMMER, 2004; BROMMER ET AL., 2012). Cet effet permet l'accroissement de la taille des populations nordiques, menant à la colonisation de nouveaux milieux (PEARCE-HIGGINS & GREEN, 2014). La bordure sud des aires de répartition se déplace elle-aussi vers le nord, mais à un rythme deux fois moins soutenu (BROMMER ET AL., 2012). Pour expliquer ces déplacements, l'impact physiologique direct de la hausse de température est vraisemblablement peu important. Des variations dans le régime des précipitations et, surtout, dans les phénomènes biotiques (abondance de nourriture, compétition ou prédation) jouent un rôle dominant (CAHILL ET AL., 2013; OCKENDON ET AL., 2014a).

Bien qu'il existe une controverse quant à la possibilité de décrire la répartition des espèces à l'aide de paramètres climatiques et aux utilisations valides de tels modèles (ARAÚJO & PETERSON, 2012), ces modèles ont été utilisés pour décrire la répartition actuelle des espèces mais aussi, pour prédire leur répartition future (HUNTLEY ET AL., 2007). Le cas du Pipit farlouse *Anthus pratensis*, une des espèces nicheuses de Wallonie la plus potentiellement affectée par les changements climatiques, est illustré à la Figure 1.

Figure 1 : Répartition actuelle du Pipit farlouse *Anthus pratensis* en Europe (à gauche) et répartition prédite à la fin du 21^e siècle (à droite) selon (HUNTLEY ET AL., 2007).



4.7. Impact sur les communautés d'espèces

Puisque les répartitions évoluent, mais pas à la même vitesse et dans le même sens pour toutes les espèces, les communautés d'espèces vivant dans un endroit donné évoluent également. L'effet du changement climatique en tant que tel n'est là aussi pas facilement distinguable des autres facteurs en jeu comme les modifications de l'habitat. Cependant, en Europe, les communautés d'espèces d'oiseaux sont maintenant de plus en plus composées d'espèces associées aux températures élevées, ce qui fait que les compositions moyennes des communautés sont maintenant typiques de celles qui étaient situées 37 km plus au sud il y a 20 ans (DEVICOR ET AL., 2012). En fait, les modifications des communautés d'oiseaux observées à l'échelle européenne constituent une des preuves les plus tangibles de l'impact des changements climatiques sur les oiseaux.

Globalement, un réchauffement climatique est prédit comme entraînant une augmentation de la diversité α des communautés d'oiseaux (plus grande diversité d'espèces par station). Ce phénomène a notamment été vérifié par les suivis d'oiseaux communs en Grande-Bretagne (DAVEY ET AL., 2012). Il s'accompagne cependant d'une plus grande « homogénéisation des communautés », c'est-à-dire une augmentation des espèces généralistes au détriment des espèces spécialistes, avec au final une diminution de la diversité β des communautés (moins grande diversité entre stations) {Davey, 2013 #3353}. Ce phénomène d'homogénéisation est bien mis en évidence en Europe (LE VIOL ET AL., 2012), mais il semble particulièrement délicat de différencier l'impact des changements climatiques de celui d'autres modifications anthropiques des habitats.

4.8. L'avifaune forestière et perturbations de l'habitat

Les événements climatiques extrêmes comme les tempêtes, au sujet desquelles la majorité des experts climatiques s'accordent pour dire que leur fréquence devrait augmenter en conséquence des changements climatiques, auront-ils des conséquences sur l'avifaune, au travers d'une modification de la physionomie des forêts ? En effet, trois grandes catégories d'événements sont responsables de la dynamique forestière, c'est-à-dire de sa capacité à générer, dans des conditions de sol ou de climat identiques, une hétérogénéité d'âge, de structure ou de composition spécifique. Ces 3 grandes catégories d'événements, opérant de manière hiérarchisée, à différentes échelles de temps et d'espace sont les chablis, opérant à petite échelle, les perturbations d'origine biologique (champignons affaiblissant ou tuant les arbres, insectes, mammifères créant des habitats nouveaux, tels les castors, les sangliers, etc.) et enfin les événements abiotiques (tempêtes, feux, inondations,...) (BLONDEL, 1995)

De tels événements restent bien évidemment fort rares, mais à la fin décembre 1999, l'ouragan Lothar a dramatiquement impacté les forêts du nord-est de la France, puisque des dizaines de millions de m³ de chablis ont été recensés dans ces régions. L'impact de cet ouragan sur l'avifaune a été remarquablement étudié par l'ornithologue Yves Muller. Plusieurs publications sont issues de ses observations, dont la dernière (MULLER, 2010) fait office de synthèse. En voici le résumé : « Si l'ouragan Lothar a été un désastre pour certaines forêts trop aménagées et trop régulières, il n'a pas constitué une catastrophe majeure pour les oiseaux, du moins à l'échelle d'un massif forestier tel que celui des Vosges du Nord. La tempête est à l'origine d'un rajeunissement important des peuplements forestiers. L'ouverture des milieux a été profitable à certaines espèces d'oiseaux caractéristiques des zones dégagées et des milieux buissonnants, mais n'a pas affecté durablement les espèces des stades âgés. À l'échelle d'un secteur forestier moyennement touché, l'impact de la tempête sur le peuplement avien est faible. Les principaux paramètres (richesse, densité, diversité) ne changent pas. On notera tout de même l'installation éphémère d'oiseaux de milieux ouverts et l'augmentation des effectifs d'espèces de zones buissonnantes en corollaire à la régression de quelques espèces du feuillage, peut-être consécutivement à la diminution du nombre de grands arbres. Mais dix années après l'ouragan, les forêts ont pansé leurs plaies et ces modifications sont fortement atténuées. Toutefois, à l'échelle d'un secteur fortement dévasté, les changements sont bien plus importants. Après les grands travaux d'exploitation puis de plantations, une nouvelle succession forestière s'est mise en place. L'avifaune des premières années est pauvre ; seules quelques espèces aviennes de milieux ouverts s'installent... Mais dès que la végétation se développe, les

oiseaux de milieux buissonnants prennent la relève et le peuplement se diversifie. Il faudra attendre quelques décennies avant que la plupart des espèces cavernicoles ne s'établissent. »

Au travers de cet exemple, il est assez clair que l'avifaune forestière résiste assez bien à des perturbations abiotiques d'une grande ampleur, probablement car, comme évoqué précédemment, de tels événements font partie intrinsèque de la dynamique forestière. Qu'en serait-il du remplacement d'une essence indigène ligneuse par une autre, sous l'effet d'un nouveau climat ? A l'échelle d'une bonne partie de l'Europe, les peuplements aviaires des forêts feuillues montrent de fortes similitudes. C'est ainsi que, par exemple, le peuplement des vieilles forêts méditerranéennes diffère très peu de celui des forêts d'Europe moyenne. Les raisons sont historiques : la période interglaciaire dans laquelle nous sommes se caractérise par une expansion vers le nord de paysages végétaux dont la survie, à l'échelle des temps géologiques, dépend de l'aire méditerranéenne. Il n'y a donc, sur l'ensemble de l'Europe, à quelques nuances près, qu'un seul type d'avifaune forestière dont la distribution spatiale a subi de gigantesques contractions et réexpansions rythmées par les vicissitudes climatiques répétées. Cette constatation souligne l'importance déterminante de la physionomie forestière, puisque le seul point commun entre ces habitats forestiers est d'être caractérisé par une même structure d'ensemble (BLONDEL, 1984). On peut donc s'attendre à ce que, à structure de peuplement comparable, des changements dans le cortège des essences ligneuses ne constituent pas une catastrophe majeure pour l'avifaune des forêts feuillues, tant que ces essences sont d'origine européenne.

À vrai dire, l'évènement le plus marquant dans l'histoire de l'avifaune forestière est dû à l'action du gestionnaire forestier. Dans le courant du 19^{ème} siècle, la surexploitation des forêts et la crainte d'une pénurie de bois a entraîné l'installation massive d'essences résineuses en Europe occidentale, dont les forêts étaient alors constituées naturellement de peuplements feuillus. Cette tendance s'est perpétuée pendant le 20^{ème} siècle au point qu'à la fin de celui-ci, près de la moitié de la forêt wallonne était constituée de peuplements de conifères (SANCHEZ & MORGAN, 2013). Ceci n'a pas été sans impacter notre avifaune, qui s'est enrichie progressivement de nouvelles espèces typiques de l'épicéa. Le Tableau 1 présente les dates d'installation de ces espèces. Il est à remarquer qu'à l'exception du Pic tridactyle *Picoïdes tridactylus*, inféodé aux forêts comportant de nombreux arbres mourants, toutes les espèces typiques des forêts de conifères de la région alpine ont atteint notre région, où elles sont confrontées à un climat plus tempéré que celui de leur région d'origine. Cet exemple illustre bien l'importance de l'habitat par rapport au climat, lorsqu'il s'agit d'expliquer la répartition d'une espèce, mais aussi les capacités colonisatrices des oiseaux, dans une situation où de nouveaux habitats s'offrent à eux, en dehors de leur aire actuelle.

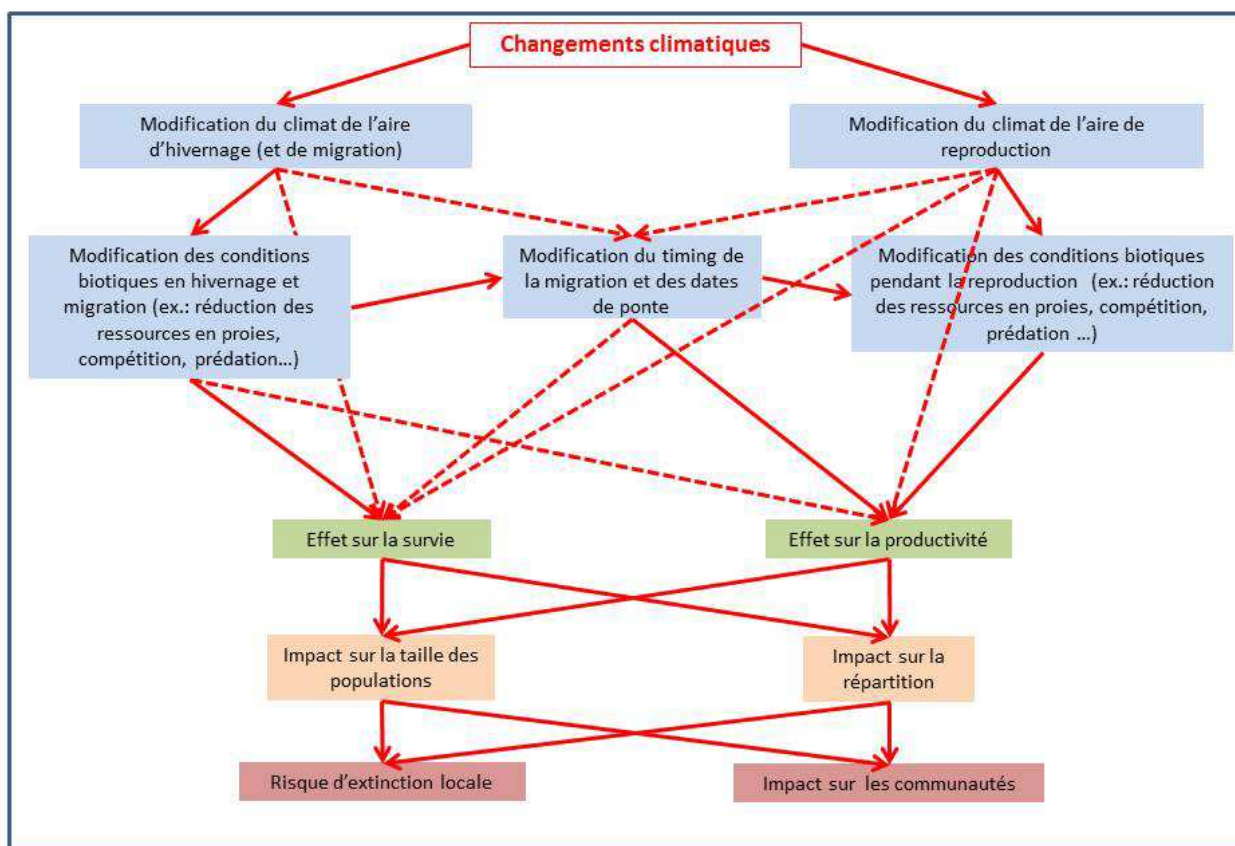
Tableau 1 : espèces inféodées aux conifères, stade optimal de l'évolution du peuplement, année d'apparition en Wallonie et tendance en Europe de l'ouest

Espèce	Stade	Chronologie	Évolution en Europe
Chouette de Tengmalm <i>Aegolius funereus</i>	Tous les stades	Première preuve en 1963	En extension
Chevêchette d'Europe <i>Glucidium passerinum</i>		Première preuve en 2012	
Pic noir <i>Dryocopus martius</i>	Tous les stades	Première mention en 1882	En extension
Merle à plastron <i>Turdus torquatus</i>	Jeunes stades	1901 et au moins sporadiquement ensuite. Régulier mais rare après 1975	Stable
Roitelet huppé <i>Regulus regulus</i>	Tous les stades	Milieu du 19 ^{ème} siècle	A étendu son aire en profitant des plantations
Roitelet triple bandeau <i>Regulus ignicapillus</i>	Tous les stades	Présent au 19 ^{ème} mais reproduction prouvée en 1916	A fortement étendu son aire en profitant des plantations
Mésange huppée <i>Lophophanes cristatus</i>	Tous les stades	19 ^{ème} siècle	A légèrement étendu son aire de reproduction
Mésange noire <i>Periparus ater</i>	Tous les stades	1861	A étendu son aire de reproduction
Cassenoix moucheté <i>Nucifraga caryocatactes</i>	Stades intermédiaire	1975 (soupçonné en 1969)	A étendu son aire de reproduction
Tarin des aulnes <i>Carduelis spinus</i>	Conifères matures	1842	A étendu son aire de reproduction

4.9. Conclusions et perspectives

Le schéma de la Figure 2 résume et organise les points évoqués ci-dessus. Il permet de distinguer les « effets » observables des changements climatiques (comme sur l'abondance des ressources ou la phénologie) de leurs impacts (allant de la diminution de la productivité à un risque d'extinction des populations).

Figure 2: Effets et impacts des changements climatiques en Wallonie. Lignes continues : effet fort, Lignes pointillées : effet faible à modéré.



Des synthèses récentes, il apparaît que les modifications phénologiques, entraînant potentiellement les « mismatches » phénologiques, ont beaucoup préoccupé les ornithologues, alors que leurs effets réels sur les populations ont sans doute été surestimés, en comparaison d'autres phénomènes liés aux modifications des ressources (PEARCE-HIGGINS & GREEN, 2014). Peut-être est-ce dû à la grande visibilité, par tous, tout autour de nous, de modifications phénologiques spectaculaires ?

Il est clair que les recherches visant à décrypter les liens entre l'évolution de l'avifaune et les modifications climatiques ont encore de beaux jours devant elles, vu le caractère indéniable des changements en cours. Certains concepts actuels devront pourtant encore être précisés, voire être remis à leur juste place.

En résumé, il semble que les changements observés jusqu'à ce jour ne constituent qu'une menace mineure pour l'avifaune des régions tempérées. Toutefois, la complexité des mécanismes à l'œuvre, l'incertitude quant à l'ampleur des changements futurs, la difficulté d'appréhender les effets retards, mais surtout les effets cumulatifs avec d'autres menaces particulièrement exacerbées dans notre environnement extrêmement anthropisé, incitent à la plus grande prudence lorsqu'il s'agit de prévoir l'avenir (PEARCE-HIGGINS & GREEN, 2014).

Conservation dans un contexte de changements climatiques

En l'état actuel des choses, les stratégies de conservation actuelles restent les plus pertinentes, à savoir gérer les milieux et les paysages afin d'améliorer la qualité de l'habitat, en réduisant l'impact des menaces actuelles sur les espèces afin d'améliorer leurs chances de survie. Toutefois, cette approche pourrait être insuffisante dans le cas où nous serions confrontés à des modifications climatiques de grande ampleur.

- Augmenter la taille et la qualité des aires protégées, mais aussi la connectivité des habitats semi-naturels.
- Diminuer autant que possibles les menaces non climatiques pour compenser autant que possible les effets négatifs des changements climatiques.
- Mettre en œuvre des politiques visant à limiter les changements climatiques.

Choix énergétiques et conservation de l'avifaune

En ce qui concerne la mise en œuvre de politiques visant à limiter les changements climatiques, nos choix énergétiques futurs devront être particulièrement réfléchis afin qu'ils ne constituent pas une nouvelle menace à laquelle sera confrontée l'avifaune (BIRDLIFE EUROPE, 2011). La majorité des mesures mises en œuvre jusqu'ici afin de réduire la dépendance aux énergies fossiles présentent certains impacts négatifs sur l'avifaune. C'est particulièrement le cas de tous les choix énergétiques qui nécessitent de vastes surfaces, si elles provoquent la conversion d'habitats naturels (hydroélectricité) ou entraînent d'importantes mortalités d'oiseaux (éoliennes, biocarburants). Malheureusement, les énergies les moins chères (bioénergie) sont également les moins efficaces en terme d'énergie produite par unité de surface, et sont dès lors potentiellement les plus dévastatrices, car elles requièrent la conversion d'une superficie plus importante à la production agricole intensive. A l'inverse, l'énergie solaire, qui est aussi celle qui demande la surface la moins importante et qui est la moins dommageable pour l'avifaune, est malheureusement celle qui nécessite l'investissement de base le plus important.

5. Deuxième partie : élaboration d'indicateurs de l'impact des changements climatiques sur l'avifaune en Wallonie

5.1. Liste des indicateurs potentiels pour la Wallonie

Revenons sur le schéma des effets et des impacts en y détaillant les indicateurs (Figure 3 et Tableau 2) potentiellement applicables en Wallonie, en fonction de la disponibilité des données.

Figure 3 : Effets et impacts des changements climatiques en Wallonie et indicateurs potentiels

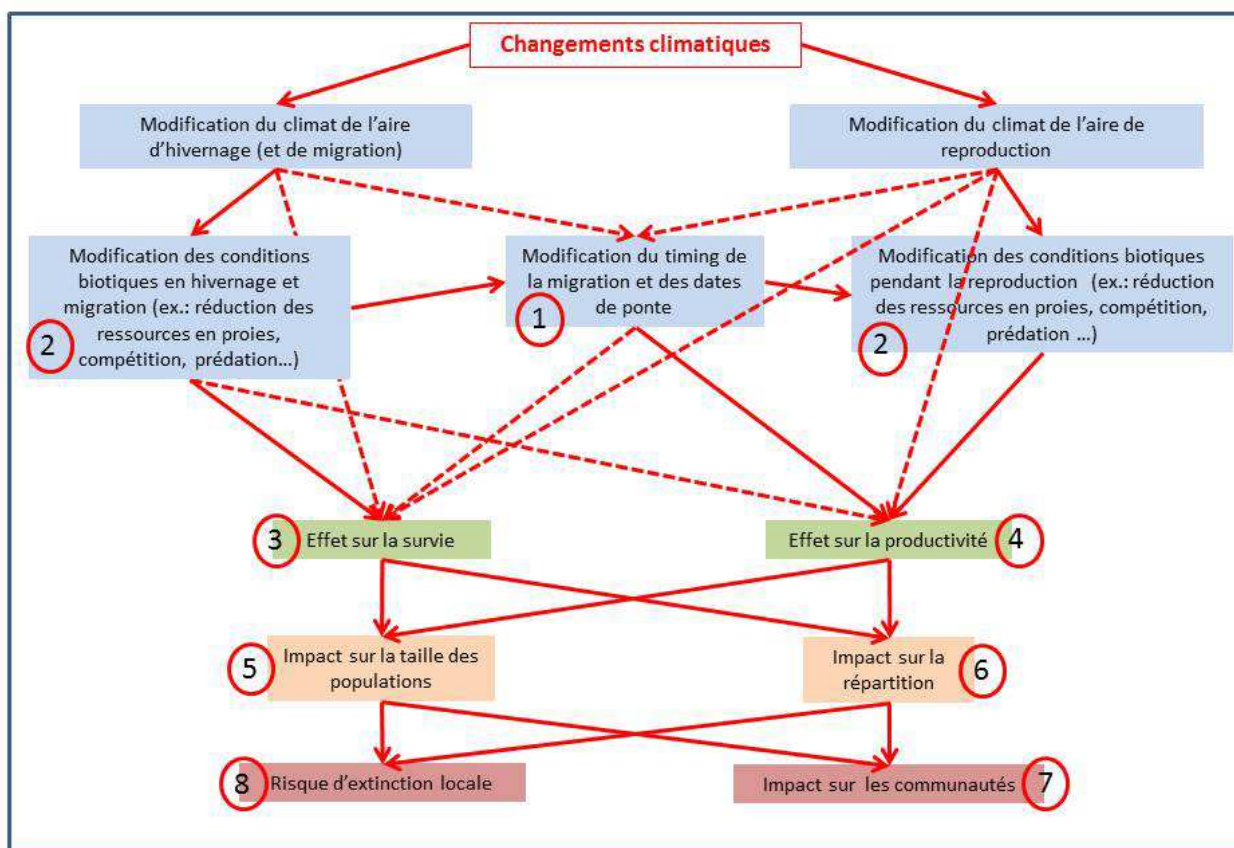


Tableau 2 : indicateurs potentiels des changements climatiques sur l'avifaune en Wallonie

N° Figure 3	Concerne	Données disponibles	Remarques
1	Modification de la phénologie de la migration pré-nuptiale (retour) et post-nuptiale, phénologie de la reproduction et de la mue	1966-2014, données d'occurrence « courante » Depuis 2008, données de migration standardisée (trektellen)	Manque de données précises sur les données démographiques ! (cfr. Nest Record Scheme en GB)
2	Mismatch – phénologie des ressources	Non disponible chez Aves	Manque de données sur des ressources-clés (feuillaison, cycle des rongeurs, chenille défoliatrice...)
3 et 4	Impact des conditions climatiques sur la démographie des espèces	Longue série de données de suivis de population à mettre en relation avec les variables climatiques. Données courantes et suivis d'oiseaux d'eau sur l'hivernage des espèces.	Manque d'une longue série de données concernant la productivité et la survie. Pas de données standardisées sur les oiseaux terrestres en hiver.
5	Évolution des populations selon leur sensibilité aux CC	Suivis des oiseaux communs depuis 1990:	Calcul d'un indicateur d'impact des changements climatiques

6	Expansion / régression d'espèces	tendances à long terme Comparaison des atlas de répartition 1973-1977 / 2001-2007 et données rapportages	(GREGORY <i>ET AL.</i> , 2009a) Manque pour la période hivernale
7	Modification des communautés d'espèces	Suivis des oiseaux communs 1990-2013 : analyse basée sur la station	Indice de t° des communautés (DEVICTOR <i>ET AL.</i> , 2008) Indice de spécialisation des communautés ((LE VIOL <i>ET AL.</i> , 2012)
8	Risque d'extinction / stratégie de conservation	Données sur le statut des espèces et leurs sensibilités aux CC	Évaluation du risque pour chaque espèce, en complément à la Liste Rouge

Si l'élucidation détaillée des mécanismes d'action du changement climatique demande souvent de se focaliser sur une espèce particulière prise comme modèle, le suivi des effets sur les populations peut mettre à profit les différents systèmes de monitoring à long terme des populations à travers l'Europe.

5.2. Brève présentation des données existantes pouvant être mises à profit pour le calcul d'indicateurs climatiques

La Surveillance des Oiseaux Communs en Wallonie par points d'écoute (SOCWAL)

Le programme de surveillance de l'avifaune nicheuse commune par les relevés en poste fixe (souvent simplement abrégé par « les Points d'écoute ») a été initié en 1990 dans le cadre de conventions entre la Région Wallonne et l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, sur base d'un travail méthodologique préparatoire (LEDANT *ET AL.*, 1988). Depuis 1996, il est organisé par Aves en collaboration avec la Région wallonne dans le cadre de « l'Inventaire et la Surveillance de la Biodiversité en Wallonie »¹ et s'ajoute donc aux autres suivis à long terme de l'ensemble de l'avifaune nicheuse régionale (atlas, monitoring des espèces rares et coloniales...). La saison de terrain 2014 constituait la vingt-cinquième année des relevés. Les variations d'effectifs pour les populations des oiseaux les plus abondants sont souvent difficiles à percevoir, alors que la compréhension de ces changements est cruciale dans le cadre du suivi de l'évolution de la biodiversité. C'est pourquoi la plupart des pays européens ont mis en place des systèmes d'échantillonnage qui permettent d'établir des indices d'évolution des populations d'oiseaux nicheurs communs et répandus.

En Wallonie, l'échantillonnage consiste en relevés ponctuels d'une durée de cinq minutes à répéter au printemps d'année en année, en principe par le même observateur, dans des conditions semblables de date, heure et météo. Les points d'observation fixes de 5 minutes sont organisés en « chaînes » de 10 à 15 points parcourus en une matinée. Les relevés sont souvent réalisés à deux reprises sur chaque point, avec un premier passage entre le 20 mars et le 30 avril et un second entre le 1er mai et le 20 juin. Les chaînes qui ne font l'objet que d'un unique passage (hâtif ou tardif) sont également prises en compte dans l'analyse. Un indice annuel d'abondance est calculé à partir de ces relevés pour les espèces qui fournissent suffisamment d'informations. Pour une explication détaillée sur la méthode et les tendances par espèce, nous renvoyons le lecteur vers l'analyse détaillée précédente, qui concernait la période 1990-2009 (PAQUET *ET AL.*, 2010b)². Au terme de la vingt-troisième année des relevés (2012), une nouvelle analyse des tendances a été menée sur le jeu de données (3945 points unitaires). Des tendances des populations ont ainsi pu être calculées pour 78 espèces. Ce suivi ne concerne donc qu'environ la moitié des espèces rencontrées comme nicheuses en Wallonie mais plus de 96 % des oiseaux nicheurs en termes d'abondance des individus.

À partir des tendances spécifiques, des indicateurs multispécifiques peuvent être construits en combinant les tendances spécifiques suivant la préférence d'habitat des oiseaux qui le composent (GREGORY & STRIEN, 2010). Les indicateurs 1990-2012 pour la Wallonie sont illustrés à la Figure 4. Dans ces indicateurs,

¹ voir <http://biodiversite.wallonie.be/fr/SOCWAL.html?IDC=3730>

² Article téléchargeable ici : [http://www.aves.be/index.php?id=article_bulletin&tx_natbulletin_pi1\[uid\]=1339](http://www.aves.be/index.php?id=article_bulletin&tx_natbulletin_pi1[uid]=1339)

chaque espèce, quelle que soit son abondance relative, apporte la même contribution. Ces indicateurs représentent l'état de l'avifaune, qui varie éventuellement suivant les grands types d'habitat, mais ne permettent pas vraiment de connaître l'impact d'un facteur particulier dans les évolutions décrites.

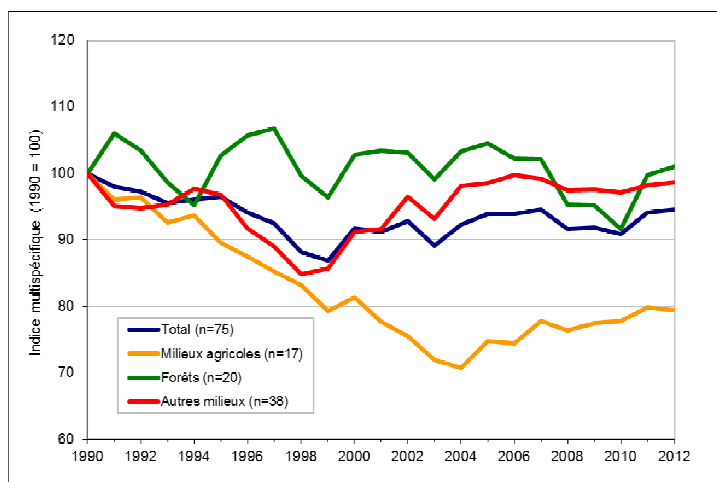


Figure 4 : Indicateurs multi-spécifiques des oiseaux communs pour la Wallonie. L'indicateur global a diminué de 10 % pendant les années 1990 avant de se stabiliser. L'indicateur des milieux agricoles montrent une chute plus prononcée jusqu'en 2004, avant une apparente stabilisation récente. Les oiseaux des milieux forestiers composent un indicateur globalement stable, mais cachant des forts déclin et des augmentations.

Les atlas des oiseaux nicheurs

En Wallonie, deux atlas des oiseaux nicheurs ont été réalisés : le premier, qui concernait la Belgique, a été réalisé de 1973 à 1977 (DEVILLERS *ET AL.*, 1988), le second, concernant uniquement la Wallonie, couvre la période 2001-2007 (JACOB *ET AL.*, 2010a). Pour le second atlas, les données ont été récoltées à diverses échelles spatiales, mais seules les données récoltées à l'échelle principale peuvent servir de base à une comparaison avec l'atlas précédent. Un total de 514 unités d'échantillonnage de 5X8 km permet de couvrir l'ensemble du territoire wallon. L'abondance des espèces nicheuses a été estimée dans chaque unité, sur base de 9 classes d'abondance. Pour permettre la comparaison avec les données de l'atlas 73-77, dont la maille étaient de surface double soit 10X8 km, les unités d'échantillonnage ont été regroupées par 2 et les unités limitrophes avec la Flandre ont été exclues. La moyenne des classes d'abondance a été utilisée pour comparer les abondances entre deux périodes.

Les données courantes

Depuis de nombreuses années, les observateurs sont particulièrement encouragés à participer aux enquêtes de terrain de la centrale ornithologique, comme les atlas des oiseaux nicheurs, les programmes de surveillance des oiseaux communs, les recensements hivernaux des oiseaux d'eau ou encore les suivis de la migration à poste fixe. À la différence des données issues de ces projets ciblés, les observations « courantes », sont récoltées d'une manière non standardisée, au hasard des sorties sur le terrain des ornithologues amateurs et en fonction de leur volonté d'enregistrer telle ou telle observation plutôt qu'une autre. On qualifie d'ailleurs ces données d'« opportunistes » (« opportunistic observations » en anglais) ou encore d'« observations courantes », voire de « loose observations » (littéralement: « en vrac »). Les observations courantes ont parfois été négligées par les scientifiques, qui leur préfèrent généralement des données récoltées d'une manière standardisée. Cependant, il apparaît aujourd'hui qu'une exploitation poussée de ces volumineuses banques de données est non seulement possible, mais nécessaire, si l'on souhaite appréhender pleinement les changements globaux de la biodiversité.

La banque de données des observations courantes de la Centrale Ornithologique Aves rassemble et organise les données issues des observations quotidiennes de centaines d'ornithologues amateurs. Plus de 1,8 millions de données ont ainsi été accumulées, tout d'abord à partir des rapports mensuels

d'observations, puis, depuis 2008, via des portails de saisie en ligne dont le plus utilisé est « observations.be ». Une partie des données d'avant 1989 n'est encore disponible que sous la forme de fiches manuscrites, en cours de digitalisation. Les données transmises par les portails d'encodage en ligne sont non seulement beaucoup plus nombreuses qu'avant la mise en place de ces outils (environ 300.000 par an).

Les données courantes et leurs évolutions récentes ont été décrites en détails dans un récent article du Bulletin Aves (PAQUET *ET AL.*, 2013).

Les suivis de la migration visible

Depuis plusieurs années, le passage visible des migrateurs diurnes (Pinson des arbres, Pigeon ramier, pipits, bergeronnettes, etc.) est suivi de manière relativement standardisée à partir de postes fixes d'observations (PAQUET & DUJARDIN, 2010). En Wallonie, depuis 2005, 46 postes d'observations ont mené ensemble plus de 6300 heures de suivis, totalisant plus de 2.550.000 oiseaux (ces comptages concernent environ 75 espèces). Ces données sont entièrement récoltées par des observateurs bénévoles et sont encodées au travers d'un portail dédié (www.trektellen.org).

Dans le cadre de ce travail, il était prévu que nous analysions la base de données trektellen dans l'optique de la modification des phénologies des passages au cours des années. Cependant, une analyse préliminaire des données nous a montré que l'intensité des suivis était hétérogène en fonction de la période migratoire : les observateurs focalisent leur activité d'observation au moment du passage le plus numériquement spectaculaire (soit de début octobre à début novembre pour la migration visible à l'intérieur des terres). Par contre, la structure des données facilite la quantification du passage (exemple à la Figure 5). À terme, et en particulier si les recommandations que nous émettons plus loin sont appliquées, il devrait être possible de mesurer d'éventuel glissement phénologique du passage postnuptial d'une manière plus univoque qu'avec les données courantes (comme nous tentons de le faire plus loin).

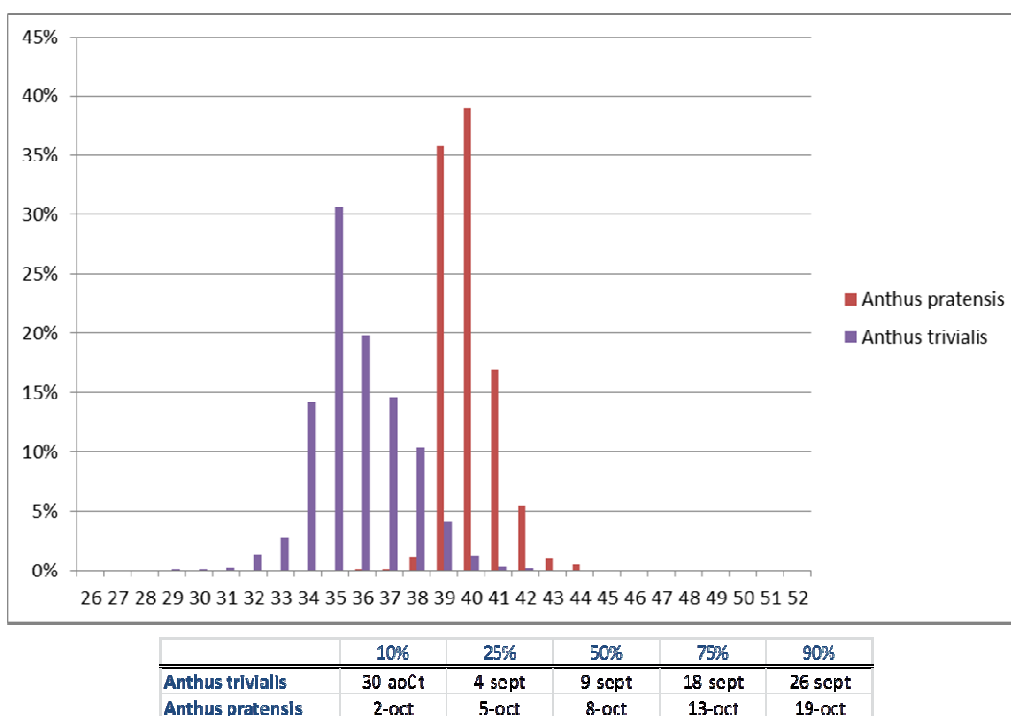


Figure 5 : Exemple de calcul de phénologie de passage postnuptial de deux motacillidés, le Pipit farlouse *Anthus pratensis* et le Pipit des arbres *Anthus trivialis*, en Wallonie, selon les données de trektellen. Les pourcentages sont calculés à partir des nombres totaux observés entre 2008 et 2013 et donnent donc le passage moyen pour cette période (en fonction de la semaine). Le tableau du bas indique les percentiles (date à laquelle un certain pourcentage du total des oiseaux observés est atteint).

5.3. Analyse exploratoire des modifications de la phénologie des espèces migratrices au travers des données courantes

Les dates d'arrivée et de départ des oiseaux migrateurs dans leur territoire de reproduction est un phénomène suivis par les ornithologues depuis le 18^{ème} siècle dans certains pays d'Europe (LEHIKONEN *ET AL.*, 2004). Souvent, les observations rassemblées par l'ensemble des ornithologues amateurs couvrent de longues périodes temporelles, comme en Wallonie (voir 5.2), et sont donc mises à profit pour détecter d'éventuelles modifications à long termes de la phénologie des migrateurs. Cependant, de nombreux biais peuvent intervenir avec ces données, en particulier car la pression d'observation n'est pas constante au cours du temps (PAQUET *ET AL.*, 2013) et aussi parce que l'effectif des espèces considérées n'est pas constant. Si une espèce augmente ses effectifs, il y a plus de probabilité d'observer des individus arrivant tôt au printemps, même si la date moyenne des retours n'a pas changé.

Pour tenter de contourner ces difficultés, nous avons choisi d'explorer les données historiques d'Aves par l'intermédiaire de courbes cumulées de données (HERREMANS, 2014). Le principe est le suivant : pour chaque année d'observation, on fixe une date où l'on estime que tous les migrateurs d'une espèce sont rentrés. Le nombre de données obtenues (ou le nombre total d'individus renseignés) à cette date est prise comme 100 % et la proportion de données cumulées par rapport à ce 100% est calculée pour chaque jour qui précède. De cette manière, il y a en principe moyen d'évaluer la « vitesse de saturation », donc de retour des oiseaux, indépendamment du nombre total de mention ou d'oiseaux comptabilisés. Nous avons ensuite établi, pour chaque année, la date médiane de migration, qui correspond à la date à laquelle 50% des oiseaux ont été observés.

La Figure 6 montre le retour printanier de la Grue en Wallonie pour certaines années. 1998 et 2005 constituent en quelque sorte des années extrêmes : ce sont les années où la migration a été la plus précoce et la plus tardive. La courbe moyenne montre que la moitié du passage est observé, en moyenne, autour du 8 mars (68^{ème} jour Julien).

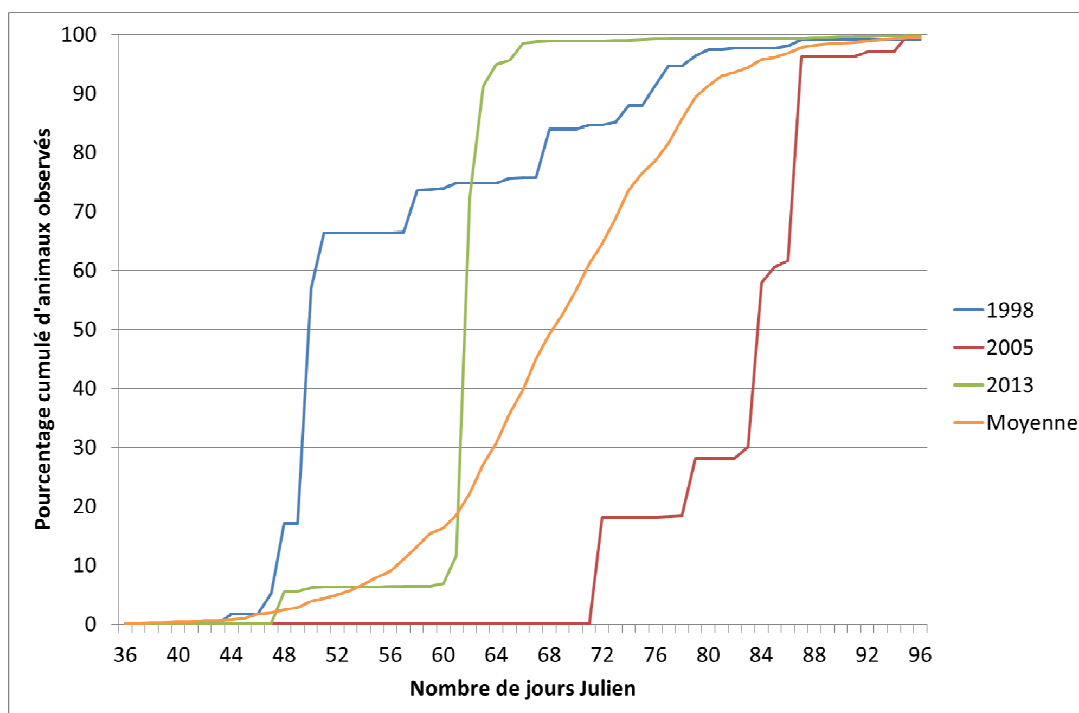


Figure 6 : Courbes cumulées du passage prénuptial de la Grue cendrée *Grus grus* en Wallonie, pour l'année la plus hâtive, la plus tardive (2005), pour la dernière année considérée (2013) ainsi que la moyenne pour la période 1966-2013.

La relation entre l'année et la date à laquelle 50% de l'effectif total a été observé peut être caractérisée par une courbe de tendance, dont la pente permet de caractériser l'évolution : une pente négative

correspond à un avancement de la date de migration, tandis qu'une pente positive correspond à un recul du percentile 50. La Figure 7 montre cette relation pour le passage prénuptial de la Grue cendrée. Pour la période 1966-2013, on remarque une tendance à l'avancement de la date moyenne de migration de l'ordre d'un jour tous les 4 ans. Toutefois une analyse plus approfondie montre que cette évolution n'est pas constante : pour la période 1966-1990, on observe un léger recul de la date de migration car la pente de la courbe de tendance pour cette période est de 0,0584 ($r^2=0,0085$). Il en va de même pour la période 1991-2013, la pente de la courbe de tendance est de 0,081 ($r^2=0,0057$). Il y a donc eu un saut brutal dans la période de migration entre ces deux périodes, qui coïncide remarquablement avec l'augmentation significative des températures (1°C) observée à la fin des années 80.

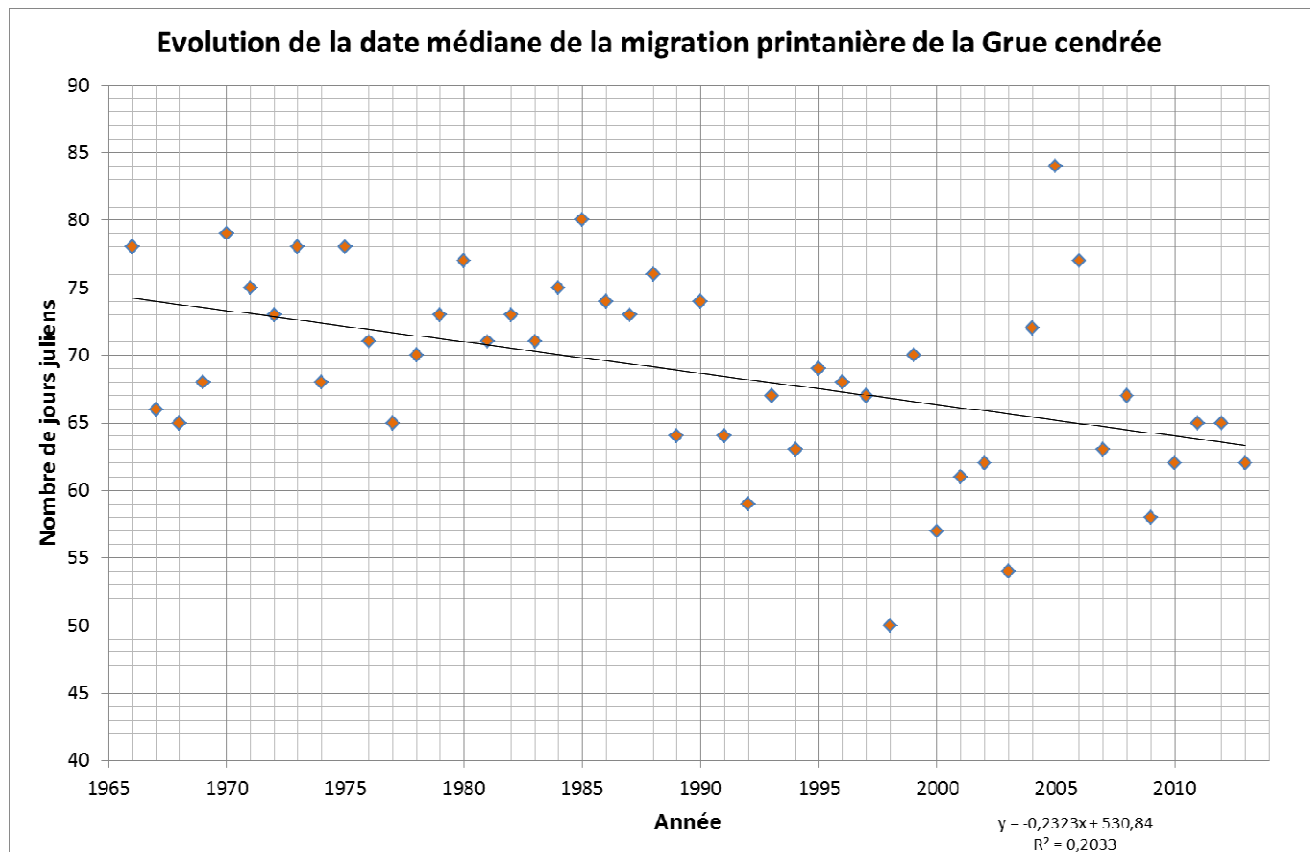


Figure 7 : Evolution de la date médiane de migration de la Grue cendrée en Wallonie, sur base des observations courantes

A titre exploratoire, nous avons réalisé cette analyse pour une douzaine d'espèces, tant pour les migrations prénuptiales que postnuptiales. Les résultats sont présentés dans le Tableau 3.

Pour la migration prénuptiale, les données courantes permettent de mettre en évidence un avancement des dates de migration, mais uniquement dans le cas de figure où la Wallonie n'abrite pas de population nicheuse aux effectifs significatifs en comparaison avec les populations nordiques. Il n'y a toutefois aucune raison que les dates de retour de nos populations nicheuses ne soient pas affectées par les changements climatiques comme celles des autres populations européennes, mais en l'état actuel de la banque de données, il semble délicat de mettre ce changement en évidence. D'une part, la distinction entre les données de nicheurs et migrants est malaisée, d'autre part, l'avènement des portails d'encodage en ligne a indéniablement transformé la manière dont les observateurs communiquent leurs données de nicheurs commun, en encourageant la récolte de ces données lors de chacune de leurs sorties, tandis que précédemment, seules les données remarquables (p.ex. celles des premiers arrivants ou de concentrations remarquables) étaient consignées.

Pour la migration postnuptiale, il est possible de mettre en évidence un recul de la date médiane de migration pour un peu plus de la moitié des espèces analysées. Certaines espèces paraissent toutefois avancer leurs dates de migration, ce qui n'est pas tout à fait illogique, car une arrivée plus précoce sur

les territoires de reproduction induit une fin plus précoce de la période de reproduction, du moins pour les pour les espèces ne réalisant qu'une seule nichée. Des biais liés au mode de transmission des données, comme évoqué ci-dessus, pourraient également influencer les analyses. Il en va de même pour la « mode ornithologique » : depuis quelques années, la recherche du pluvier guignard par de nombreux ornithologues pendant les trois semaines sur lesquelles s'étale sa migration, conduit certainement à l'accroissement de la proportion relative de données de quelques espèces affectionnant les plaines agricoles à ces périodes. Ce biais agit probablement dans le cas du traquet motteux et du busard des roseaux, pour lesquels les tendances 1990-2008 et 1990-2013 s'inversent...

En conclusion, malgré le caractère évident des changements dans la phénologie aviaire, le développement d'un indicateur de la phénologie de la migration pour la Wallonie ne paraît pas particulièrement opportun, en tout cas à partir des données d'observations courantes. D'une part, ce développement se heurte à des problèmes techniques et des biais méthodologiques, d'autre part, sa pertinence à l'échelle wallonne est questionnable puisque l'analyse bibliographique a montré que ce n'est pas à ce niveau qu'il faut chercher les principales perturbations liées au changement climatique pour l'avifaune des zones tempérées. Toutefois, comme déjà dit plus haut, les modifications de la phénologie restent une des phénomènes les plus « évocateurs » pour le grand public lorsqu'on souhaite aborder la problématique des changements biologiques induits par le climat.

Tableau 3 : Modification des dates de migration pour quelques espèces de l'avifaune wallonne.

				Modification de la date médiane de migration (jours/an). Valeur négative = avancement; valeur positif = retard		r ²
Saison	Statut	Espèce	période			
Printemps	Non nicheurs (ou nicheurs rares)	Cigogne blanche	1988-2014	-2,0153	0,4705	
		Oie cendrée	1990-2013	-0,3409	0,0773	
		Grand gravelot	1990-2013	-0,2970	0,0722	
		Traquet motteux	1990-2013	-0,2661	0,1200	
		Grue cendrée	1966-2013	-0,2323	0,2033	
		Gobemouche noir	1967-2013	-0,0903	0,0503	
		Chevalier guignette	1991-2013	-0,0741	0,0328	
		Busard des roseaux	1981-2013	-0,0628	0,0146	
		Tarier des prés	1980-2013	-0,0458	0,0057	
	Nicheurs	Pipit farlouse	1990-2013	0,4861	0,0882	
		Pigeon ramier	1990-2013	0,4769	0,0644	
		Tarier pâtre	1990-2013	0,1113	0,0178	
Automne		Cigogne blanche	1988-2013	0,5053	0,0515	
		Grue cendrée	1966-2013	0,1563	0,0236	
		Chevalier guignette	1990-2013	0,1830	0,0418	
		Traquet motteux	1990-2008	0,1649	0,0376	
		<i>Traquet motteux</i>	1990-2013	-0,0243	0,0015	
		Pipit farlouse	1990-2013	0,1448	0,0655	
		Busard des roseaux	1990-2008	0,0679	0,0089	
		<i>Busard des roseaux</i>	1990-2013	-0,1634	0,0618	
		Alouette lulu	1990-2013	0,0661	0,0207	
		Grand gravelot	2000-2013	-0,0462	0,0007	
		Gobemouche noir	1967-2013	-0,0700	0,0268	
		Tarier des prés	1980-2013	-0,1931	0,1529	
		Pigeon ramier	1990-2013	-0,2343	0,0712	
		Oie cendrée	1990-2013	-0,3296	0,0469	

5.4. Analyse exploratoire de l'influence de la météo hivernale sur les tendances des espèces

Nous avons tenté de mettre en relation les variations interannuelles des populations établies par les points d'écoute avec quelques variables météorologiques hivernales, afin de vérifier si nos populations résidentes ou celles hivernant à proximité de nos régions sont effectivement favorisées par des hivers doux (cfr. § 4.2 Modification du climat des zones d'hivernage)

Deux paramètres ont été envisagés : le nombre de jours gel de l'hiver précédent et la température minimale moyenne de l'hiver précédent. Les résultats sont présentés dans le

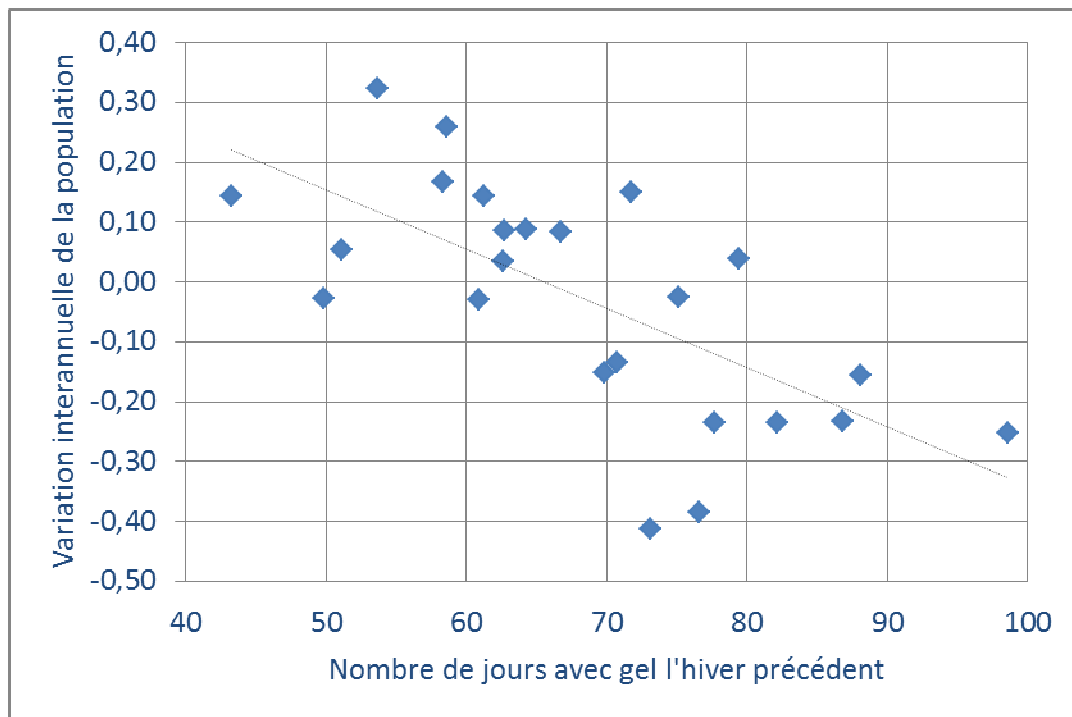
Tableau 4 et le Tableau 5.

Du point de vue du nombre de jour de gel (cfr.

Tableau 4), les populations de 13 des 15 espèces considérées semblent affectées négativement par le nombre de jours de gel. Les populations de 2 espèces sont favorisées par le nombre de jour de gel (Moineau friquet et Grive litorne). La

Figure 8 montre la relation entre le jour de gel et les fluctuations des populations de Troglodyte.

Figure 8 : Relation entre la variation interannuelle de la population de Troglodyte mignon et le nombre de jours avec gel lors de l'hiver précédent



La température journalière minimale moyenne lors de l'hiver influence favorablement les populations de toutes les espèces pour lesquelles la relation est la plus forte (cfr. Tableau 5). Au travers des deux paramètres considérés, on peut donc conclure à l'influence positive des hivers doux sur les espèces migratrices ou sédentaires.

Tableau 4 : Relation entre le nombre de jours de gel lors de l'hiver et les tendances de 15 espèces sédentaires ou migrant sur de courtes distances. Les espèces avec la corrélation la plus forte sont présentées.

Nom latin	Nom français	R	R ²	Indice de t° spécifique	Statut migrateur / sédentaire
<i>Troglodytes troglodytes</i>	Troglodyte mignon	-0,6711	0,4504	12,2735205	Sédentaire
<i>Phylloscopus collybita</i>	Pouillot véloce	-0,4944	0,2444	11,9469263	Migrateur
<i>Parus cristatus</i>	Mésange huppée	-0,4772	0,2277	11,7676616	Sédentaire
<i>Erithacus rubecula</i>	Rouge-gorge familier	-0,4645	0,2158	12,0664942	Sédentaire
<i>Regulus ignicapillus</i>	Roitelet triple bandeau	-0,3699	0,1368	13,5250994	Migrateur
<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	Bouvreuil pivoine	-0,3693	0,1363	10,7941263	Sédentaire
<i>Turdus merula</i>	Merle noir	-0,3657	0,1337	12,625229	Sédentaire
<i>Sturnus vulgaris</i>	Etourneau sansonnet	-0,3630	0,1318	11,7937426	Sédentaire
<i>Passer montanus</i>	Moineau friquet	0,3280	0,1076	13,147481	Sédentaire
<i>Columba oenas</i>	Pigeon colombin	-0,3263	0,1065	12,3559387	Sédentaire / Migrateur
<i>Turdus pilaris</i>	Grive litorne	0,3237	0,1048	10,0478089	Migrateur
<i>Sitta europaea</i>	Sitelle torchepot	-0,3212	0,1031	12,8431916	Sédentaire
<i>Sylvia atricapilla</i>	Fauvette à tête noire	-0,3172	0,1006	12,6652043	Migrateur
<i>Alauda arvensis</i>	Alouette des champs	-0,3061	0,0937	12,221343	Migrateur
<i>Perdix perdix</i>	Perdrix grise	-0,3048	0,0929	12,838285	Sédentaire

Tableau 5 : Relation entre la moyenne de la température journalière minimale moyenne lors de l'hiver et les tendances de 15 espèces sédentaires ou migrant sur de courtes distances. Les espèces avec la corrélation la plus forte sont présentées.

Nom latin	Nom français	R	R ²	Indice de t° spécifique	Statut migrateur / sédentaire
<i>Fringilla coelebs</i>	Pinson des arbres	0,5685	0,3232	12,3830579	Sédentaire
<i>Motacilla alba alba</i>	Bergeronnette grise	0,5026	0,2526	12,0395036	Migrateur
<i>Dendrocopos major</i>	Pic épeiche	0,4887	0,2389	12,1353651	Sédentaire
<i>Prunella modularis</i>	Accenteur mouchet	0,4290	0,1841	10,9583922	Sédentaire
<i>Turdus philomelos</i>	Grive musicienne	0,4232	0,1791	11,387716	Sédentaire / Migrateur
<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	Bouvreuil pivoine	0,4168	0,1738	10,7941263	Sédentaire
<i>Sitta europaea</i>	Sitelle torchepot	0,4003	0,1602	12,8431916	Sédentaire
<i>Parus montanus</i>	Moineau friquet	0,3847	0,1480	13,147481	Sédentaire
<i>Phoenicurus ochruros</i>	Rougequeue noir	0,3731	0,1392	13,3923191	Migrateur
<i>Parus cristatus</i>	Mésange huppée	0,3592	0,1290	11,7676616	Sédentaire
<i>Parus major</i>	Mésange charbonnière	0,3585	0,1285	12,4305035	Sédentaire
<i>Parus caeruleus</i>	Mésange bleue	0,3584	0,1285	12,7837169	Sédentaire
<i>Saxicola torquata</i>	Tarier pâtre	0,3537	0,1251	14,1445938	Migrateur
<i>Sturnus vulgaris</i>	Etourneau sansonnet	0,3370	0,1136	11,7937426	Sédentaire / Migrateur
<i>Garrulus glandarus</i>	Geai des chênes	0,3138	0,0984	12,507941	Sédentaire / Migrateur

5.5. Indicateur de l'évolution climatique des communautés d'espèces

Comme nous l'avons expliqué au point 4.7, la modification des communautés d'espèces, c'est-à-dire des assemblages d'espèces au sein d'un habitat ou d'une unité géographique, constitue un des phénomènes les plus tangibles d'une influence des changements climatiques sur l'avifaune. Mais comment mesurer ces modifications en établissant dans le même temps un lien avec les changements climatiques ?

Une méthode simple est d'utiliser « l'index spécifique de température » (STI), propre à chaque espèce, qui se calcule par la moyenne des températures moyennes d'une espèce sur toute son aire occupée, pendant la période de reproduction (DEVICTOR *ET AL.*, 2008). Ainsi, le STI (en clair, la température moyenne de l'aire de reproduction) pour le Sizerin flammé *Carduelis flammea* est 8,236 °C alors qu'il est de 9,928 °C pour le Pipit farlouse, de 14,154 °C pour le Serin cini *Serinus serinus* et de 15,117 °C pour l'Hypolaïs polyglotte *Hippolais polyglotta*: toutes ces espèces sont en ordre croissant de « méridionalité ». Un indice de température d'une communauté (CTI) peut ensuite être établi en réalisant la moyenne du STI des individus qui la composent (en tenant donc compte de l'abondance de chaque espèce dans la communauté considérée). DEVICTOR *ET AL.* (2008) a ainsi montré une augmentation du CTI à l'échelle de la France, tendance qui a, par la suite, également été mise en évidence au sein de divers pays européens (DEVICTOR *ET AL.*, 2012). En Europe, la modification moyenne du CTI correspond à une remontée vers le nord des communautés d'espèces équivalente à 37 ± 8 km entre 1990 et 2008 (DEVICTOR *ET AL.*, 2012). Nous avons dès lors appliqué cette méthode aux données des points d'écoutes wallons, ainsi qu'aux données des deux atlas des oiseaux nicheurs.

Évolution de l'indice de température des communautés calculé via les points d'écoute

Les points d'écoute réalisés dans le cadre de SOCWAL permettent de « mesurer » l'assemblage des espèces présentes sur chaque point chaque année. Les relevés peuvent en effet être considérés en eux-mêmes comme une « communauté » d'espèce et un CTI peut être calculé pour chaque relevé, en moyennant les STI de chaque individu détecté. Un CTI annuel est ensuite obtenu en calculant la moyenne des CTI des points d'écoute réalisés au cours d'une année. Son évolution est présentée dans la Figure 9. Il montre une légère tendance à la hausse de 0,027°C par décennie, valeur très similaire à la moyenne européenne de 0,026°C calculée par DEVICTOR *ET AL.* (2012).

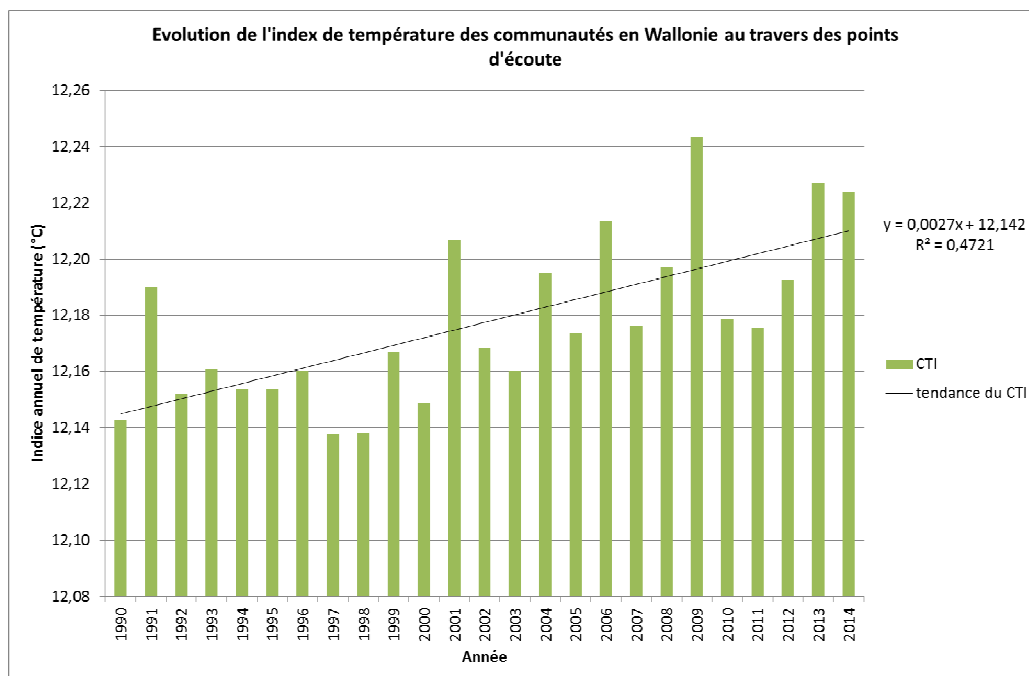


Figure 9 : Evolution de l'index de température des communautés en Wallonie au travers des données des points d'écoute, pour la période 1990 – 2014.

Évolution de l'indice de température des communautés, variation par habitat

Dans un rayon de 150 mètres autour des points d'écoute, nous avons distingué les habitats suivants, sur base d'un examen visuel point par point, sur SIG, des dernières photos aériennes PPNC disponibles (2013-2014) :

- Habitats urbains : présence d'au moins un bâtiment.
- Habitats agricoles : si l'ensemble de l'habitat est de nature agricole.
- Habitats forestiers : si l'ensemble de l'habitat est de nature forestière.
- Lisière : si présence d'habitat forestier et d'habitat agricole, indépendamment de la situation exacte du point d'écoute par rapport à l'interface forêt/milieu agricole
- Milieus ouverts tourbeux : si présence de milieux ouverts tourbeux (hors plantations forestières) en 2013-2014, y compris en situation de lisière.

Certains points peuvent être classés dans d'autres types d'habitats (roselières, carrières, landes, ...) mais vu le nombre réduit de points, ces résultats ne sont pas présentés de manière détaillée.

L'évolution du CTI en dans les grands types d'habitats, est présenté dans la Figure 10 et le Tableau 6. À l'échelle des 25 dernières années, on peut remarquer que le CTI évolue de manière très similaire dans la majorité des milieux considérés, avec toutefois deux cas particuliers.

D'abord, l'évolution atypique du CTI en milieu forestier est probablement liée à des biais d'échantillonnage, en particulier l'ajout de nombreux nouveaux points dans les plantations d'épicéas à partir de 2011. En effet ce milieu, qui était jusqu'alors peu échantillonné, est caractérisé par une avifaune à forte tendance nordique. L'augmentation relative du nombre de points d'échantillonnage en plantations de résineux a donc artificiellement résulté dans une baisse du CTI, mais en analysant l'évolution du CTI pour la période 1995-2010, on constate que la pente est bien comparable à celle des autres milieux.

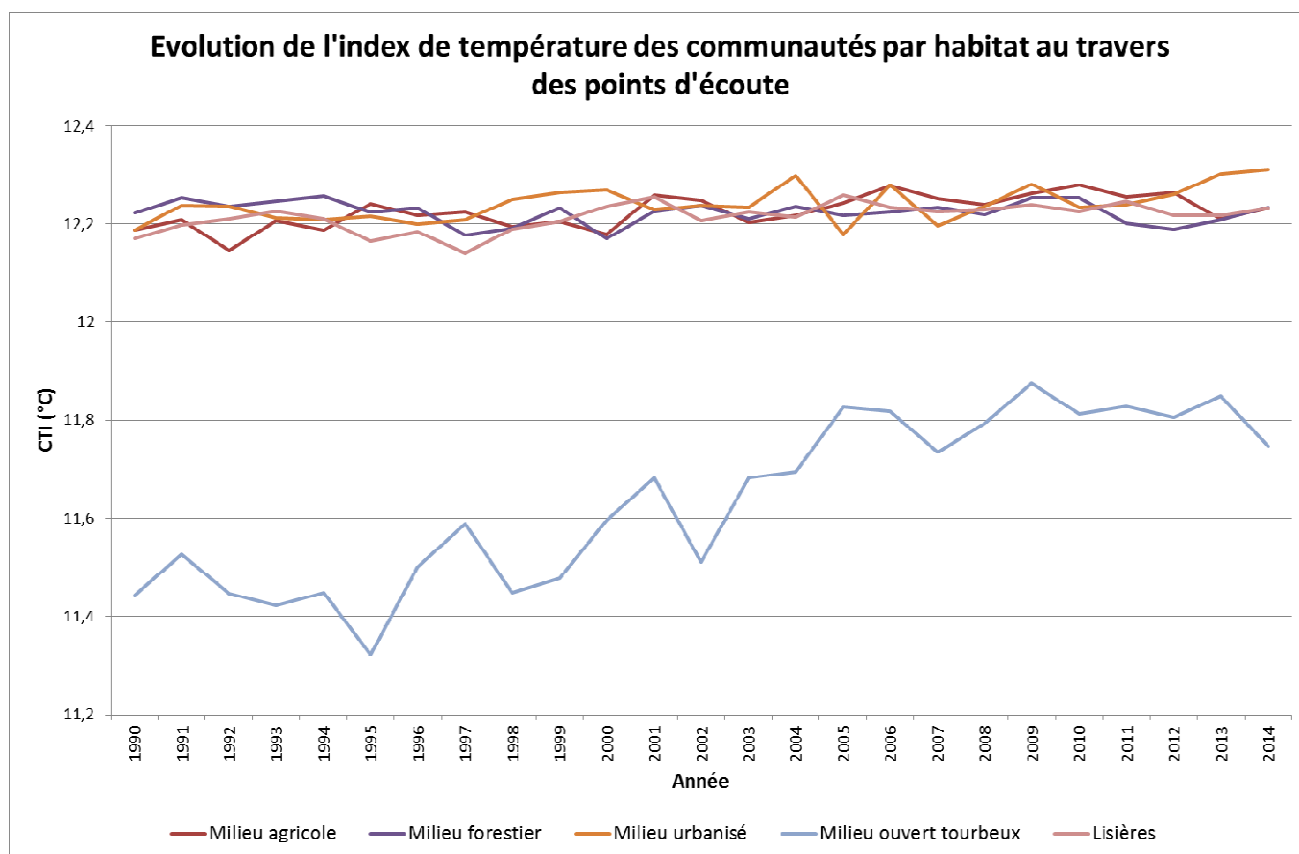


Figure 10 : Evolution de l'index de température des communautés (CTI) par habitat au travers des données des points d'écoute, pour la période 1990 - 2014.

Tableau 6 : Pente de la régression linéaire, r^2 et nombre de points du CTI en fonction des années, par habitat.

Milieu	pente droite régression	r^2	Nb points
Milieu agricole	0,0029	0,4121	761
Milieu forestier	-0,0005	0,0245	693
Milieu forestier (1995 à 2010)	0,0026	0,2588	
Milieu urbain	0,0026	0,2885	1019
Milieu ouvert tourbeux (y compris lisières)	0,0203	0,7836	274
Forêts de Haute Ardenne	0,0288	0,4456	28
Lisières milieux agricoles / forestiers	0,0022	0,3249	863
CTI moyen wallon	0,0027	0,4721	3734

Ensuite, les milieux ouverts sur sols tourbeux des plateaux ardennais sont caractérisés par une forte augmentation du CTI. Cette évolution est-elle liée au désenrésinement ? Malgré un échantillonnage qui est très réduit (en général, de 5 à 10 points d'écoute réalisés par an), on constate une évolution du même ordre de grandeur au sein des peuplements forestiers de Haute-Ardenne (> 500 mètres d'altitude). De plus, le CTI moyen de ces milieux forestiers est de 11,9696 °C, soit une valeur supérieure au CTI moyen des milieux ouverts tourbeux qui est de 11,6351 °C. Par ailleurs, les espèces forestières sont peu représentées dans notre échantillonnage et n'y montrent pas de tendance au déclin. La cause de la hausse du CTI n'est donc, selon nous, pas à chercher dans le désenrésinement. Le Tableau 7 présente les espèces les plus abondantes dans ces milieux qui sont caractérisées par une variation marquée de leurs effectifs. On y constate une diminution des effectifs des espèces à répartition nordique, au profit d'espèces à répartition méridionale. De par leur altitude plus élevée, ces milieux paraissent donc comme étant ceux où l'influence des changements climatiques est la plus marquée.

Tableau 7 : Espèces communes à forte variation de fréquence relative dans les milieux ouverts tourbeux

Espèce	STI (°C)	Nb total animaux observés (1990-2015) dans les milieux ouverts	pente de la droite de régression relative/fréquence *10000
<i>Columba palumbus</i>	12,25841162	1295	15,50469954
<i>Fringilla coelebs</i>	12,38305789	4557	10,8295918
<i>Phylloscopus collybita</i>	11,94692631	1487	14,39813473
<i>Saxicola torquatus</i>	14,14459385	669	11,73188529
<i>Troglodytes troglodytes</i>	12,27352053	1057	12,23947866
<i>Anthus pratensis</i>	9,927789263	1823	-30,0592159
<i>Anthus trivialis</i>	11,26009705	2514	-7,743793668
<i>Cuculus canorus</i>	12,22311264	863	-12,25800538
<i>Phylloscopus trochilus</i>	10,44240225	3680	-32,27331391
<i>Sylvia borin</i>	11,32557116	401	-10,26206255

Évolution de l'indice de température des communautés, variation par écorégion

Nous avons défini six (éco-) régions biogéographiques : région limoneuse, Condroz et Sillon Sambre-Mosan, Fagne-Famenne, Lorraine, Ardenne et Haute-Ardenne, en distinguant ces deux dernières régions par un critère d'altitude (<500m ou > 500m) et recalculé l'évolution des CTI moyens d'après les points d'écoute. Les résultats sont présentés dans la Figure 10 et le Tableau 8.

Une région se distingue particulièrement des autres : la Haute-Ardenne. Cette région comprend un nombre élevé de points dans les milieux ouverts tourbeux, dont nous venons de discuter de la spécificité. Au regard de la spécificité de cette région, force est de constater que la faune des autres régions est fort similaire, tant dans sa température moyenne que dans son évolution (toujours dans le cadre des analyses des points d'écoute SOCWAL).

Tableau 8 : Pente de la régression linéaire, r^2 et nombre de points par région

Région	pente droite régression	r^2	nb points
Ardenne	0,000786462	0,0385	627
Ardenne (95-2010)	0,003484951	0,4057	
Haute-Ardenne	0,014973735	0,7244	318
Condroz et sillon SM	0,002252818	0,2384	731
Fagne Famenne	0,00302898	0,3398	560
Lorraine	0,000988875	0,0215	231
région limoneuse	0,001985558	0,1094	1267
CTI moyen wallon	0,002709036	0,4721	3734

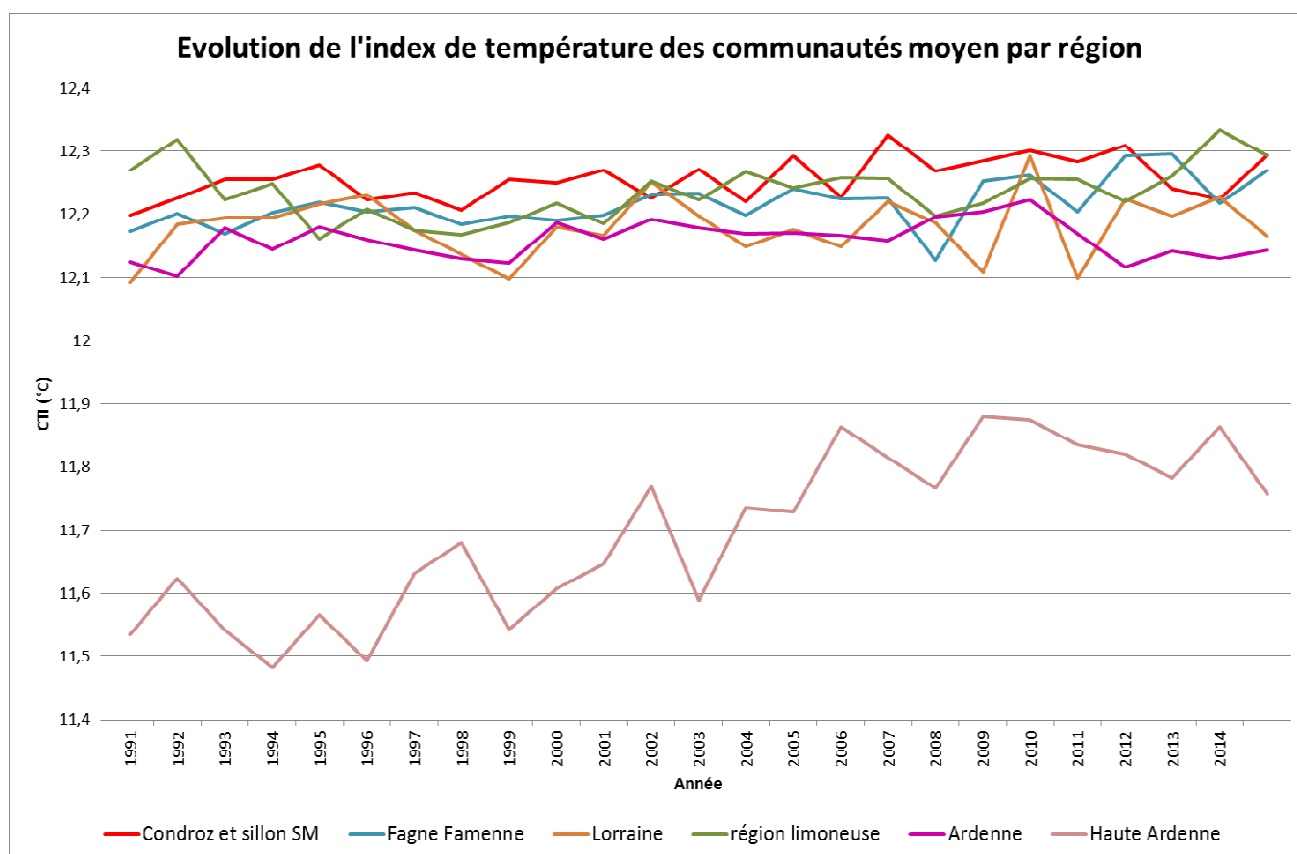


Figure 11 : Evolution de l'index de température des communautés par région au travers des données des points d'écoute, pour la période 1990 - 2014.

Évolution du CTI entre les deux atlas des oiseaux nicheurs

La comparaison des CTI calculés pour chacune des unités de la maille et comparés entre les deux atlas des oiseaux nicheurs montre également une tendance au réchauffement hautement significative (t-student pairé, $p < 0,001$) de $+0,0497\text{ }^{\circ}\text{C}$, soit $0,0017\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{an}$. Le CTI moyen de l'atlas 73-77 équivaut à $12,215^{\circ}\text{C}$, tandis que le CTI moyen par carte de l'atlas 2001-2007 équivaut à $12,265\text{ }^{\circ}\text{C}$ (cfr Figure 12).

Le réchauffement observé entre les deux atlas serait donc proportionnellement moins important que celui qui est calculé au travers des points d'écoute, mais il convient de souligner que la différence entre les deux calculs est peut-être causée par des biais méthodologiques, d'une part dans la différence d'effort de recherche entre les 2 travaux, d'autre part dans les difficultés liées à l'estimation de taille de population des espèces communes, dont la contribution à la construction du CTI est essentielle. C'est ainsi que, pour le premier atlas, certaines cartes montrent un CTI hautement anormal par rapport aux cartes voisines (Figure 13) tandis que le second atlas (Figure 14) montre plus d'homogénéité de ce point de vue. La Figure 15 montre pour chaque carte, les variations de l'indice de température des communautés entre les deux atlas des oiseaux nicheurs.

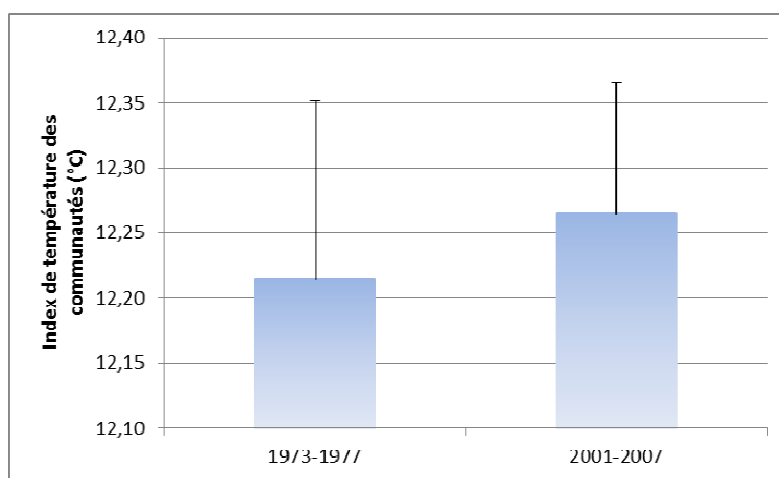


Figure 12 : Index de température des communautés en 1973-1977 et en 2001-2007.

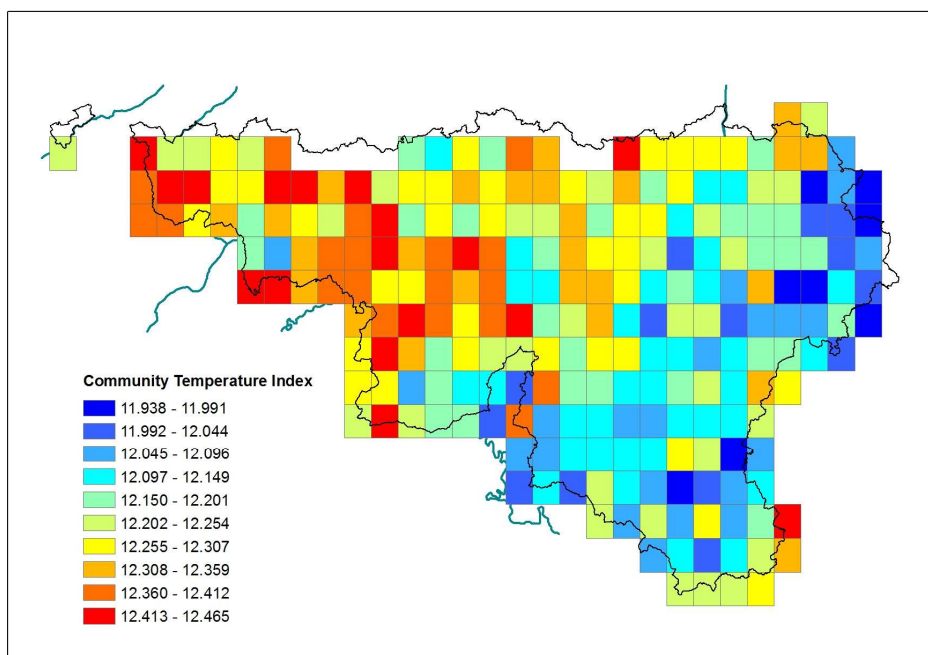


Figure 13 : indice de t° des communautés lors de l'atlas des oiseaux nicheurs de Belgique (1973-1977)

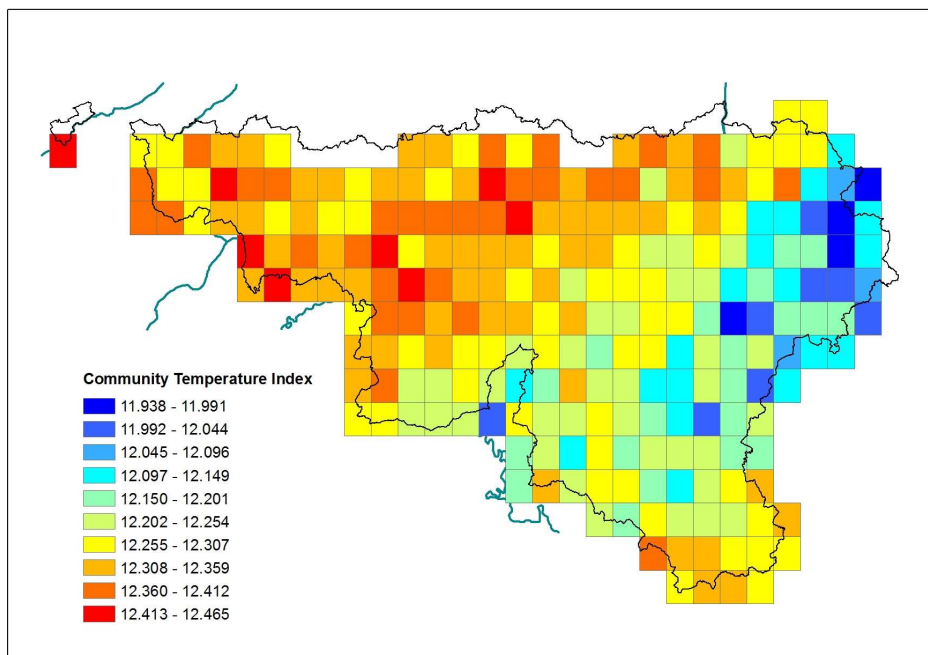


Figure 14 : indice de t° des communautés lors de l'atlas des oiseaux nicheurs de Wallonie (2001-2007)

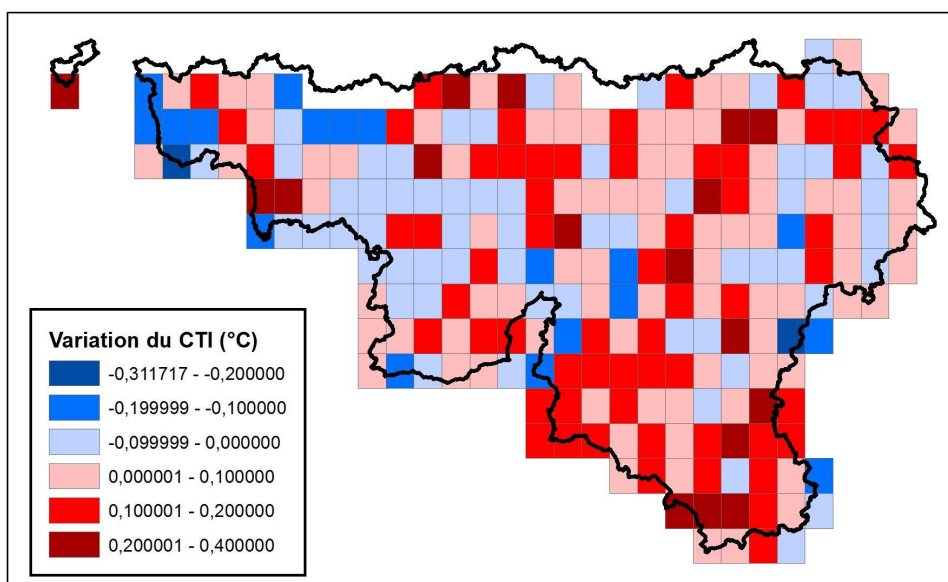


Figure 15 : Variations de l'indice de température des communautés entre les deux atlas des oiseaux nicheurs

5.6. Spécialisation des communautés

Le calcul de l'indicateur de spécialisation des communautés développé par Le Viol (2012) pour les données récoltées lors du suivi par points d'écoute ne nous a pas permis de mettre en évidence une réduction du degré de spécialisation des communautés aviaires. Cet indice évolue de manière contrastée dans les différents habitats considérés, ce qui suggère que les modifications d'habitat jouent un rôle prépondérant dans les évolutions observées.

En particulier, le degré de spécialisation des communautés des milieux tourbeux des plateaux ardennais est stable, bien que nous ayons mis en évidence la haute sensibilité de ces communautés aux changements climatiques au travers des variations de leur indice de t° des communautés.

5.7. Indicateur d'impact du climat sur les populations

L'index spécifique de température permet de distinguer les espèces à tendance méridionale des espèces à tendance septentrionale mais ne permet pas, à priori, de voir si une espèce, prise isolément, sera favorisée ou défavorisée par les changements climatiques. En 2009, un nouvel indicateur dit « d'impact » a été calculé à partir des résultats de ces suivis multi-spécifiques. Cet indicateur mesure la divergence des tendances de populations entre les espèces d'oiseaux qui sont prédites comme étant affectées favorablement par le réchauffement et celles qui sont prédites comme étant préjudiciées par les changements du climat (GREGORY *ET AL.*, 2009b). En cela, il est supposé supprimer les effets confondants (impact de l'intensification de l'agriculture, par exemple) et mesurer réellement l'effet du « *driving factor* », de la force de changement, que représente le réchauffement. Nous avons suivi la même procédure pour construire un indicateur wallon de l'impact des changements climatiques sur les populations d'oiseaux communs.

Gregory *et al.* (2009) proposent d'utiliser les prédictions de changement d'aire des espèces selon les scénarii climatiques. Le paramètre de susceptibilité au climat « CLIM » se calcule par le log du rapport entre la surface de l'aire potentielle prédite par les scénarii climatiques et l'aire actuelle simulée par le même modèle (GREGORY *ET AL.*, 2009b). La valeur de CLIM est donc négative pour les espèces pour lesquelles la prédiction donnée par les modèles correspond à une contraction de l'aire de répartition et positive pour celles où l'aire est prédite comme s'étendant à l'horizon 2100. Cette valeur se calcule pour toute l'Europe, étant donné que le climat contribue plus à expliquer la répartition des espèces à grande échelle (continent) qu'à une échelle plus réduite (pays), où les facteurs liés à la disponibilité en habitat sont prépondérants (PEARCE-HIGGINS & GREEN, 2014).

Calcul de l'indicateur

La valeur de CLIM pour les 78 espèces de SOCWAL a été reprise de GREGORY *ET AL.* (2009). Les espèces ont été divisées en deux groupes : « CLIM- » regroupant les 60 espèces présentant une valeur négative de CLIM et « CLIM+ » regroupant les 9 espèces présentant une valeur positive de CLIM (la Mésange bleue *Parus caeruleus* est neutre, CLIM = 0 et huit autres espèces soit n'ont pas d'indice CLIM car leurs prévisions ne sont pas fiables, soit ne sont pas considérés par GREGORY *ET AL.*, 2009). Pour chacun des groupes séparément, un index multi-spécifique des populations a été calculé sur base des indices de chaque espèce, pondérés par la valeur absolue de la valeur de CLIM. De cette manière, une espèce comme le Pipit farlouse (CLIM de -0,741) contribue plus à l'indice qu'une espèce comme le Merle noir *Turdus merula*, dont l'aire est prédite comme n'allant pratiquement pas varier (CLIM de -0,002). En pratique, pour chaque espèce, nous partons de la série temporelle des indices d'abondance (avec une valeur de 100 en 1990). Nous convertissons la série de 22 ans en une série de 21 ans, avec comme valeur X pour une année donnée égale au log du rapport entre l'indice de l'année considérée avec l'indice de l'année précédente. Pour chaque espèce, nous calculons un « poids » égal à la valeur absolue de CLIM pour l'espèce divisé par la somme des valeurs absolues de CLIM de toutes les espèces composant son groupe d'espèce (CLIM+ ou CLIM-). Nous sommions ensuite ce « poids » spécifique multiplié par la valeur X entre toutes les espèces d'un groupe pour une année donnée. La valeur obtenue (une par groupe et

par année) correspond au log du changement proportionnel d'une année à l'autre de l'index que nous cherchons à calculer. En fixant la valeur « 1 » en 1990, il est alors simple de calculer une valeur de l'index CLIM+ et CLIM- pour toutes les années. Les deux index sont représentés à la Figure 16. D'une manière surprenante, les espèces prédites comme bénéficiant des changements climatiques sont en forte diminution jusqu'aux années 2000, et augmentent seulement globalement à partir de cette date-pivot. Les espèces prédites comme affectées négativement par les changements climatiques sont au contraire en régression continue mais moins forte.

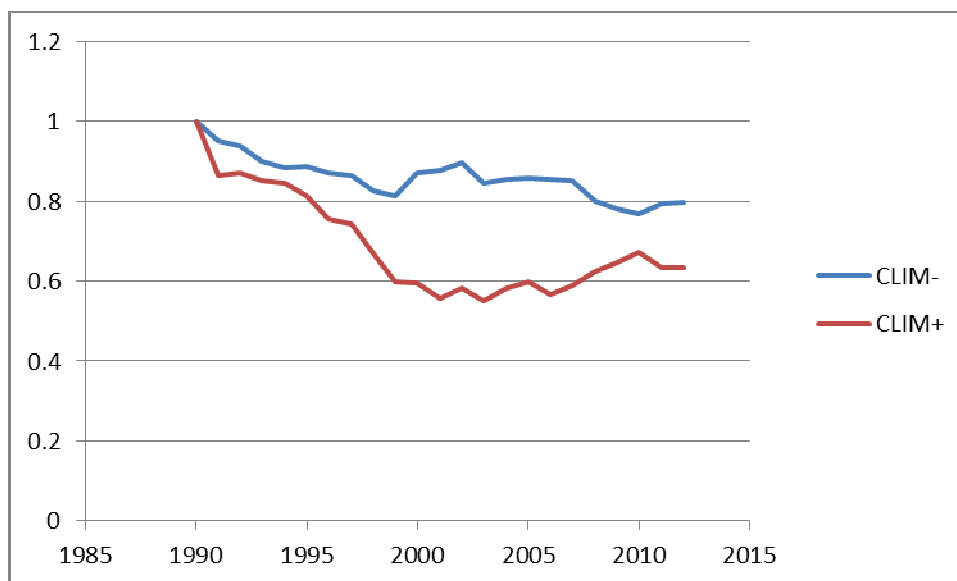


Figure 16 : Indices CLIM+ et CLIM- calculé pour la Wallonie à partir des données de SOCWAL.

Le véritable Indicateur d'impact du changement climatique (IndCLIM) se calcule par le rapport entre CLIM+ et CLIM-. En effet, CLIM+ et CLIM- ne représentent pas en eux même des indicateurs de l'impact des changements climatiques. Si les deux groupes d'espèces sont influencés par d'autres facteurs (intensification agricole), ils pourraient être tous les deux en diminution parallèle. Toutefois, on peut supposer que le groupe CLIM+ décline moins que le groupe CLIM- si un effet du changement climatique se manifeste, en tout cas suivant les prévisions de changement d'aires. C'est pourquoi le rapport entre les deux indices donne le véritable Indicateur d'impact (Figure 17).

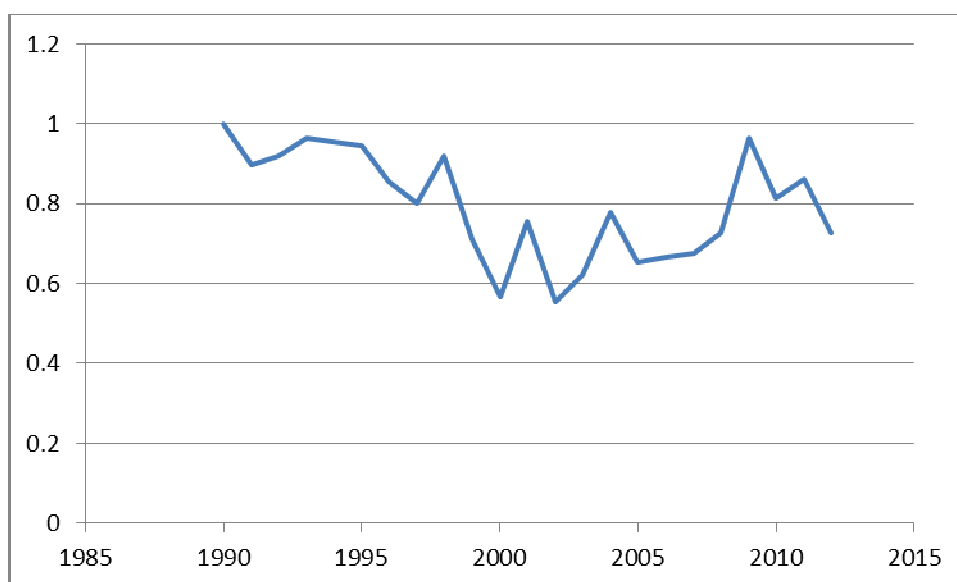


Figure 17 : Indicateur d'impact du changement climatique sur les populations d'oiseaux nicheurs en Wallonie.

On peut voir que l'indicateur est en diminution pour la Wallonie jusqu'en 2000, puis montre une augmentation depuis le début du siècle, avec un infléchissement depuis 2009 (en lien avec une succession d'hivers plus froids ?). Cette courbe est similaire, bien moins marquée vers le haut, à celle de l'avifaune nicheuse européenne, même si celle-ci montre la « cassure » de l'impact dès 1990 (Figure 18). En conclusion, l'impact prédit des changements climatiques sur l'avifaune wallonne ne semble se produire qu'avec retard sur l'avifaune wallonne et avec une moins grande force. Le phénomène est cependant nettement perceptible, surtout parce que le groupe CLIM+ a clairement infléchi sa trajectoire depuis 2000. Ce groupe CLIM+ comporte plusieurs espèces dont le déclin est manifeste mais pas nécessairement lié au réchauffement : le Bruant proyer *Miliaria calandra* (intensification agricole) et la Tourterelle des bois *Streptopelia turtur* (causes de régression mal comprises).

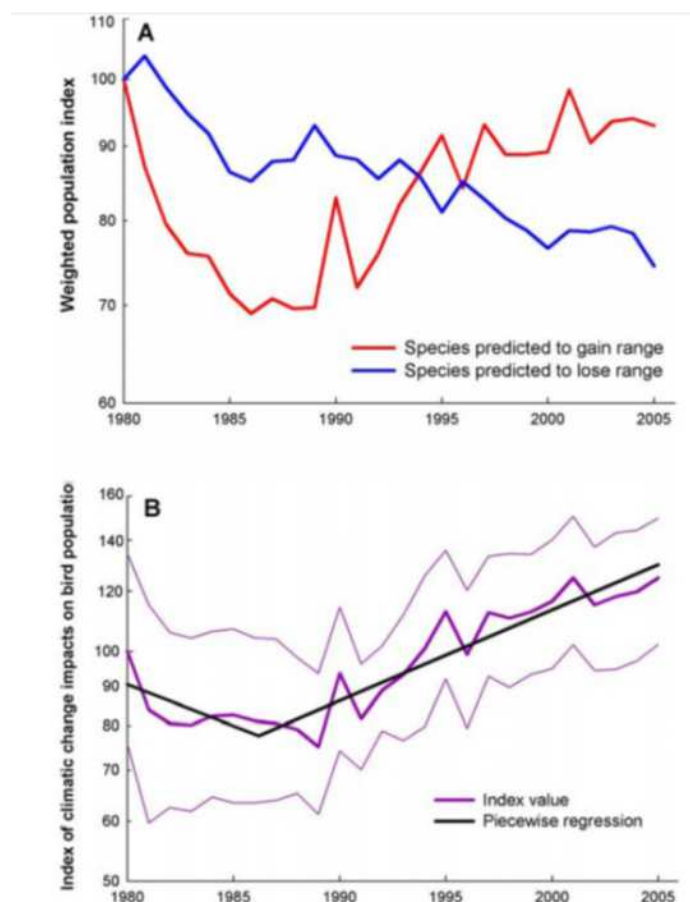


Figure 18 : indicateur de changement climatique européen (GREGORY ET AL., 2009b).

5.8. Conclusions

Les quelques analyses ci-dessus confirment que les données récoltées patiemment depuis près de 50 ans par des milliers d'ornithologues amateurs en Wallonie permettent bien de décrire des modifications significatives dans l'avifaune wallonne, modifications que l'on peut relier aux changements climatiques.

En particulier (point 5.3), nous avons pu confirmer, au moins pour certaines espèces, un avancement de la migration printanière moyenne, à l'instar de ce qui a pu être montré à l'échelle continentale pour de nombreuses espèces. Les modifications des périodes de migration postnuptiale sont plus variables d'une espèce à l'autre, une tendance globale ne pouvant être dégagée.

Depuis le début de ce siècle, le changement climatique semble représenter une force influençant significativement les populations d'oiseaux communs en Wallonie (point 5.6). À ce niveau, on observe un retard d'une dizaine d'années avec ce qui est observé à l'échelle européenne. Il est possible qu'en Wallonie, d'autres facteurs comme les modifications de l'habitat aient retardés l'action du facteur climatique. Ce « sens moyen » de l'avifaune n'implique pas que toutes les espèces réagissent avec la même intensité ou même dans le même sens que ce que l'on attendrait avec les changements climatiques. Ainsi, le Bruant proyer *Emberiza calandra* est en fort déclin alors qu'il devrait être favorisé par le réchauffement. Cependant, depuis 25-30 ans, les assemblages d'espèces tendent à se modifier petit à petit en Wallonie, dans un sens de plus de « méridionalité » dans leur composition (point 0). Un gradient de communauté est visible au travers de la Wallonie, en fonction de l'altitude, du Hainaut occidental à la Haute Ardenne. Un « réchauffement » des communautés est bien perceptible entre les deux atlas (30 ans d'intervalle).

La modification la plus spectaculaire est visible dans les milieux tourbeux ardennais, au travers de l'analyse des relevés par points d'écoute. Les communautés d'espèces y sont nettement plus « boréales » que dans les autres habitats, mais tendent à se « réchauffer » plus vite (0).

Globalement, il est difficile de voir qu'une espèce en particulier régresse ou au contraire s'étend à la suite des changements climatiques. Mais la combinaison des prédictions d'aires futures (HUNTLEY ET AL., 2007) avec les observations sur les communautés réalisées ici au travers des données SOCWAL ou des atlas suggèrent que plusieurs espèces doivent leur régression actuelle au moins en partie à une modification du climat : Pipit farlouse *Anthus pratensis*, Grive litorne *Turdus pilaris* voire Pie-grièche grise *Lanius excubitor*. La progression d'espèces comme le Tarier pâtre *Saxicola torquatus* ou l'Hypolaïs polyglotte peut elle aussi sans doute être à relier au réchauffement global. Cet impact climatique pourrait contribuer à expliquer pourquoi la richesse spécifique par maille atlas a indéniablement progressé en 30 ans (JACOB ET AL., 2010b). Il nous reste cependant à évaluer dans quelle mesure l'avifaune wallonne subit le phénomène « d'homogénéisation » décrit par exemple en Grande-Bretagne (DAVEY ET AL., 2012), c'est-à-dire l'augmentation des espèces généralistes profitant du réchauffement climatique.

6. Recommandations et perspectives

Au terme de l'analyse, il nous paraît opportun de suggérer les éléments suivants, susceptibles d'améliorer la description ou une meilleure compréhension des phénomènes biologiques liés aux changements climatiques dans notre région.

En rapport avec les séries de données déjà existantes :

- 1) Garantir la pérennité et le développement de la surveillance des oiseaux communs en Wallonie (programme SOCWAL).
 - Au sein de ce programme, encourager les doubles passages, afin de pouvoir identifier les variations de la détectabilité des espèces liées par exemple à des modifications phénologiques (MOUSSUS ET AL., 2009). En effet, un relevé réalisé au moins deux fois la même année offre une opportunité d'estimer la détectabilité des individus et de vérifier que les variations d'effectifs observés ne sont pas liées, par exemple, à l'avancement de

- la période printanière de chants alors que les points d'écoute sont eux toujours réalisés à la même date.
- Au sein de SOCWAL, chercher à augmenter le nombre de relevés sur certaines régions/habitats actuellement sous-échantillonnées, en particulier les milieux forestiers ardennais (en dehors des milieux tourbeux) et les milieux plus thermophiles (pelouses calcaires, terrils...) notamment dans la zone comprise entre la vallée de la Meuse et le Borinage.
- 2) Encourager les ornithologues à réaliser des suivis mieux standardisés des passages migratoires, notamment par la technique des suivis à poste fixe de type « trektellen » (voir point 5.2).
 - Dans ce cadre, favoriser une répartition homogène de l'effort d'observation entre la mi-août et la mi-novembre, plutôt qu'une augmentation de l'effort en cas de passage intense. Mieux vaut une seule matinée de suivi par semaine pendant toute la période qu'un suivi permanent sur le seul mois d'octobre.
 - Favoriser également le suivi standardisé de la migration au printemps. La migration printanière est dans nos régions plus diffuse, moins spectaculaire que la migration automnale, mais son suivi pourrait être encouragé surtout s'il l'on arrivait à identifier de « bons spots ».
 - 3) Encourager les ornithologues à réaliser des listes complètes d'observations au cours de leurs activités de routine (noter toutes les espèces observées au cours d'une sortie de week-end, pas seulement les espèces les plus remarquables). Cela permettra d'augmenter l'intérêt des données opportunistes en vue d'analyses de la phénologie (STREBEL *ET AL.*, 2014). Ces listes complètes d'observations peuvent prendre la forme de « points d'écoute » non répétés, ou répétés en dehors du cadre strict de SOCWAL (par exemple, 10 min d'écoute hebdomadaire sur un point fixe dans les alentours de son lieu de travail, toute l'année). Il est déjà possible d'encoder et de gérer ce type de relevés via observations.be (PAQUET, 2012).
 - 4) Poursuivre et développer les recensements hivernaux des oiseaux d'eau (JACOB *ET AL.*, 2013). Cette source de données n'a pas été utilisée dans le présent travail mais de nombreuses études européennes font références aux modifications de l'aire d'hivernage des oiseaux d'eau liées aux changements climatiques (LEHIKOINEN *ET AL.*, 2013).
 - 5) Participer activement à l'atlas des oiseaux nicheurs européens 2013-2017 (voir <http://www.ebcc.info/new-atlas.html>), qui permettra d'évaluer les changements observés dans la répartition des espèces à l'échelle continentale depuis les années 1980 (période de l'atlas continental précédent). Une excellente manière de contribuer à cet atlas européen serait de réaliser, d'ici à fin 2017, un ré-échantillonnage des carrés échantillons de 1 km² de l'Atlas des oiseaux nicheurs de Wallonie (PAQUET *ET AL.*, 2010a). Ce ré-échantillonnage permettrait à la fois de réunir l'information nécessaire pour la contribution wallonne à l'atlas européen, d'améliorer les données nécessaires au rapportage obligatoire sous l'article 12 de la directive oiseaux, de mettre à jour d'une manière précise les cartes de densité relative de l'atlas de Wallonie : tout cela permettrait d'évaluer l'évolution des communautés d'espèces à l'échelle 1x1 km depuis le début du siècle. Ce projet est susceptible de motiver fortement les observateurs ayant participé à l'atlas 2001-2007.

En rapport avec de nouvelles sources données à développer :

- 1) Chercher à établir des suivis standardisés de l'avifaune terrestre en hiver (ou un atlas de répartition hivernale).
- 2) Développer et standardiser la récolte d'autres données biologiques complémentaires, à côté des observations ornithologiques ou d'autres groupes taxonomiques, en particulier développer le suivi des cycles d'abondance des micromammifères, des fructifications forestières... afin de mieux cerner les mécanismes d'impact liées à la variation des ressources alimentaires.
- 3) Centraliser et favoriser le rassemblement de données sur la dynamique des populations d'oiseaux, notamment les variations de la productivité des nicheurs ou de la survie individuelle, en collaboration avec le Centre Belge du Baguage et ses collaborateurs.

7. Bibliographie

- AGENCE WALLONNE DE L'AIR ET DU CLIMAT (2011): L'adaptation au changement climatique en Wallonie, Rapport final, Région wallonne.
- ARAÚJO, M.B. & PETERSON, A.T. (2012): Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology*, 93: 1527-1539.
- BAILLIE, S.R. & PEACH, W.J. (1992): Population limitation in Palaearctic-African migrant passerines. *Ibis*, 134: 120-132.
- BAIRLEIN, F. & HENNEBERG, H.R. (2000): *Der Weißstorch (Ciconia ciconia) im Oldenburger Land: Bestandsentwicklung, Zug, Schutz*. Isensee.
- BIRDLIFE EUROPE (2011): *Meeting Europe's Renewable Energy Targets in Harmony with Nature*. The RSPB, Sandy, UK.
- BLONDEL, J. (1984): Avifaunes forestières méditerranéennes: histoire des peuplements. *Aves*, 21: 209-226.
- BLONDEL, J. (1995): La dynamique de la forêt naturelle. *Forêt méditerranéenne*, 16: 239-246.
- BOTH, C., BOUWHUIS, S., LESSELLS, C. & VISSER, M.E. (2006): Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature*, 441: 81-83.
- BROMMER, J.E. (2004): The range margins of northern birds shift polewards. *Annales Zoologici Fennici*
- BROMMER, J.E., LEHIKONEN, A. & VALKAMA, J. (2012): The breeding ranges of central European and Arctic bird species move poleward. *PLoS ONE*, 7: e43648.
- CAHILL, A.E., AIELLO-LAMMENS, M.E., FISHER-REID, M.C., HUA, X., KARANEWSKY, C.J., RYU, H.Y., SBEGLIA, G.C., SPAGNOLO, F., WALDRON, J.B. & WARSI, O. (2013): How does climate change cause extinction? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280: 20121890.
- COMMISSION NATIONALE CLIMAT (2013): Sixième communication nationale sur les changements climatiques en vertu de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.
- DAVEY, C.M., CHAMBERLAIN, D.E., NEWSON, S.E., NOBLE, D.G. & JOHNSTON, A. (2012): Rise of the generalists: evidence for climate driven homogenization in avian communities. *Global Ecology and Biogeography*, 21: 568-578.
- DEVICTOR, V., JULLIARD, R., COUVET, D. & JIGUET, F. (2008): Birds are tracking climate warming, but not fast enough. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275: 2743-2748.
- DEVICTOR, V., VAN SWAAY, C., BRERETON, T., CHAMBERLAIN, D., HELIÖLÄ, J., HERRANDO, S., JULLIARD, R., KUUSSAARI, M., LINDSTRÖM, Å. & ROY, D.B. (2012): Differences in the climatic debts of birds and butterflies at a continental scale. *Nature Climate Change*, 2: 121-124.
- DEVILLERS, P., ROGGEMAN, W., TRICOT, J., DEL MARMOL, P., KERWIJN, C., JACOB, J.-P. & ANSELIN, A. (1988): *Atlas des oiseaux nicheurs de Belgique*. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Bruxelles.
- DRENT, R.H., FOX, A.D. & STAHL, J. (2006): Travelling to breed. *Journal of Ornithology*, 147: 122-134.
- DUNN, P. (2004): Breeding dates and reproductive performance. *Advances in ecological research*, 35: 69-87.
- DUNN, P.O. & MØLLER, A.P. (2014): Changes in breeding phenology and population size of birds. *Journal of Animal Ecology*, 83: 729-739.
- DUNN, P.O. & WINKLER, D.W. (2010): Effects of climate change on timing of breeding and reproductive success in birds. *Effects of climate change on birds*: 113-128.
- EBBINGE, B.S. & SPAANS, B. (1995): The importance of body reserves accumulated in spring staging areas in the temperate zone for breeding in dark-bellied brent geese *Branta b. bernicla* in the high Arctic. *Journal of Avian Biology*: 105-113.
- EGLINGTON, S.M. & PEARCE-HIGGINS, J.W. (2012): Disentangling the relative importance of changes in climate and land-use intensity in driving recent bird population trends. *PLoS ONE*, 7: e30407.
- GIENAPP, P., TEPLITSKY, C., ALHO, J., MILLS, J. & MERILÄ, J. (2008): Climate change and evolution: disentangling environmental and genetic responses. *Molecular ecology*, 17: 167-178.
- GREGORY, R.D. & STRIEN, A.V. (2010): Wild Bird Indicators: Using Composite Population Trends of Birds as Measures of Environmental Health. *Ornithological Science*, 9: 3-22.
- GREGORY, R.D., WILLIS, S.G., JIGUET, F., VORICEK, P., KLVAŇOVÁ, A., VAN STRIEN, A., HUNTLEY, B., COLLINGHAM, Y.C., COUVET, D. & GREEN, R.E. (2009a): An Indicator of the Impact of Climatic Change on European Bird Populations. *PLoS ONE*, 4: e4678. doi:4610.1371/journal.pone.0004678.
- GREGORY, R.D., WILLIS, S.G., JIGUET, F., VOŘÍŠEK, P., KLVAŇOVÁ, A., VAN STRIEN, A., HUNTLEY, B., COLLINGHAM, Y.C., COUVET, D. & GREEN, R.E. (2009b): An indicator of the impact of climatic change on European bird populations. *PLoS ONE*, 4: e4678.
- HERREMANS, M. (2014): Invloed van uitzonderlijke voorjaren 2011 en 2013 op fenologie van trekvogels. *Natuur.Oriolus*, 80: 15-25.
- HUNTLEY, B., GREEN, R., COLLINGHAM, Y. & WILLIS, S.G. (2007): *A Climatic Atlas of European Breeding Birds*. Durham University, The RSPB and Lynx Edicions, Barcelona.
- HURLBERT, A.H. & LIANG, Z. (2012): Spatiotemporal variation in avian migration phenology: citizen science reveals effects of climate change. *PLoS ONE*, 7: e31662.

INSTITUT ROYAL MÉTÉOROLOGIQUE (2008): Vigilance climatique.

JACOB, J.-P., DEHEM, C., BURNEL, A., DAMBIERMONT, J.-L., FASOL, M., KINET, T., VAN DER ELST, D. & PAQUET, J.-Y. (2010a): *Atlas des oiseaux nicheurs de Wallonie 2001-2007*. Série Faune Flore Habitats n°5, Aves et la Région Wallonne, Gembloux.

JACOB, J.-P., PAQUET, J.-Y. & DAMBIERMONT, J.-L. (2010b): Présentation générale des résultats et évolution de l'avifaune nidificatrice. in JACOB, J.-P., DEHEM, C., BURNEL, A., DAMBIERMONT, J.-L., FASOL, M., KINET, T., VAN DER ELST, D. & PAQUET, J.-Y.: *Atlas des oiseaux nicheurs de Wallonie 2001-2007. Série "Faune - Flore - Habitats" n°5*. Aves et Région wallonne, Gembloux: 60-79.

JACOB, J.-P., PAQUET, J.-Y., DEVOS, K. & ONKELINX, T. (2013): 50 ans de dénombrements hivernaux des oiseaux d'eau en Wallonie et à Bruxelles. *Aves*, 50: 195-220.

KEULEN, C., CHARLET, O., PONCIN, P. & RUWET, J.-C. (2005): Evolution des populations de Tétrins lyres (*Tetrao tetrix*) sur le plateau des Hautes-Fagnes en regard des modifications des paramètres écologiques du milieu. *Aves*, 42: 103-120.

KLAASSEN, M., LINDSTRÖM, Å., MELTOFTE, H. & PIERSMA, T. (2001): Ornithology: Arctic waders are not capital breeders. *Nature*, 413: 794-794.

KNUDSEN, E., LINDÉN, A., BOTH, C., JONZÉN, N., PULIDO, F., SAINO, N., SUTHERLAND, W.J., BACH, L.A., COPPACK, T. & ERGON, T. (2011): Challenging claims in the study of migratory birds and climate change. *Biological Reviews*, 86: 928-946.

LE VIOL, I., JIGUET, F., BROTONS, L., HERRANDO, S., LINDSTRÖM, Å., PEARCE-HIGGINS, J.W., REIF, J., VAN TURNHOUT, C. & DEVICTOR, V. (2012): More and more generalists: two decades of changes in European avifauna. *Biology letters*, 8: 780-782.

LEDANT, J.-P., DEVILLERS, P., BEUDELS, R., LAFONTAINE, R.-M., CHIWY, B., ROGGEMAN, W., KUNKEL, P., DEVILLERS-TERSCHUREN, J., ANSELIN, A., JACOB, J.-P. & GOFFART, P. (1988): Contribution pour un système européen de surveillance des populations d'oiseaux, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Documents de travail n°47.

LEHIKONEN, A., JAATINEN, K., VÄHÄTALO, A.V., CLAUSEN, P., CROWE, O., DECEUNINCK, B., HEARN, R., HOLT, C.A., HORNMAN, M., KELLER, V., NILSSON, L., LANGENDOEN, T., TOMÁNKOVÁ, I., WAHL, J. & FOX, A.D. (2013): Rapid climate driven shifts in wintering distributions of three common waterbird species. *Global Change Biology*, 19: 2071-2081.

LEHIKONEN, E., SPARKS, T.H. & ZALAKEVICIUS, M. (2004): Arrival and departure dates. in MOLLER, A., FIELDER, W. & BERTHOLD, P.: *Birds and climate change*. Advances in ecological research, Elsevier. 35: 1-31.

LIBOIS, R.M. (1994): Démographie du Martin-pêcheur (*Alcedo atthis*) : incidences climatiques sur le succès reproducteur. *Le Gerfaut*, 84: 19-38.

MARCHANT, J.H. (1992): Recent trends in breeding populations of some common trans-Saharan migrant birds in northern Europe. *Ibis*, 134: 113-119.

MØLLER, A.P., RUBOLINI, D. & LEHIKONEN, E. (2008): Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105: 16195-16200.

MOUSSUS, J.-P., 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.

MULLER, Y. (2010): Dix années après l'ouragan Lothar, comment se porte l'avifaune forestière dans les zones les plus dévastées des Vosges du Nord ? *Alauda*, 78: 269-278.

NEVOUX, M., BARBRAUD, J.-C. & BARBRAUD, C. (2008): Nonlinear impact of climate on survival in a migratory white stork population. *Journal of Animal Ecology*, 77: 1143-1152.

NEWSON, S., MENDES, S., CRICK, H., DULVY, N., HOUGHTON, J., HAYS, G., HUTSON, A., MACLEOD, C., PIERCE, G. & ROBINSON, R. (2009): Indicators of the impact of climate change on migratory species. *Endangered Species Research*, 7: 101-113.

NEWTON, I. (2004): Population limitation in migrants. *Ibis*, 146: 197-226.

NILSSON, L. (1979): Variation in the production of young of swans wintering in Sweden. *Wildfowl*, 30: 129-134.

NORMAN, D. & PEACH, W.J. (2013): Density-dependent survival and recruitment in a long-distance Palaearctic migrant, the Sand Martin *Riparia riparia*. *Ibis*, 155: 284-296.

OCKENDON, N., BAKER, D.J., CARR, J.A., WHITE, E.C., ALMOND, R.E., AMANO, T., BERTRAM, E., BRADBURY, R.B., BRADLEY, C. & BUTCHART, S.H. (2014a): Mechanisms underpinning climatic impacts on natural populations: altered species interactions are more important than direct effects. *Global Change Biology*.

OCKENDON, N., JOHNSTON, A. & BAILLIE, S.R. (2014b): Rainfall on wintering grounds affects population change in many species of Afro-Palaearctic migrants. *Journal of Ornithology*: 1-13.

PAQUET, J.-Y. (2012): Une nouveauté dans www.observations.be : les listes "intelligentes" d'observations. *Aves*, 49: 49-52.

PAQUET, J.-Y., DEHEM, C., JACOB, J.-P., BROTONS, L., DEROUAUX, A., DE SLOOVER, M., KINET, T., TITEUX, N. & VANSTEENWEGEN, C. (2010a): Méthodologie. in JACOB, J.-P., DEHEM, C., BURNEL, A., DAMBIERMONT, J.-L., FASOL, M., KINET, T., VAN DER ELST, D. & PAQUET, J.-Y.: *Atlas des oiseaux nicheurs de Wallonie 2001-2007. Série "Faune - Flore - Habitats" n°5*. Aves et Région wallonne, Gembloux: 37-59.

- PAQUET, J.-Y. & DUJARDIN, R. (2010): Le suivi des passages migratoires par observation directe en Wallonie et l'utilisation du portail <http://www.trektellen.org>. *Aves*, 47: 139-149.
- PAQUET, J.-Y., KINET, T., DE SLOOVER, M., DEROUAUX, A. & JACOB, J.-P. (2013): La banque de données ornithologiques "courantes" d'Aves: 50 ans de collecte d'observations de terrain. *Aves*, 50: 9-19.
- PAQUET, J.Y., JACOB, J.-P., KINET, T. & VANSTEENWEGEN, C. (2010b): Les tendances des populations d'oiseaux communs en Wallonie de 1990 à 2009. *Aves*, 47: 1-19.
- PEACH, W., BAILLIE, S. & UNDERHILL, L. (1991): Survival of British Sedge Warblers *Acrocephalus schoenobaenus* in relation to west African rainfall. *Ibis*, 133: 300-305.
- PEARCE-HIGGINS, J.W. & GREEN, R.E. (2014): *Birds and Climate Change: Impacts and Conservation Responses*. Cambridge University Press.
- RUBOLINI, D., MOLLER, A., RAINIO, K. & LEHIKONEN, E. (2007): Intraspecific consistency and geographic variability in temporal trends of spring migration phenology among European bird species. *Climate research*, 35: 135-146.
- RYELANDT, P. (1995): Le Rôle des genêts (*Crex crex*) en Fagne et Famenne de 1990 à 1994. *Aves*, 32: 1-33.
- SAINO, N., SZÉP, T., AMBROSINI, R., ROMANO, M. & MOLLER, A. (2004): Ecological conditions during winter affect sexual selection and breeding in a migratory bird. *PROCEEDINGS-ROYAL SOCIETY OF LONDON B*, 271: 681-686.
- SANCHEZ, C. & MORGAN, P. (2013): L'irrégularisation des peuplements résineux en Europe : une tendance généralisée ? . *Forêt Wallonne*, 123 3-12
- STREBEL, N., KÉRY, M., SCHAUB, M. & SCHMID, H. (2014): Studying phenology by flexible modelling of seasonal detectability peaks. *Methods in Ecology and Evolution*, 5: 483-490.
- THOMAS, C.D. & LENNON, J.J. (1999): Birds extend their ranges northwards. *Nature*, 399: 213-213.
- VISSER, M.E., TE MARVELDE, L. & LOF, M.E. (2012): Adaptive phenological mismatches of birds and their food in a warming world. *Journal of Ornithology*, 153: 75-84.
- WARD, S. & M BRYANT, D. (2006): Barn swallows *Hirundo rustica* form eggs mainly from current food intake. *Journal of Avian Biology*, 37: 179-186.