



# Évolution temporelle de la répartition des Orthoptères dans le massif vosgien : possibles effets des changements climatiques sur la biodiversité

**Roberto D'AGOSTINO**

Association IMAGO  
8 rue Adèle Riton, 67000 Strasbourg  
[association.imago@free.fr](mailto:association.imago@free.fr)

**Jean-Pierre VACHER**

730 rue de la Croix de Lavit, 34090 Montpellier  
[jpvacher@gmail.com](mailto:jpvacher@gmail.com)

**Résumé** – Les organismes ectothermes sont particulièrement concernés par les changements climatiques observés depuis le début du XXe siècle, car il est prévu que les espèces thermophiles vont s'étendre alors que les espèces de milieux frais risquent de voir leurs aires de répartition se contracter. Les Orthoptères constituent un bon indicateur pour étudier les effets du réchauffement à large échelle car les espèces possèdent des caractéristiques écologiques contrastées. En Alsace, une analyse faite à partir de données non standardisées des Orthoptères récoltées depuis le début des années 2000 révèle des effets sur plusieurs espèces qui sont certainement à imputer aux changements globaux. Les espèces thermophiles progressent en altitude dans les Vosges alors que les espèces mésophiles voient leurs habitats se contracter dans les milieux les plus frais et leur amplitude altitudinale régresser.

**Mots-clés** – glissement de répartition, espèces menacées, *Miramella alpina*, *Pseudochorthippus montanus*, *Tettigonia cantans*.

**Abstract** – *Temporal evolution of the distribution of Orthoptera in the Vosges Mountains: possible effects of climate change on biodiversity*

Ectotherm organisms are particularly concerned by the global change that affects ecosystems since the beginning of the 20th century. It is expected thermophile species will expand their ranges, whereas mesophile species will see their ranges contracted. Orthoptera constitutes a good model to study the effects of global warming at a large scale because they harbor species with contrasted ecology and life-history traits. In Alsace, an analysis conducted on opportunistic twenty-year span data set of Orthoptera between 2000 and 2019 suggests population trends for several species that might result from climate change. Thermophile species expand their range to higher altitude habitats in the Vosges, whereas the ranges of mesophile species are shrinking in the coldest and higher habitats.

**Keywords** – range shift, threatened species, *Miramella alpina*, *Pseudochorthippus montanus*, *Tettigonia cantans*.

## INTRODUCTION

Les changements globaux induits par les activités humaines sont caractérisés notamment par une hausse généralisée des températures moyennes et constituent un facteur aggravant l'érosion de la biodiversité et un défi pour sa conservation. Le réchauffement semble avoir débuté au milieu du XXe siècle, et s'est accru ces dernières années. Par exemple, entre 2015 et 2019, la hausse des températures moyennes à l'échelle du globe est estimée à 1,1°C durant la période 1850-1900 (GISTEMP Team 2020 ; Lenssen *et al.* 2019). En Alsace, les températures moyennes annuelles ont augmenté de +1,5 à +2°C depuis les années 1960 selon les données de Météo France (Météo France s.d.), ce qui se traduit par une augmentation du nombre de journées chaudes (+15 à 20 jours), une diminution du nombre de jours de gel (-10 à 15 jours), une diminution marquée des hauteurs d'enneigement et un assèchement précoce des sols au printemps et en été.

Ainsi, les changements globaux n'épargnent pas le massif vosgien, il est attendu que les températures hivernales moyennes

augmentent et que la hauteur de neige moyenne et la durée d'enneigement diminuent à l'horizon 2100, dans la continuité d'un processus déjà en cours (Giacona *et al.* 2018).

Ces changements climatiques touchent particulièrement les organismes ectothermes, qui, s'ils ne s'adaptent pas rapidement, sont menacés de disparition (Seebacher *et al.* 2014). Ainsi, les connaissances actuelles montrent que de 40 à 76% des espèces végétales et animales étudiées sur la planète ont connu ces dernières décennies un changement soit de distribution, soit de phénologie, et qu'au moins 80% de ces changements sont imputables aux évolutions climatiques (Parmesan & Yohe 2003 ; Poloczanska *et al.* 2013 ; Root *et al.* 2003). Une synthèse basée sur 131 travaux montre qu'un réchauffement mondial de 2°C en moyenne pourrait faire disparaître 5% des espèces animales et végétales (Urban 2015).

Actuellement, des déplacements latitudinaux à l'échelle globale sont constatés pour la faune terrestre vers des latitudes plus nordiques de l'ordre de 6 à 17 km par décennie (Chen *et al.* 2011 ; Parmesan 2006 ; Parmesan & Yohe 2003). Parmi les plus

rapides, citons les Lépidoptères *Hesperia comma* (Linnaeus, 1758) qui a gagné 220 km en 20 ans jusqu'à atteindre récemment Édimbourg (Écosse), et *Apatura iris* (Linnaeus, 1758) qui a colonisé la Scandinavie au cours des années 1980-1990 (Parmesan *et al.* 1999). À l'échelle du territoire français, le Lépidoptère *Thaumatopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller, 1775) progresse vers le nord depuis les années 1970, et s'est installé récemment dans le Grand Est (Département de la santé des Forêts 2015, 2018). Pour les mouvements en altitude, les espèces montagnardes (faune et flore) montent de 11 m en moyenne par décennie (Chen *et al.* 2011). En France, une étude observant la variation de l'altitude sur 100 ans de 171 espèces de plantes forestières des six massifs du pays a montré un gain moyen de 66 m pour suivre leur milieu thermique optimal (Lenoir *et al.* 2008).

Les insectes sont particulièrement concernés par les changements car ils semblent plus sensibles que d'autres taxons aux évolutions de température, et de ce fait, il est attendu que les changements de répartitions au sein de ce groupe soient particulièrement marqués (Bäsler *et al.* 2013). Les Orthoptères montrent une variabilité dans leurs possibilités d'adaptation, avec des espèces qui sont inféodées à des habitats plutôt d'altitude et possèdent des capacités de dispersion faibles (espèces aptères ou à ailes abrégées), à l'inverse d'autres espèces plus thermophiles et mobiles, sont plus aptes à coloniser des nouveaux milieux. Ainsi, suivre l'évolution de la répartition des cortèges d'Orthoptères semble pertinent pour mesurer les effets des changements climatiques sur la biodiversité. Afin d'apprécier si les modifications climatiques observées ces vingt dernières années en Alsace influencent la biodiversité des Orthoptères de la région, nous avons mesuré la tendance de chaque espèce en fonction des années à partir de données de répartition collectées de manière opportuniste dans le massif vosgien.

## MATÉRIEL & MÉTHODES

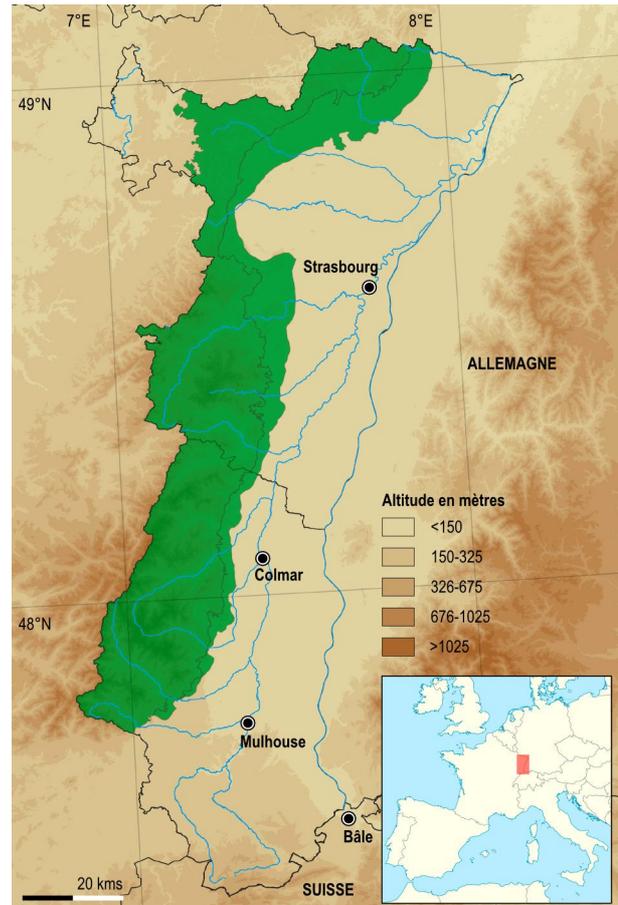
### Aire d'étude

L'aire d'étude correspond aux régions naturelles des collines sous-vosgiennes et des Vosges (Heuacker *et al.* 2015) (Figure 1). Elle couvre une surface de 3 240 km<sup>2</sup>, soit 39% de la surface totale de l'Alsace.

### Mise en forme du jeu de données

Le corpus initial de données compte 55 618 données, liées à 66 espèces, et récoltées de manière opportuniste dans le cadre de l'atlas des Orthoptères d'Alsace entre 2000 et 2019 (d'Agostino 2020 ; d'Agostino & Vacher données inédites, cet article). Les variations temporelles des aires de répartition de 59 espèces présentes au sein de la zone d'étude ont été analysées à partir d'un second jeu de données rassemblant 20 589 données et auquel nous avons appliqué les filtres suivants.

En premier lieu, nous avons visualisé la distribution altitudinale de l'ensemble des données. La moyenne altitudinale pour l'ensemble des données se situe à 567 m [altitude minimale = 143 m ; altitude maximale = 1405 m] et la médiane à 435 m (Figure 2). L'altitude moyenne en Alsace est quant à elle de



**Figure 1** – Localisation de l'aire d'étude

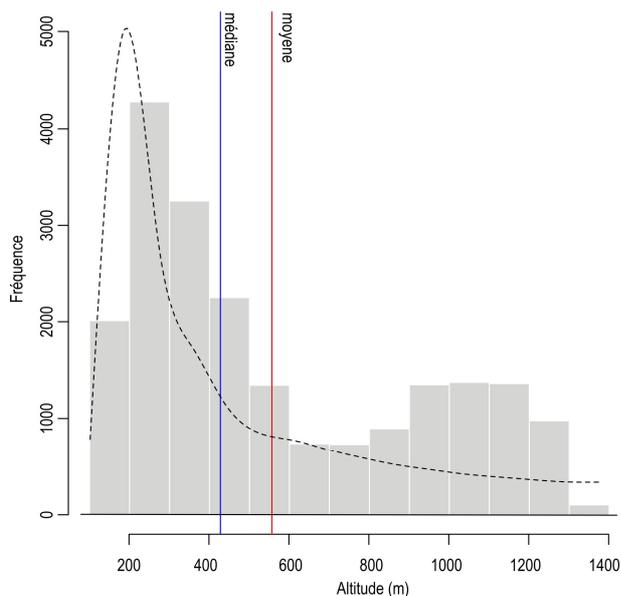
L'aire d'étude est ici indiquée en vert avec les collines sous-vosgiennes et l'ensemble du massif vosgien inclus dans les départements du Haut-Rhin et du Bas-Rhin.

353 m [altitude minimale = 105 m ; altitude maximale = 1405 m]. Nous avons de ce fait sélectionné toutes les données qui se trouvaient au-delà de 400 m d'altitude pour caractériser le jeu de données propre aux habitats d'altitude.

En second lieu, nous avons exclu du jeu de données toutes les espèces avec moins de 50 données, ce qui représente 3% des observations. Le jeu de données sur lequel repose notre analyse comporte 34 espèces pour 10 731 données.

Afin de réduire le biais lié à la pression d'observation, qui varie selon les années, nous avons utilisé le ratio  $R_i$  en divisant le nombre  $N_i$  d'observations de chaque espèce par le nombre total  $O_i$  d'observations enregistré par année  $i$  ( $R_i = N_i/O_i$ ). Ensuite, nous avons transformé ce ratio en indice  $I_i$  qui consistait pour chacune des espèces à diviser la valeur de  $R_i$  par la valeur de  $R_0$  obtenue la première année d'observation. Ainsi, la première valeur d'indice ( $I_0$ ) est de 1 avec  $R_i = R_0$ , et les autres valeurs d'indice  $I_i$  varient autour de 1.

Le jeu de données utilisé pour l'analyse comporte donc les indices  $I_i$ , calculés sur la période 2000-2019, pour l'ensemble des 34 espèces retenues.



**Figure 2** – Fréquences d'occurrence de 59 espèces d'Orthoptères (N=20 589 données) dans les collines sous-vosgiennes et les Vosges d'Alsace en fonction des classes d'altitude (en pointillés, la distribution des altitudes en Alsace).

### Analyses statistiques

Nous avons exploré pour chaque espèce l'influence de l'année sur le nombre d'observations (indice  $I_i$  calculé à l'étape précédente) à l'aide d'une régression linéaire. Nous avons vérifié *a posteriori* la normalité et l'homocédasticité des résidus du modèle. Lorsque l'un de ces deux paramètres n'était pas conforme à l'application d'un modèle linéaire (résidus non distribués normalement et homoscedasticité non observée), nous avons transformé les données en logarithme et reconduit le modèle de régression linéaire. Ces analyses ont été menées à l'aide du logiciel R v.3.6.3 (R Core Team 2016).

### RÉSULTATS

L'analyse des données au-delà de 400 m d'altitude fait apparaître une variation interannuelle marquée et significative pour onze espèces (N=5 066 données) sur les 34 étudiées (Figure 3, Tableau 1). Six espèces montrent une tendance négative, et cinq une tendance positive.

Parmi les espèces à affinité montagnarde, *Miramella alpina* (Kollar, 1833) et *Tettigonia cantans* (Fuessly, 1775) montrent un déclin constant et significatif (respectivement  $p=0,05$  et  $p=0,03$ ) au cours des vingt dernières années. *Pseudochorthippus montanus* (Charpentier, 1825), espèce typique des prairies humides et des tourbières qui se rencontre principalement aux altitudes moyennes et hautes, montre également une tendance à la baisse ( $p=0,04$ ). *Leptophyes punctatissima* (Bosc, 1792), *Pseudochorthippus parallelus* (Zetterstedt, 1821) et *Roeseliana roeselii* (Hagenbach, 1822), des espèces réparties principalement en plaine et à des altitudes modérées, montrent également une tendance à la baisse avec un effet significatif des

**Tableau 1** – Variation temporelle significative de l'indice  $I_i$  montrant les tendances de fréquentation des altitudes au-delà de 400 m pour onze espèces d'Orthoptères présentes sur les collines sous-vosgiennes et le massif vosgien en Alsace.

$p$ -valeur de l'effet de l'année sur la tendance  $I_i$  (valeurs significatives \* pour  $p \leq 0,05$  et \*\* pour  $p < 0,01$ ) et coefficient de détermination  $R^2$ . Ce coefficient détermine le pourcentage de variance expliquée par le modèle linéaire. + tendance positive ; - tendance négative.

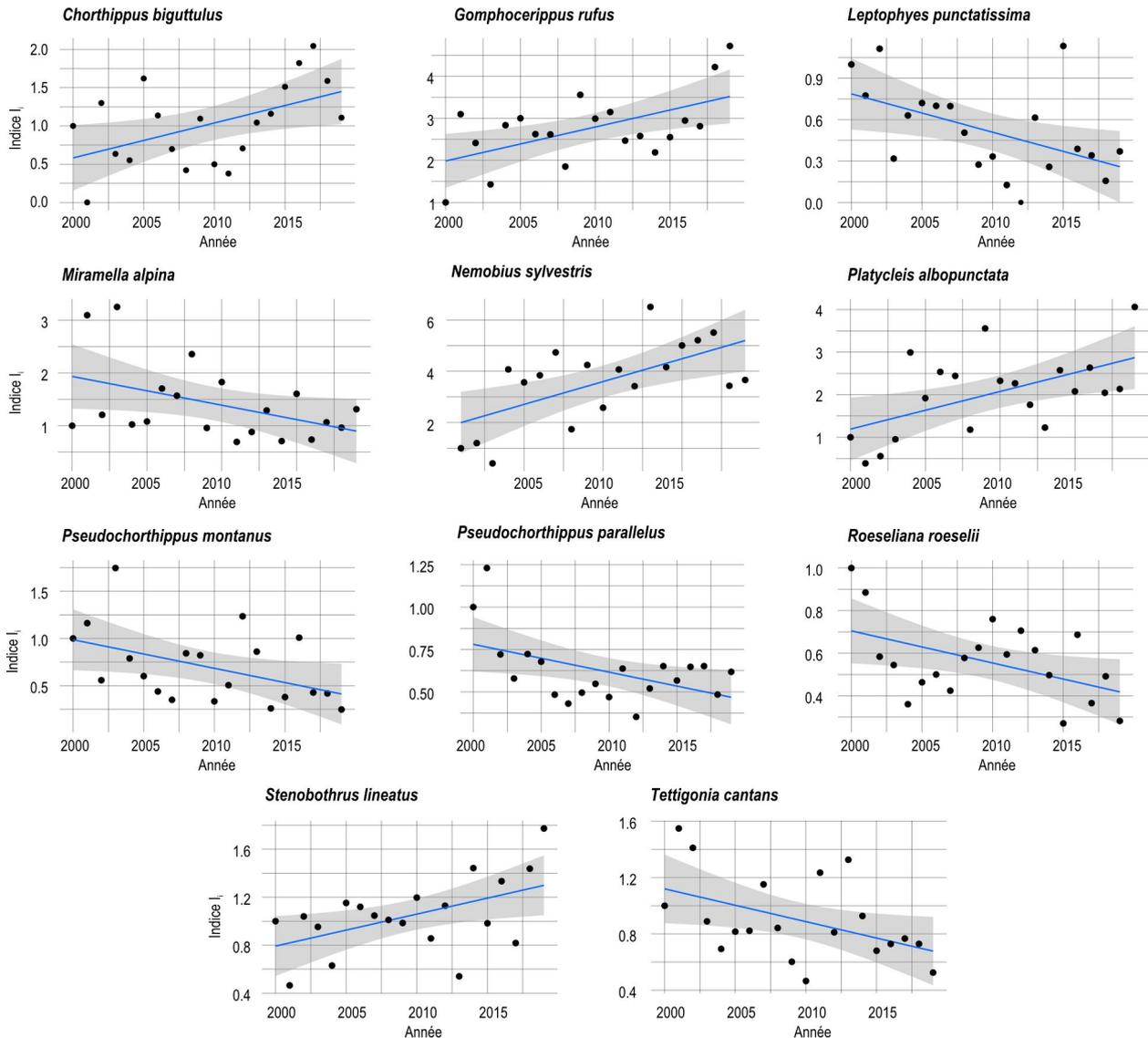
Espèces	Tendance 2000-2019	$p$ -valeur	$R^2$
<i>Chorthippus biguttulus</i>	+	*	25%
<i>Gomphocerippus rufus</i>	+	**	32%
<i>Leptophyes punctatissima</i>	-	*	25%
<i>Miramella alpina</i>	-	*	19%
<i>Nemobius sylvestris</i>	+	**	38%
<i>Platycleis albopunctata</i>	+	*	30%
<i>Pseudochorthippus montanus</i>	-	*	20%
<i>Pseudochorthippus parallelus</i>	-	*	24%
<i>Roeseliana roeselii</i>	-	*	22%
<i>Stenobothrus lineatus</i>	+	*	25%
<i>Tettigonia cantans</i>	-	*	21%

années sur le nombre d'observations (respectivement  $p=0,02$ ,  $p=0,02$  et  $p=0,03$ ). Bien qu'elles soient généralement peu exigeantes, les occurrences les plus fréquentes de ces espèces au-delà de 400 m sont rencontrées dans des habitats frais et humides.

Deux espèces à tendance thermophile habituellement réparties à basse altitude dans la région, *Platycleis albopunctata* (Goeze, 1778) et *Stenobothrus lineatus* (Panzer, 1796) (Figure 4A), montrent une augmentation de leur nombre d'observations au-delà de 400 m d'altitude avec un effet significatif des années (respectivement  $p=0,02$  et  $p=0,01$  ; Figure 3). Enfin, trois autres espèces de basse altitude dans la région colonisent de plus en plus les habitats au-dessus de 400 m ces 20 dernières années avec une tendance significative, *Chorthippus biguttulus* (Linnaeus, 1758), *Gomphocerippus rufus* (Linnaeus, 1758) et *Nemobius sylvestris* (Bosc, 1792) (Figures 4A-B) (respectivement  $p=0,02$ ,  $p=0,008$  et  $p=0,004$  ; Figure 3).

### DISCUSSION

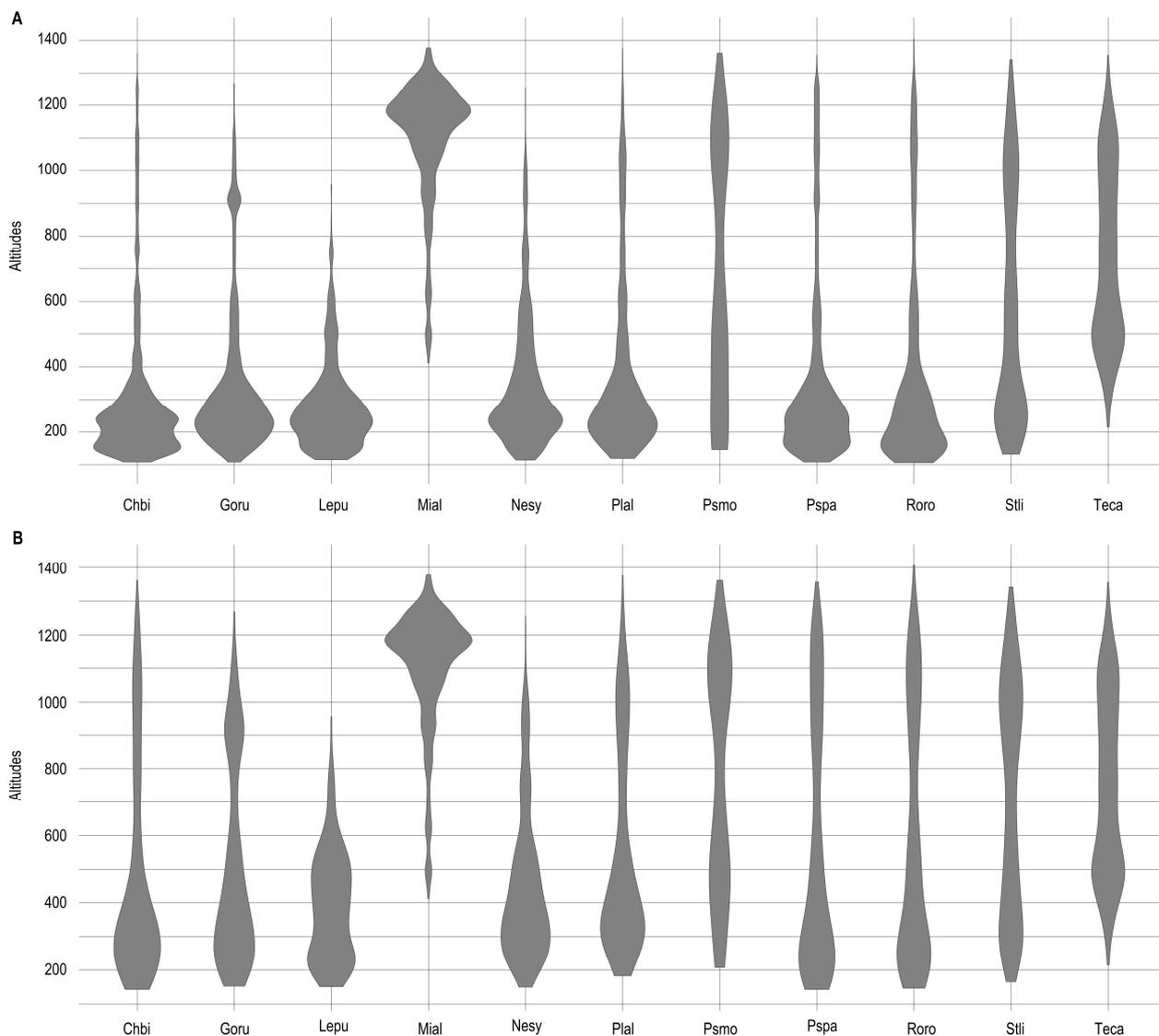
Les Orthoptères étant des espèces ectothermes avec en général des capacités de dispersion plus ou moins importantes selon les espèces (Hochkirch *et al.* 2016 ; Picaud & Petit 2007 ; Reinhardt *et al.* 2005), les utiliser comme modèles pour étudier les réponses des espèces aux changements climatiques semble particulièrement approprié (Fumy *et al.* 2020, Kenyeres & Cservenka 2014 ; Kenyeres *et al.* 2019 ; Löffler *et al.* 2019 ; Poniatowski *et al.* 2018). Notre approche avait pour objectif de détecter s'il existait un effet visible sur les populations à partir d'un jeu de données opportuniste et hétérogène. En effet, le jeu de données utilisé émanait de données collectées de manière non standardisée, et par conséquent, comportait de fortes



**Figure 3** – Variation temporelle de l'indice  $I_i$  montrant les tendances de fréquentation des altitudes au-delà de 400 m pour onze espèces d'Orthoptères présentes sur les collines sous-vosgiennes et le massif vosgien en Alsace.

variations temporelles et spatiales (Figure 5). De ce fait, nous n'avons pas confronté ces données à des variables environnementales et climatiques pour détecter leur effet sur les espèces. Cependant, nos résultats mettent en évidence des tendances significatives pour onze espèces qui pourraient être imputées en partie aux variations climatiques induites par les changements globaux. Les analyses suggèrent une réduction de l'amplitude altitudinale des espèces orophiles (c.-à-d. montagnardes), une baisse d'effectifs d'espèces de milieux frais et humides d'altitudes moyennes, et une colonisation des habitats de haute altitude par des espèces qui vivent habituellement, du moins dans le massif des Vosges, à des altitudes basses à moyennement basses. C'est ce type de patron d'évolution des aires de répartition induite par les variations climatiques qui est observé dans d'autres régions (Löfller *et al.* 2019 ; Roth *et al.* 2014), ce qui suggère que les changements globaux pourraient avoir une influence dans les modifications d'aires des Orthoptères vosgiens.

Le cas de *Miramella alpina*, une espèce squamiptère (ailes peu développées) à capacités de colonisation très limitées appartenant au cortège hygrophile d'altitude (Figure 6A), est problématique en termes de conservation. Il pose la question du devenir des reliques glaciaires totalement isolées des autres populations les plus proches qui se trouvent également en montagne (Forêt Noire, Jura et Alpes). Outre, la disparition des stations dans les Vosges moyennes (Champ du Feu) au siècle dernier (Döderlein 1912), plusieurs mailles sur la bordure orientale des Hautes-Vosges à plus basse altitude n'ont pas été renseignées depuis une dizaine d'années malgré des recherches spécifiques. Pour *Pseudochorthippus montanus*, aujourd'hui réfugié en grande partie sur les reliefs étant donnée la quasi-disparition des habitats en plaine, le constat de déclin est similaire et aggravé par la raréfaction des milieux favorables sur les reliefs.

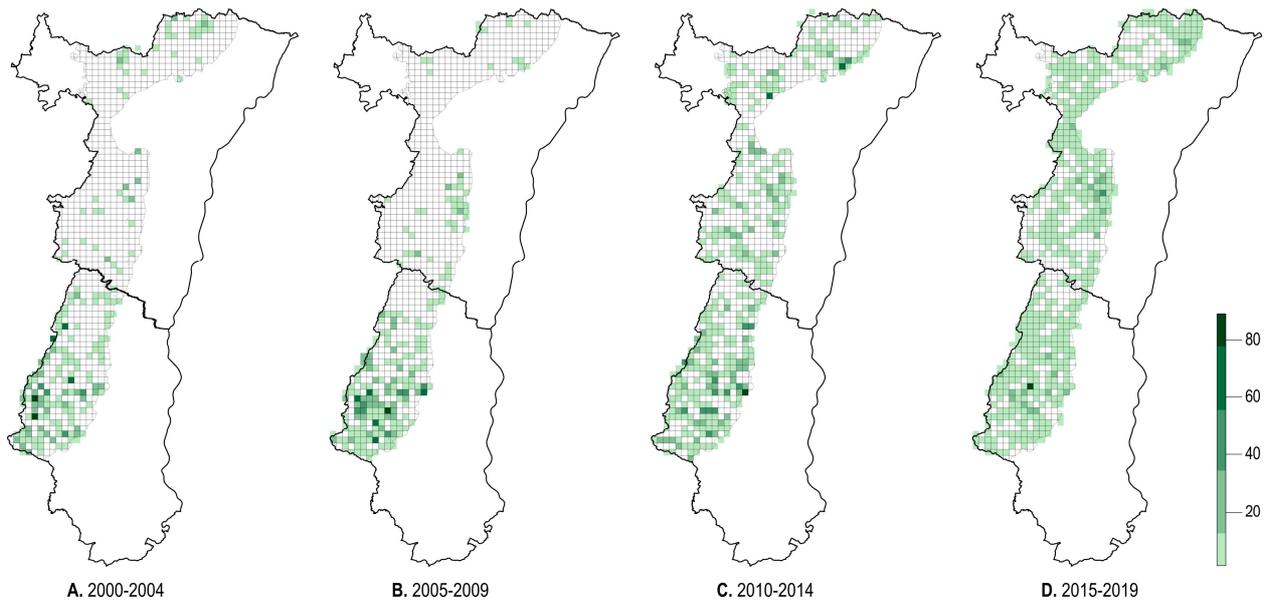


**Figure 4** – Distribution du nombre de données total par altitude pour onze espèces (se reporter au Tableau 1 et à la Figure 3) sur l'ensemble de l'Alsace en **A** et uniquement sur l'aire d'étude en **B** (massif vosgien et collines sous-vosgiennes).

**Chbi** *Chorthippus biguttulus* ; **Goru** *Gomphocerippus rufus* ; **Lepu** *Leptophyes punctatissima* ; **Mial** *Miramella alpina* ; **Nesy** *Nemobius sylvestris* ; **Plal** *Platycleis albopunctata* ; **Psmo** *Pseudochorthippus montanus* ; **Pspa** *Pseudochorthippus parallelus* ; **Roro** *Roeseliana roeselii* ; **Stli** *Stenobothrus lineatus* ; **Teca** *Tettigonia cantans*.

Dans le massif des Vosges, nos résultats montrent une tendance globale (1) d'une apparition récente de cinq espèces de basse altitude dans des habitats montagnards et (2) d'un apparent déclin de six espèces d'affinités plus montagnardes. La tendance à l'expansion vers l'altitude des espèces thermophiles ou eurythermes comme *Platycleis albopunctata*, *Nemobius sylvestris*, *Gomphocerippus rufus* et *Stenobothrus lineatus* (Figure 6B) est concordante avec ce qui est observé ailleurs en Europe centrale (Löfller *et al.* 2019 ; Fumy *et al.* 2020), bien que nos résultats ne permettent pas de déterminer l'origine de ce glissement de répartition, qui pourrait être imputé à une modification d'habitats ou à d'autres facteurs pour l'instant indéterminés. Des espèces plus spécialistes comme *Tettigonia cantans* régressent dans les habitats humides (Poniatowski *et al.* 2018 ; Loeffler *et al.* 2019). Finalement en plaine comme sur les

reliefs, la superficie des habitats humides se réduit progressivement au détriment des habitats plus secs dans toute l'Europe centrale. Dans une chaîne de basses montagnes en Rhénanie du Nord-Westphalie (330 à 580 m d'altitude), Löfller *et al.* (2019) ont détecté, entre 1994 et 2015, une augmentation de la richesse spécifique due au réchauffement climatique dans les prairies bien gérées. À l'inverse, dans le bassin des Carpates, la diminution significative de l'abondance des espèces modérément hygrophiles dans les prairies humides, comme *Roeseliana roeselii*, semble corrélée à l'augmentation de la température moyenne annuelle entre 2002 et 2017 (Kenyeres *et al.* 2019). En Allemagne, depuis la fin des années 1980, 26 des 79 espèces ont pu étendre leur aire de répartition en lien avec la forte augmentation des températures moyennes estivales et annuelles (Poniatowski *et al.* 2018). D'autres espèces d'apparition récente



**Figure 5** – Nombre de données par mailles de 2 km x 2 km par tranches de cinq années sur la période considérée au sein de la zone d'étude. La barre colorée à droite indique le nombre de données par maille.

dans l'aire d'étude et non prises en compte dans notre analyse, faute de données, semblent montrer des tendances similaires. C'est le cas par exemple de *Ruspolia nitidula* (Scopoli, 1786), qui a été mentionné pour la première fois au Ballon d'Alsace en 2009. Sept autres observations sont venues confirmer sa présence dans les Hautes-Vosges entre 2016 et 2019 (altitude maximale de 1 240 m), dont la reproduction dans le massif reste à confirmer (d'Agostino 2020). *Calliptamus italicus* (Linnaeus, 1758) suit la même expansion et se reproduit aujourd'hui dans le massif. Progressant dans les vallées vosgiennes (ex : vallée de la Bruche), il a désormais atteint les Hautes-Vosges où il a pour le moment colonisé, probablement par "sauts" de colonisation, un peu moins d'une dizaine de sites à des altitudes supérieures à 700 m et jusqu'aux plus hautes altitudes (altitude maximale 1 284 m).

Des preuves de reproduction (juvéniles) ont été observées sur plusieurs de ces sites et suggèrent l'existence de populations montagnardes reproductrices apparues en 2018 ou antérieurement (d'Agostino 2020). Les observations dans les Vosges sont finalement de plus en plus nombreuses chaque année. Pour les espèces d'affinité montagnarde et subalpine dont

la tendance est significativement à la baisse dans le massif vosgien (*Miramella alpina*, *Pseudochorthippus montanus* et *Tettigonia cantans*), le réchauffement induit par les changements climatiques pourrait représenter une menace à l'avenir car les reliefs ne disposent pas ici de réserve altitudinale, à l'inverse d'autres massifs où des tranches altitudinales plus élevées existent (Poniatowski *et al.* 2018). C'est particulièrement vrai pour les espèces à ailes tronquées ou aptères qui ont des capacités de dispersion réduites. Elles sont de ce fait plus vulnérables au réchauffement climatique (Löfller *et al.* 2019). Cette situation s'observe par exemple chez *Pseudochorthippus montanus* qui est fortement limité à son habitat et peu apte à traverser de grandes distances à travers une végétation inadaptée (Reinhardt *et al.* 2005 ; Weyer *et al.* 2012). Pour cette espèce, l'apparition d'individus macroptères pourrait cependant réduire le risque d'extinction car les longues distances parcourues par ces individus permettent de coloniser des nouveaux sites quand les habitats deviennent défavorables. Aussi, d'autres espèces orophiles des Vosges comme *Polysarcus denticauda* (Charpentier, 1825), non prise en compte dans cette étude faute de données, sont menacées ou quasi menacées en



**Figure 6** – Accouplement de *Miramella alpina* (en A), une espèce d'altitude dont l'aire s'est rétractée entre 2000 et 2019 (Photographie Roberto d'Agostino) ; Femelle de *Stenobothrus lineatus* (en B), une espèce thermophile dont l'aire s'étend en altitude depuis la période 2000-2019 (Photographie Jean-Pierre Vacher).

Alsace (d'Agostino *et al.* 2015). Cette dernière se rencontre en effet dans une niche écologique restreinte, et sans possibilité de se réfugier plus en altitude ou encore de se décaler vers le nord (Vosges du Nord ou Palatinat par exemple), en raison de la discontinuité des milieux favorables et des barrières entravant une éventuelle colonisation, qu'elles soient naturelles (fleuves, rivières, grands massifs forestiers) ou artificielles (infrastructures de transports, agglomérations).

Les Orthoptères du massif vosgien font face à des menaces qui vont certainement s'accroître ces prochaines années, à l'instar de ce qui est observé dans d'autres régions du globe, comme en Allemagne et dans l'ouest des États-Unis par exemple (Nufio *et al.* 2010 ; Poniatowski *et al.* 2018). Comme nos résultats se basent sur des données opportunistes, la mise en place d'un protocole de suivi standardisé avec disposition aléatoire de placettes sur l'ensemble du massif permettrait d'affiner ce travail. En effet, cela pourrait permettre de mieux comprendre les relations entre variables climatiques ou environnementales, l'évolution des tendances des espèces et la composition des communautés (Mourguiart *et al.* 2020). Ainsi, il serait possible de déterminer si les changements de répartitions observés au cours du temps sont à imputer aux changements climatiques ou à d'autres facteurs, comme la modification des habitats, à une sous-détection de certaines espèces, ou à d'autres facteurs non identifiés jusqu'à présent.

**Remerciements** – Nous tenons à remercier Bernard Defaut et Eric Sardet pour leur relecture critique du manuscrit qui a permis de l'améliorer, ainsi que Jacques Thiriet pour ses corrections du texte. Nous remercions également Jean-Michel Bichain pour ses encouragements lors de la phase éditoriale.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bäsler C., Hothorn T., Brandl R. & Müller J. 2013. Insects overshoot the expected upslope shift caused by climate warming. *PLoS ONE*, 8 (6) : e65842.
- Chen I.-C., Hill J., Ohlemüller R., Roy D.B. & Thomas C.D. 2011. Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. *Science*, 133 (6045) : 1024-1026.
- d'Agostino R., Treiber R. & Jacob J.-C. 2015. *Les sauterelles, grillons et criquets (orthoptères)*. In Heuacker V., Kaempf S., Moratin R. & Muller Y. (coords.) Livre rouge de la nature menacée en Alsace. Collection Conservation, Strasbourg, ODONAT : 115-125.
- d'Agostino R. (coord.) 2020. *Atlas préliminaire des Orthoptères d'Alsace*. Faune-Alsace document n°1b : 90 pp. Document numérique : [https://www.faune-alsace.org/index.php?m\\_id=20372](https://www.faune-alsace.org/index.php?m_id=20372)
- Département de la santé des forêts - Pôle Nord-Ouest santé des forêts - DRAAF/SRAL Centre Val de Loire. 2018. *Le front d'expansion de la chenille Processionnaire du Pin (Thaumetopoea pityocampa) progresse toujours*. 4 pp. Document numérique : <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/90781?token=d90fd144835a198cfc6f8183a34860764e0f74e6a777875650d305962de66b5>
- Département de la santé des forêts - Pôle Nord-Ouest santé des forêts - DRAAF/SRAL Centre Val de Loire. 2015. *Bilan de la surveillance de la chenille du Processionnaire du Pin (Thaumetopoea pityocampa). Cycle biologique 2015/2016*. 15 pp. Document numérique : <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/84305?token=60ca5b4bb0f6490225ddb2ff814a986138106a2c49bcd40b2eadeb1c3ddeb5d>
- Döderlein L., 1912. Über die im Elsass einheimischen Heuschrecken. *Mitteilungen der Philomathischen Gesellschaft in Elsass-Lothringen*, 4 (4) : 587-601.
- Fumy F., Löffler F., Samways M.-J. & Fartmann T. 2020. Response of Orthoptera assemblages to environmental change in a low-mountain range differs among grassland types. *Journal of Environmental Management*, 256 : 109919. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109919
- Giacona F., Eckert N., Morin S., Verfaillie D., Lafaysse M. & Francois H., (conférence invitée). 2018. «Projections climatiques des conditions météorologiques dans le Massif des Vosges, perspectives pour les stations de sports d'hiver», Atelier de développement «Changement climatique : quels futurs pour l'enneigement du Massif des Vosges ?», organisé par Alsace Destination Tourisme et la CCI Alsace Eurométropole, 29 mars 2018, Cref, Colmar, France.
- GISTEMP Team 2020. *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4*. NASA Goddard Institute for Space Studies. Dataset accessed 2020-02-02 at <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
- Heuacker V., Kaempf S., Moratin R. & Muller Y. (coords.) 2015. *Livre rouge de la nature menacée en Alsace*. Collection Conservation, Strasbourg, ODONAT, 512 pp.
- Hochkirch A., Nieto A., García Criado M., Cáliz M., Braud Y., Buzzetti F.M., Chobanov D., Odé B., Presa Asensio J.J., Willems L., Zuna-Kratky T., Barranco Vega P., Bushell M., Clemente M.E., Correas J.R., Dusoulier F., Ferreira S., Fontana P., García M.D., Heller K.-G., Iorgu I.Ş., Ivković S., Kati V., Kleukers R., Krištin A., Lemonnier-Darcemont M., Lemos P., Massa B., Monnerat C., Papapavlou K.P., Prunier F., Pushkar T., Roesti C., Rutschmann F., Širin D., Skejo J., Szövényi G., Tzirkalli E., Vedenina V., Barat Domenech J., Barros F., Cordero Tapia P.J., Defaut B., Fartmann T., Gomboc S., Gutiérrez-Rodríguez J., Holuša J., Illich I., Karjalainen S., Kočárek P., Korsunovskaya O., Liana A., López H., Morin D., Olmo-Vidal J.M., Puskás G., Savitsky V., Stalling T. & Tumbrinck J. 2016. European Red List of Grasshoppers, Crickets and Bush-crickets. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 94 pp.
- Kenyeres Z. & Cservenka J. 2014. Effects of Climate Change and Various Grassland Management Practices on Grasshopper (Orthoptera) Assemblages. *Advances in Ecology*, ID 601813 : 10 pp. doi:10.1155/2014/601813
- Kenyeres Z., Takács G. & Bauer N. 2019. Response of orthopterans to macroclimate changes: A 15-year case study in Central European humid grasslands. *Journal of Orthoptera Research*, 28 (2) : 187-193.
- Lenoir A., Gégout J.-C., Marsuet P.-A., de Ruffray P. & Bris H. 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science*, 320 (5884) : 1768-1771.
- Lenßen N., Schmidt G., Hansen J., Menne M., Persin A., Ruedy R. & Zyss D. 2019. Improvements in the GISTEMP uncertainty model. *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, 124 (12) : 6307-6326.
- Löffler F., Poniatowski D. & Fartmann T. 2019. Orthoptera community shifts in response to land-use and climate change – Lessons from a long-term study across different grassland habitats. *Biological Conservation*, 236 : 315-323.
- Météo France (s.d.). Alsace. L'évolution constatée du climat. Consulté sur <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>
- Mourguiart B., Couturier T., Braud Y., Mansons J., Combrisson D. & Besnard A. 2020. Multi-species occupancy models: an effective and flexible framework for studies of insect communities. *Ecological Entomology*, doi: 10.1111/een.12991.
- Nufio C.R., McGuire C.R., Deans Bowers M. & Guralnick R.P. 2010. Grasshopper community response to climatic change: Variation along an elevational gradient. *PLoS ONE*, 5 (9) : e12977. (ref?)
- Parmesan C. 2006. Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37 : 637-669.
- Parmesan C. & Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421 : 37-42.

- Parmesan C., Ryrholm N., Stefanescu C., Hill J.K., Thomas C.D., Descimon H., Huntley B., Kaila L., Kullberg J., Tammaru T., Tennent W.J., Thomas J.A. & Warren M. 1999.** Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, 399 : 579-583.
- Picaud F. & Petit D.P. 2007.** Primary succession of Acrididae (orthoptera) : Differences in displacement capacities in early and late colonizers of new habitats. *Acta Oecologica*, 23 (1) : 59-66.
- Poloczanska E., Brown C., Sydeman W., Kiessling W., Schoeman D., Moore P., Brander K., Bruno J., Buckley L. & Burrows M. 2013.** Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, 3 : 919-925. doi:10.1038/nclimate1958
- Poniatowski D., Münsch T., & Helbing F. & Fartmann T. 2018.** Range shifts of Central European Orthoptera as a response to climate change. *Natur und Landschaft*, 93 : 919-925.
- R Core Team 2016.** R : A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Reinhardt K., Köhler G., Maas S. & Detzel P. 2005.** Low dispersal ability and habitat specificity promote extinctions in rare but not in widespread species: the Orthoptera of Germany. *Ecography*, 28 : 593-602.
- Root L., Price J.T., Hall K.R., Schneider S.H., Rosenzweig C. & Pounds J.A. 2003.** Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421 (6918): 57-60.
- Roth T., Plattner M. & Amrhein V. 2014.** Plants, birds and butterflies: Short-term responses of species communities to climate warming vary by taxon and with altitude. *PLoS ONE*, 9 (1) : e82490. doi:10.1371/journal.pone.0082490
- Seebacher F., White C.R., Franklin C.E. 2014.** Physiological plasticity increases resilience of ectothermic animals to climate change. *Nature Climate Change*, 5: 61-66.
- Urban M.C. 2015.** Accelerating extinction risk from climate change. *Science*, 348 (6234) : 571-573.
- Weyer J., Weinberger J. & Hochkirch A. 2012.** Mobility and microhabitat utilization in a flightless wetland grasshopper, *Chorthippus montanus* (Charpentier, 1825). *Journal of Insect Conservation*, 16:379-390.

**Soumis le** 06 septembre 2020

**Publié le** 31 mars 2021