

# Quels facteurs influencent la richesse en orthoptères des Préalpes vaudoises?

Autor(en): **Pradervand, Jean-Nicolas / Dubuis, Anne / Reymond, Alain**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **93 (2012-2013)**

Heft 4

PDF erstellt am: **14.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-357996>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



## Quels facteurs influencent la richesse en orthoptères des Préalpes vaudoises?

par

Jean-Nicolas PRADERVAND<sup>1, 4</sup>, Anne DUBUIS<sup>1, 3</sup>, Alain REYMOND<sup>1</sup>, Vincent SONNAY<sup>3</sup>, Aurore GELIN<sup>4</sup>, Antoine GUISAN<sup>1, 2</sup>

*Résumé.*—PRADERVAND J.-N., DUBUIS A., REYMOND A., SONNAY V., GELIN A. & GUISAN A., 2013. Quels facteurs influencent la richesse en orthoptères des Préalpes vaudoises? *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 93.4: 155-173.

Les Préalpes vaudoises sont une vaste zone de 700 km<sup>2</sup> dotée d'un important gradient altitudinal et abritant par conséquent une grande richesse floristique et animale. Durant l'été 2012, nous avons visité 202 points sélectionnés aléatoirement et sur lesquels des relevés exhaustifs de la faune orthoptérique ont été réalisés. Cet échantillonnage nous a permis d'observer 41 espèces, soit 80% des espèces précédemment connues au sein de la zone d'étude. Les milieux secs et bien exposés de moyenne altitude sont les plus riches avec jusqu'à 15 espèces dans une surface de 50 m x 50 m. Cependant, des pâturages situés jusqu'à 1800 m d'altitude peuvent également constituer des milieux d'une grande richesse. L'exposition, la température et l'humidité ont un grand impact sur les communautés d'orthoptères et influencent directement la richesse spécifique. Au regard de la richesse importante de la zone d'étude, il convient de maintenir au maximum des milieux exploités de façon extensive, favorables aux espèces prairiales qui sont majoritaires dans notre échantillonnage. Néanmoins, il est aussi important de prendre des mesures de conservation ciblées pour limiter le déclin et l'isolement des populations d'orthoptères liés aux milieux humides ou pionniers, espèces les plus menacées en Suisse actuellement.

*Mots clés:* orthoptère, richesse spécifique, Alpes vaudoises

*Abstract.*—PRADERVAND J.-N., DUBUIS A., REYMOND A., SONNAY V., GELIN A. & GUISAN A., 2013. Which factors influence orthoptera's species richness in the Western Alps? *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 93.4: 155-173.

The western Alps of Switzerland are a vast area of 700 km<sup>2</sup> with an important elevation gradient providing shelter to a great species richness. During the summer 2012 we visited 202 randomly selected sites and made an exhaustive sample of the orthopteran fauna. We recorded 41 species representing 80% of the species known to inhabit the area. Dry and south-exposed sites at mid elevation show the greatest species richness with up to 15 species within a 50 m per 50 m area. However, pastures up

<sup>1</sup>Université de Lausanne, département d'Ecologie et d'Evolution.

<sup>2</sup>Université de Lausanne, Faculté de Géosciences.

<sup>3</sup>Bureau d'études en environnement A.MAIBACH Sàrl.

<sup>4</sup>Avenue du Temple 6, CH-1012 Lausanne.

Correspondance: Jean-Nicolas Pradervand, Département d'écologie et d'évolution, Université de Lausanne, CH-1015 Lausanne; e-mail: jean-nicolas.pradervand@unil.ch

to 1800 m can also show a great species richness. Exposure, temperature and moisture have a strong impact on orthopteran communities and influence directly the number of species present at a site. Due to the great richness of the studied area, it is important to maintain pastures and grasslands exploited extensively as they are favorable to a great diversity of species. It is nevertheless important to take also targeted conservation measures to limit the decrease and isolation of the most threatened species related to wetland or pioneer areas.

*Keywords:* grasshoppers, species richness, Western Alps.

*Zusammenfassung.*—PRADERVAND J.-N., DUBUIS A., REYMOND A., SONNAY V., GELIN A. & GUISAN A., 2013. Welche Faktoren beeinflussen die Vielfalt der orthopterischen Fauna der Waadtländer Voralpen? *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 93.4: 155-173.

Die Waadtländer Voralpen umfassen ein Gebiet von ca. 700 km mit großen Höhendifferenzen. Flora und Fauna sind deshalb sehr reichhaltig. Ab 2002 wurden in dieser Gegend Inventare der Vegetation, der Schmetterlinge und Hummeln erhoben. Im Sommer 2012 haben wir in diesem Gebiet an 202 zufällig ausgelesenen Orten umfassende Proben der orthopterischen Fauna gesammelt. Diese Erfassung erlaubte uns 41 Arten zu beobachten, wovon 80% schon aus den früheren Studien in dieselbe Region bekannt waren. Trockene und sonnenexponierte Umwelt zeigte die größte Vielfalt an Individuen mit bis zu 15 Arten auf einer Oberfläche von 50m x 50m. Exposition, Temperatur und Feuchtigkeit beeinflussen direkt den Reichtum an Orthopteren. Aber auch auf einigen Weiden bis 1800 m Höhe kann man noch eine Umwelt mit großem Artenreichtum vorfinden. Die große Artenvielfalt in den untersuchten Gebieten sollten uns dazu führen die Umgebungen, die sehr günstig für die Wiesenarten sind, zu erhalten. Letztere sind eindeutig am meisten in unseren Proben vertreten. Es ist aber auch wichtig spezifische Maßnahmen zu treffen zur Erhaltung der Orthopteren, um deren Niedergang zu bremsen. Ebenfalls sollte man die Isolation der Orthopterenvölker welche an feuchte Gebiete gebunden sind vermeiden. Das betrifft auch die Pioniergebiete. Diese Arten sind zur Zeit am meisten bedroht in der Schweiz.

*Stichworten:* Heuschrecken, Spezifische Reichtum, Waadtländer Voralpen.

## INTRODUCTION

L'utilisation de groupes taxonomiques pour évaluer la qualité écologique des milieux est une méthode bien répandue en écologie des milieux et de la conservation. Le principe de base veut qu'en utilisant un groupe d'espèces facilement identifiables, on puisse juger de la qualité et du degré de préservation d'un milieu. Cela se fait en fonction de la diversité des espèces que l'on peut y trouver ou en fonction de la présence d'espèces ayant des exigences écologiques strictes (espèces sténoèces) (DUFRÉNE & LEGENDRE 1997). Qu'il s'agisse de vertébrés (comme les oiseaux ou les amphibiens) ou d'invertébrés (comme les odonates, les papillons de jour ou les orthoptères), la composition de leurs communautés reflète directement la qualité de l'habitat. Les orthoptères sont particulièrement intéressants pour la catégorisation des milieux ouverts (FISCHER *et al.* 1997) puisqu'on les trouve dans une large gamme de milieux, des marais et zones alluviales aux prairies et pâturages maigres. De plus, ils ont la particularité de pouvoir être identifiés tant en main qu'à leur stridulation, ce qui augmente leur détectabilité (RIEDE 1998). L'intérêt pour ce groupe taxonomique est en outre renforcé par le fait que, dans les milieux prairiaux, les orthoptères constituent souvent une part importante de la biomasse invertébrée (GANGWERE *et al.* 1997), et jouent donc à ce titre un rôle important dans les réseaux trophiques (OEDEKOVEN & JOERN 1998).

On trouve parmi les orthoptères deux groupes principaux: les caelifères (*Caelifera*) et les ensifères (*Ensifera*). Les caelifères, plus communément appelés «criquets», sont identifiables par leurs antennes plus courtes que leur corps tandis que les ensifères, plus connus sous le nom de «sauterelles», ont des antennes dépassant la longueur de leur corps.

Ces deux groupes, bien que fréquentant des habitats similaires, ont toutefois une écologie assez différente. Les caelifères sont actifs de jour et se nourrissent, pour la plupart, de végétaux, de mousses ou de lichens tandis que les ensifères consomment autant de végétaux que de proies animales, quelques espèces chassant même d'autres orthoptères. Certaines espèces d'ensifères comme la decticelle bariolée (*Metrioptera roeselii*) ou le barbitiste ventru (*Polysarcus denticauda*) sont actives et chantent de jour tandis que d'autres espèces comme le phanéroptère porte-faux (*Phaneroptera falcata*) ou la decticelle chagrinée (*Platycleis albopunctata*) relativement discrètes de jour ont leur maximum d'activité de nuit.

On notera que bien qu'étant éloignés génétiquement des sauterelles (*Tettigonidae*) et présentant un mode de vie relativement différent, les grillons (*Grylloidea*) et les courtilières (*Gryllotalpoidea*) sont tout de même intégrés aux ensifères. En Suisse, la richesse spécifique des ensifères et des caelifères est assez similaire avec 49 espèces d'ensifères et 57 espèces de caelifères actuellement recensées (MONNERAT *et al.* 2007).

Les deux principaux facteurs influençant la distribution des orthoptères à large échelle, au niveau latitudinal ou altitudinal, sont la température et l'humidité (BAUR *et al.* 2006). Principalement représentés dans les milieux ouverts ou buissonnants, ils sont aussi directement influencés par la richesse de la végétation (STECK & PAUTASSO 2008) et sa structure. Cette dernière joue un rôle important pour la survie des orthoptères car ses microstructures offrent une protection contre les prédateurs (BAUR *et al.* 2006). La qualité de l'environnement dans lequel ils vivent est essentielle, tout comme le type d'utilisation du sol et l'intensité de son exploitation (WETTSTEIN & SCHMID 1999, MARINI *et al.* 2009c). En effet, les orthoptères sont soumis à des menaces principalement liées à la destruction de leurs habitats. Dans le domaine agricole, l'intensification des pratiques ainsi que l'abandon des zones marginales et des secteurs jugés peu rentables constituent les principales causes de déclin des espèces de prairies et pâturages (HUMBERT *et al.* 2009). Le drainage des milieux humides, la correction des cours d'eau sont les principales causes de régression des espèces liées aux milieux humides. Finalement, la fragmentation des milieux joue également un rôle important dans le déclin des populations d'orthoptères en isolant des populations autrefois reliées et en limitant par conséquent le transfert de gènes entre populations (BRASCHLER *et al.* 2009). Une connaissance complète de la répartition des espèces et de leurs préférences écologiques est donc utile autant pour la conservation de ces espèces que pour l'évaluation de la qualité des milieux.

La région des Préalpes vaudoises s'est avérée particulièrement intéressante pour l'étude de la biodiversité. Elle recouvre un gradient d'altitude important et comprend une grande diversité de milieux naturels. Sa végétation a été inventoriée dans le cadre de plusieurs projets scientifiques (RANDIN *et al.* 2009, DUBUIS *et al.* 2011) et il en va de même pour deux groupes d'insectes: les papillons (PELLISSIER *et al.* 2012, PRADERVAND 2011) et les bourdons (PRADERVAND *et al.* 2011).

Ce travail a plusieurs buts; premièrement faire un inventaire des espèces d'orthoptères présentes dans les Préalpes vaudoises, deuxièmement décrire la répartition de ces espèces en fonction de leur environnement, et enfin troisièmement déterminer les zones présentant potentiellement une haute richesse spécifique.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

*Zone d'étude*

La zone d'étude est située dans les Préalpes vaudoises, région de 700 km<sup>2</sup> située entre Vevey, Bex et Rougemont (figure 1). Cette zone présente un fort gradient d'altitude, de 375 m dans la plaine du Rhône à 3210 m au sommet du massif des Diablerets. Le climat de la région est tempéré avec des précipitations variant entre 1200 mm à 600 m d'altitude et 2600 mm à 3000 m, et des températures moyennes comprises entre 8°C en plaine et -5°C au point le plus haut (BOUËT 1985).

La végétation de la zone est déterminée par l'altitude mais dépend aussi grandement de l'influence humaine. Les zones où la forêt est absente sont utilisées comme pâturages ou prairies de fauche et sont, à ce titre, fertilisées, surtout à basse altitude. En dessus de la limite de la forêt, la fertilisation devient moindre mais les surfaces sont souvent employées pour la pâture estivale.

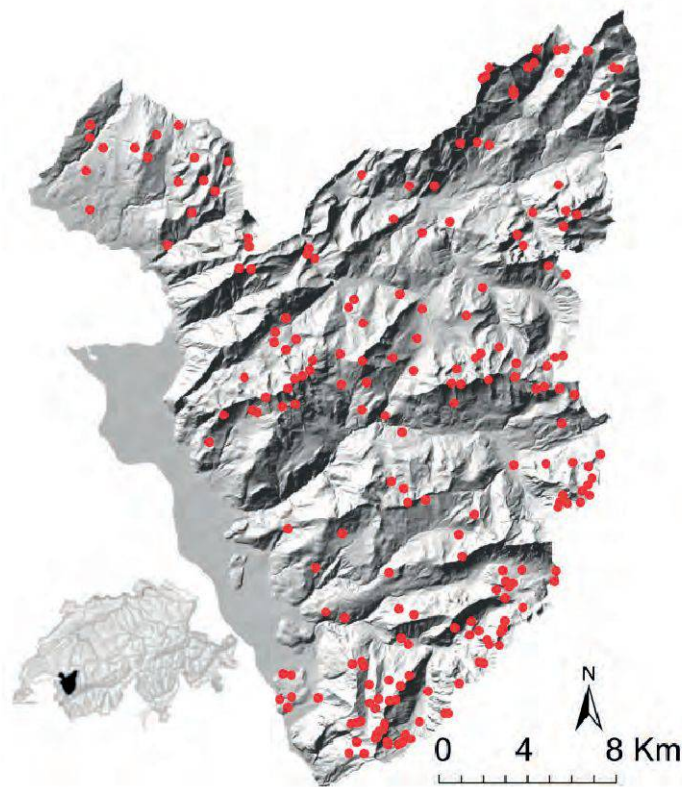


Figure 1.—Zone d'étude avec en rouge les 202 points d'échantillonnage.

*Echantillonnage*

L'échantillonnage aléatoire stratifié utilisé dans le cadre de la présente recherche s'est employé à diviser la zone d'étude en différentes strates suivant les trois paramètres que sont l'altitude, la pente et l'exposition (HIRZEL & GUISAN 2002). Cela permet de sélectionner

de façon aléatoire un certain nombre de points par strate altitudinale, répartis de façon homogène pour les différentes valeurs d'exposition et de pente. Ce type d'échantillonnage a comme intérêt d'explorer toutes les conditions environnementales possibles sans privilégier, volontairement ou non, certaines zones, pouvant ainsi biaiser par la suite les analyses. Le nombre de points va ensuite influencer le nombre d'espèces trouvées. En effet, la chance de tomber sur des milieux plus riches mais aussi plus rares grandit avec la taille de l'échantillonnage. Le ratio entre milieux rares (comme par exemple certaines prairies sèches) et milieux plus fréquents (par exemple des pâturages) est en revanche toujours respecté. Cette méthode permet donc d'obtenir un aperçu représentatif des espèces les plus fréquentes dans une région donnée. Lors des relevés de la faune orthoptérique, nous avons majoritairement repris les points de nos études précédentes qui avaient fait l'inventaire des espèces végétales, des papillons ainsi que des bourdons, toujours en se limitant aux zones ouvertes (à l'exception des zones d'habitations et de cultures) et en conservant un minimum de 200 m entre les points pour éviter l'autocorrélation spatiale (DUBUIS *et al.* 2013, PRADERVAND *et al.* 2011, PELLISSIER *et al.* 2012).

Tous les sites ont été échantillonnés entre 10h et 17h, avec des conditions de température optimale pour les insectes (peu de vent, température minimale de 18°C, 14°C dans les zones les plus hautes) permettant ainsi un échantillonnage exhaustif des espèces présentes. Les sites en dessous de 1700 mètres d'altitude ont été visités deux fois durant la saison 2012 (entre le 20 juillet et le 20 septembre) tandis que les sites au-dessus de 1700 mètres n'ont été visités qu'une seule fois. Les orthoptères ont été échantillonnés dans des carrés de 50 m par 50 m. Nous avons procédé à une recherche systématique de tous les orthoptères avec une progression en spirale vers le centre du carré afin de rabattre les individus vers l'intérieur et éviter de perdre les individus très mobiles. La recherche était ensuite complétée par une prospection des zones plus particulières (buissons, zones de rocailles, éboulis, etc...) pour trouver les espèces encore non inventoriées. On notera que l'échantillonnage, effectué de jour, ne nous donne pas un aperçu similaire pour toutes les espèces. Certains ensifères comme les espèces des genres *Phanerotperpa* et *Meconema*, actifs principalement de nuit, ont très peu d'occurrences dans notre jeu de données mais sont toutefois bien représentés en plaine.

#### *Identification des espèces*

Les individus ont été identifiés en majeure partie directement sur le terrain, le plus souvent au chant ou en main après capture au filet (CORAY & THORENS 2001; BAUR *et al.* 2006; BELLMANN & LUQUET 2009). Ils ont ensuite été relâchés.

#### *Courbes d'accumulation d'espèces*

Les courbes d'accumulation d'espèces ont été calculées pour les caelifères, les ensifères, et pour les deux groupes réunis sur la base des occurrences de terrain à l'aide du package vegan (OKSANEN *et al.* 2013).

### *Amplitude altitudinale*

L'amplitude altitudinale de chaque espèce est calculée sur la base de l'altitude des relevés de terrain. Pour chaque relevé, l'altitude a été extraite sur la base du modèle numérique de terrain à 25m (Swisstopo). Ensuite pour chaque espèce les limites altitudinales ainsi que la moyenne ont été calculées.

### *Richesse spécifique des communautés en fonction des alliances végétales*

La richesse spécifique en orthoptères (nombre d'espèces différentes) a été calculée pour chaque point d'inventaire. Les relevés floristiques effectués précédemment aux mêmes points ont en outre permis, en fonction des espèces observées et de leur abondance, de déterminer à quelle alliance végétale selon DELARZE & GONSETH (2008) chacun de ces points était rattaché. Les différentes alliances végétales présentes dans la zone d'étude sont listées dans le tableau 1. La richesse spécifique de chaque communauté d'orthoptères a ensuite été mise en relation avec le type de végétation présent à cet endroit.

Tableau 1.—Noms et traductions françaises des milieux naturels selon DELARZE & GONSETH (2008).

Nom latin	Nom français	Code	Altitude minimale	Altitude maximale
<i>Mesobromion</i>	Prairie mi-sèche médio-européenne	4.2.4	200	1700
<i>Arrhenatherion</i>	Prairie de fauche de basse altitude	4.5.1	300	900
<i>Cynosurion</i>	Pâturage de basse et moyenne altitude	4.5.3	300	1300
<i>Calthion</i>	Prairie à populage	2.3.2	300	2000
<i>Seslerion</i>	Pelouse calcaire sèche à séslerie	4.3.1	500	2500
<i>Polygono-Trisetion</i>	Prairie de fauche de montagne	4.5.2	900	1900
<i>Nardion</i>	Pâturage maigre acide	4.3.5	1000	2000
<i>Petasition paradoxii</i>	Eboulis calcaire humide	3.3.1.4	1000	2200
<i>Rumicion alpini</i>	Reposoir à bétail subalpin ou alpin	7.1.7	1000	2200
<i>Caricion ferruginae</i>	Pelouse calcaire fraîche	4.3.3	1000	2300
<i>Poion alpinae</i>	Pâturage gras subalpin et alpin	4.5.4	1500	2800
<i>Caricion firmae</i>	Pelouse calcaire à laiche ferme	4.3.2	1800	2800
<i>Elymion</i>	Gazon des crêtes ventées	4.3.4	1800	3000
<i>Thlaspion rotundifolii</i>	Eboulis calcaire d'altitude sur roche dure	3.3.1.2	1800	3000
<i>Arabidion caeruleae</i>	Combe à neige calcaire	4.4.1	2000	3000

### *Richesse spécifique en fonction de l'altitude*

La relation entre le nombre d'espèces observées et l'altitude a été représentée grâce à un modèle linéaire généralisé (GLM, McCULLAGH & NELDER 1989) supposant une distribution de Poisson. Ce modèle a pour but de représenter de façon simple la richesse spécifique le long du gradient altitudinal sans pour autant la modéliser.

*Modèle de richesse spécifique*

Un modèle de richesse spécifique en orthoptères a été réalisé grâce à un modèle additif généralisé (GAM, HASTIE & TIBSHIRANI 1990) supposant une distribution de Poisson. Les prédicteurs utilisés étaient les degrés-jours (somme annuelle des degrés pour les jours dont la moyenne de température dépasse 3°C), le nombre de jours de gel par année ainsi que les radiations solaires potentielles par unité de surface calculées sur la base de la topographie, de l'altitude et de la latitude [kilojoules / jours]. Il a été démontré dans la littérature que ces prédicteurs sont importants pour expliquer la répartition et le développement des insectes (PELLISSIER *et al.* 2012). En plus des points échantillonnés par nos soins, nous avons ajouté les données provenant de 41 sites échantillonnés dans le cadre de la liste rouge des orthoptères de Suisse, et issus des bases de données du Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF). Ces points ciblent souvent des milieux plus rares, non pris en compte dans l'échantillonnage aléatoire. Pour garder la représentativité de l'échantillonnage, ces données n'ont été utilisées que dans le cadre du modèle de richesse spécifique. Le modèle a été projeté sur la zone d'étude pour obtenir une carte de richesse spécifique potentielle.

Toutes les analyses statistiques et les figures ont été réalisées avec le logiciel R (R CORE TEAM, 2013), les cartes ont été produites dans ArcGIS (ESRI, 2010).

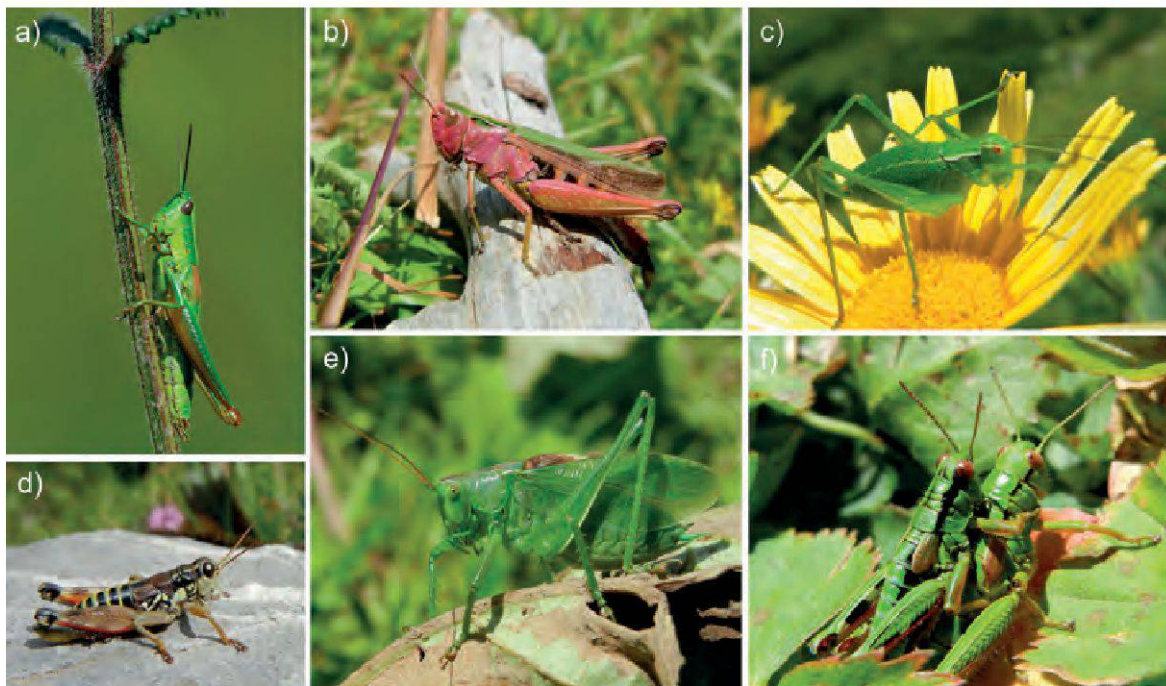


Figure 2.—Quelques espèces d'orthoptères des Préalpes vaudoises. a) Criquet des Genévriers (*Euthystira brachyptera*) reconnaissable à ses élytres rouges et sa couleur vert métallique b) Certains orthoptères peuvent présenter des morphes de couleur rose, comme ce criquet verdelet (*Omocestus viridulus*) c) Orthoptère relativement rare et discret, la leptophye ponctuée (*Leptophyes punctatissima*) n'a été trouvée qu'une seule fois dans la saison d) La miramelle des moraines (*Podisma pedestris*) est une miramelle typique des hautes altitudes e) La sauterelle cymbalière (*Tettigonia cantans*) est très similaire à la grande sauterelle verte (*Tettigonia viridissima*) mais a des ailes plus courtes, dépassant à peine l'abdomen f) La miramelle alpestre (*Miramella alpina*) se rencontre généralement à plus basse altitude que *Podisma pedestris*. Comme cette dernière, elle présente un important dimorphisme sexuel.



## RÉSULTATS

*Nombre d'espèces*

Durant l'été 2012, plus de 3500 individus de 41 espèces différentes ont été recensés dans les 202 points inventoriés (figure 2). Les relevés les plus riches contenaient jusqu'à 15 espèces (figure 3, points rouges) alors que sur certains points aucun orthoptère n'a pu être observé (figure 3, points bleus). La moyenne du nombre d'espèces observées se situe entre 5 et 6 espèces par points (moyenne = 5.7, max = 15, min = 0). L'échantillonnage pour l'ensemble des sites est relativement complet, comme en témoignent les courbes d'accumulation d'espèces qui plafonnent tant pour les caelifères que pour les ensifères à partir d'une centaine de sites (figure 4).

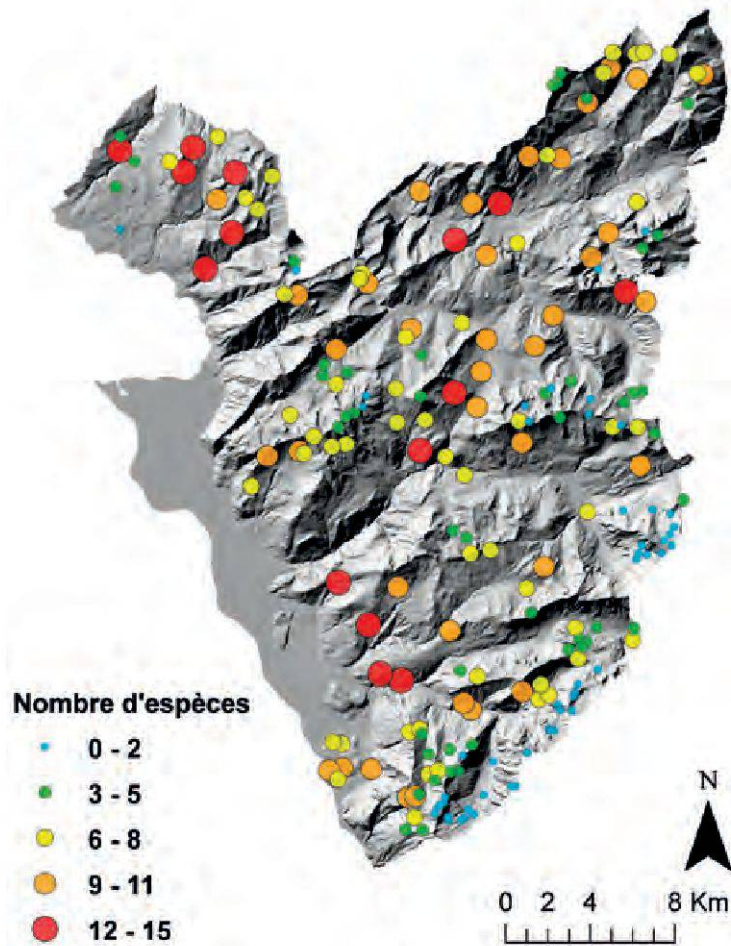


Figure 3.—Localisation des points visités et nombre d'espèces observées pendant l'échantillonnage réalisé durant l'été 2012.

*Amplitude altitudinale*

Les espèces montrent un optimum réparti régulièrement le long du gradient d'altitude (figure 5, amplitude altitudinale, tableau 2). La plupart des espèces observées ont une

amplitude altitudinale large, mis à part quelques espèces préférant nettement la plaine (*R. nitidula*, *P. falcata*, *O. rufipes*) ou les situations de haute altitude (*A. alpinus*, *P. pedestris* et *G. sibiricus*).

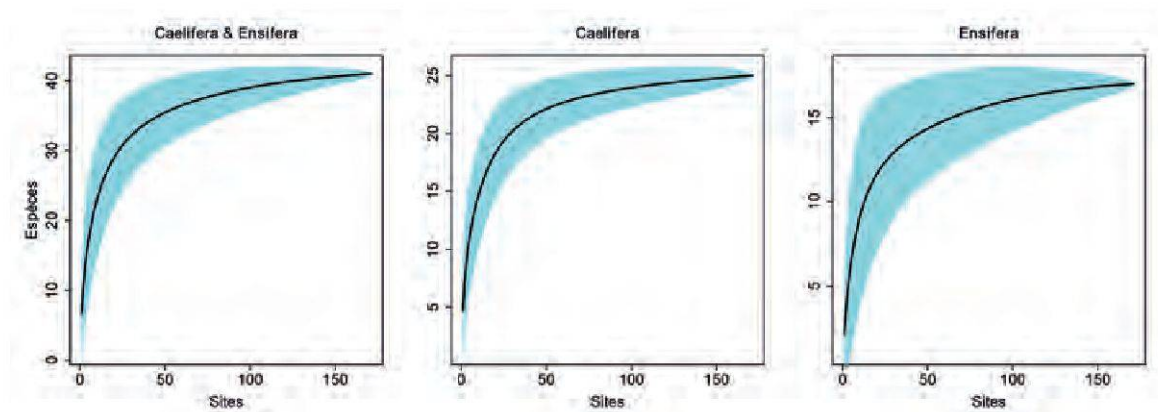


Figure 4.—Courbes d'accumulation d'espèces pour les caelifères, les ensifères, et pour les deux groupes réunis. A partir de 100 sites, le nombre d'espèces est quasiment complet et l'ajout de sites supplémentaires permet d'ajouter des données de présence mais relativement peu de nouvelles espèces.

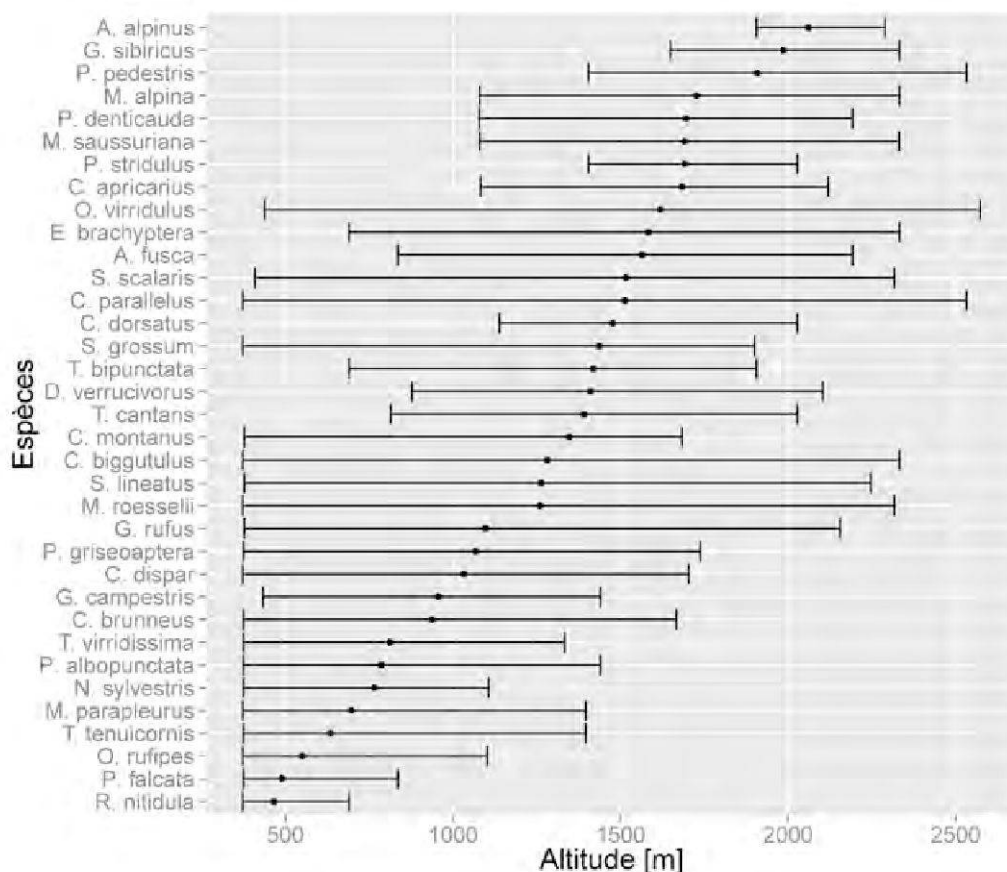


Figure 5.—Amplitude altitudinale des espèces rencontrées lors de l'échantillonnage. Les données sont complétées avec les données du CSCF. Les espèces avec moins de 5 observations ont été enlevées. Les limites inférieures et supérieures donnent les limites altitudinales des espèces, les points représentent l'altitude moyenne.

Tableau 2.—Liste des espèces observées, altitude moyenne, altitude minimale et maximale, ainsi que nombre d'occurrences (Nb d'occ.) par espèces. Les espèces sont classées par altitude moyenne croissante.

Genre	Espèce	Abréviation	Nom vernaculaire	Altitude (m)	Min Alt (m)	Max Alt (m)	Nb d'occ.
<i>Oedipoda</i>	<i>caerulescens</i>	<i>O. caerulescens</i>	Oedipode aigue-marine	479	409	540	3
<i>Meconema</i>	<i>meridionale</i>	<i>M. meridionale</i>	Méconème fragile	489	438	540	2
<i>Ruspolia</i>	<i>nitidula</i>	<i>R. nitidula</i>	Conocéphale gracieux	615	540	691	3
<i>Tetrix</i>	<i>subulata</i>	<i>T. subulata</i>	Tétrix riverain	631	631	631	1
<i>Phaneroptera</i>	<i>falcata</i>	<i>P. falcata</i>	Phanéoptère porte-faux	655	438	835	3
<i>Mecostetus</i>	<i>parapleurus</i>	<i>M. parapleurus</i>	Criquet des roseaux	773	409	1396	17
<i>Platycleis</i>	<i>albopunctata</i>	<i>P. albopunctata</i>	Decticelle grisâtre	828	409	1247	13
<i>Omocestus</i>	<i>rufipes</i>	<i>O. rufipes</i>	Criquet noir-ébène	851	615	1102	3
<i>Tetrix</i>	<i>tenuicornis</i>	<i>T. tenuicornis</i>	Tétrix des carrières	875	540	1396	3
<i>Nemobius</i>	<i>sylvestris</i>	<i>N. sylvestris</i>	Grillon des bois	891	540	1106	9
<i>Tettigonia</i>	<i>viridissima</i>	<i>T. viridissima</i>	Grande sauterelle verte	918	409	1333	12
<i>Gryllus</i>	<i>campestris</i>	<i>G. campestris</i>	Grillon champêtre	943	540	1404	16
<i>Leptophyes</i>	<i>punctatissima</i>	<i>L. punctatissima</i>	Leptophye ponctuée	1059	615	1502	2
<i>Chorthippus</i>	<i>brunneus</i>	<i>C. brunneus</i>	Criquet duettiste	1065	409	1667	21
<i>Pholidoptera</i>	<i>griseoaptera</i>	<i>P. griseoaptera</i>	Decticelle cendrée	1120	428	1739	25
<i>Gomphocerippus</i>	<i>rufus</i>	<i>G. rufus</i>	Gomphocère roux	1120	608	2155	19
<i>Chrysocraon</i>	<i>dispar</i>	<i>C. dispar</i>	Criquet des clairières	1149	608	1703	10
<i>Metrioptera</i>	<i>roeselii</i>	<i>M. roeselii</i>	Decticelle bariolée	1269	409	2317	63
<i>Stenobothrus</i>	<i>lineatus</i>	<i>S. lineatus</i>	Criquet de la Palène	1282	409	2246	42
<i>Tetrix</i>	<i>bipunctata</i>	<i>T. bipunctata</i>	Tétrix calcicole	1317	691	1906	9
<i>Tettigonia</i>	<i>cantans</i>	<i>T. cantans</i>	Sauterelle cymbalière	1341	814	1824	29
<i>Chorthippus</i>	<i>biguttulus</i>	<i>C. biguttulus</i>	Criquet mélodieux	1344	409	2332	71
<i>Decticus</i>	<i>verrucivorus</i>	<i>D. verrucivorus</i>	Dectique verrucivore	1350	878	2104	26
<i>Chorthippus</i>	<i>montanus</i>	<i>C. montanus</i>	Criquet palustre	1360	1223	1458	6
<i>Stetophyma</i>	<i>grossum</i>	<i>S. grossum</i>	Criquet ensanglanté	1443	1142	1699	6
<i>Chorthippus</i>	<i>dorsatus</i>	<i>C. dorsatus</i>	Criquet vert-échine	1444	1139	1820	17
<i>Oedipoda</i>	<i>germanica</i>	<i>O. germanica</i>	Oedipode rouge	1470	1470	1470	1
<i>Stauroderus</i>	<i>scalaris</i>	<i>S. scalaris</i>	Criquet jacasseur	1498	409	2317	89
<i>Arcyptera</i>	<i>fusca</i>	<i>A. fusca</i>	Criquet bariolé	1530	835	2193	10
<i>Chorthippus</i>	<i>parallelus</i>	<i>C. parallelus</i>	Criquet des pâtures	1561	409	2532	137
<i>Euthystira</i>	<i>brachyptera</i>	<i>E. brachyptera</i>	Criquet des Génévriers	1586	691	2332	79
<i>Barbitistes</i>	<i>serricauda</i>	<i>B. serricauda</i>	Barbitiste des bois	1587	1587	1587	1
<i>Omocestus</i>	<i>viridulus</i>	<i>O. viridulus</i>	Criquet verdelet	1622	438	2574	99

<i>Psophus</i>	<i>stridulus</i>	<i>P. stridulus</i>	Oedipode stridulant	1664	1404	1906	10
<i>Chorthippus</i>	<i>apricarius</i>	<i>C. apricarius</i>	Criquet des adrets	1683	1082	2120	10
<i>Metrioptera</i>	<i>saussuriana</i>	<i>M. saussuriana</i>	Decticelle des alpages	1709	1080	2331	105
<i>Miramella</i>	<i>alpina</i>	<i>M. alpina</i>	Miramelle alpestre	1742	1080	2332	110
<i>Polysarcus</i>	<i>denticauda</i>	<i>P. denticauda</i>	Barbitiste ventru	1768	1079	2193	32
<i>Podisma</i>	<i>pedestris</i>	<i>P. pedestris</i>	Miramelle des moraines	1969	1404	2532	21
<i>Gomphocerus</i>	<i>sibiricus</i>	<i>G. sibiricus</i>	Gomphocère des alpages	2004	1649	2332	15
<i>Anoconotus</i>	<i>alpinus</i>	<i>A. alpinus</i>	Decticelle montagnarde	2068	1906	2289	5

Richesse en fonction des alliances végétales

Les milieux les plus riches en orthoptères sont les prairies de basse à moyenne altitude de type *Mesobromion* ou *Arrhenatherion* (figure 6). On notera toutefois que certaines prairies situées plus haut en altitude peuvent être relativement riches comme c'est le cas pour quelques *Cynosurion* ou *Polygono-Trisetion*. Les milieux les plus hauts et les milieux alpins (*Thlaspion rotundifolii* et *Elynion*) sont généralement les plus pauvres avec aucune espèce observée. En règle générale, nous pouvons observer que les milieux humides sont aussi plus pauvres comme c'est le cas pour les *Petasition paradoxii*.

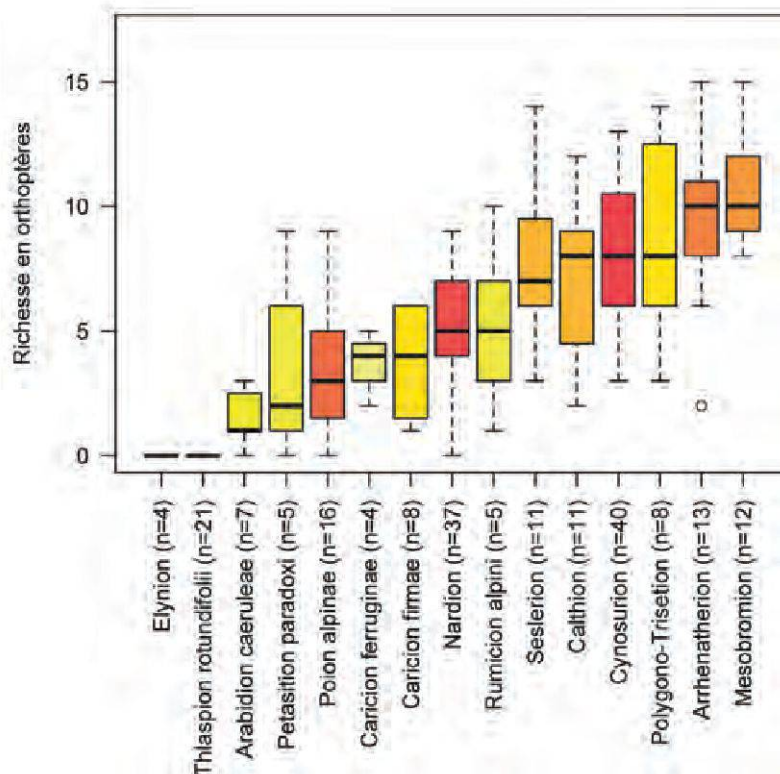


Figure 6.–Richesse spécifique en fonction des alliances végétales. Les «moustaches» des rectangles colorés indiquent les premiers et derniers quartiles, le rectangle coloré donne le deuxième et troisième quartile et la barre noire la médiane. Le chiffre donné entre parenthèses ainsi que le dégradé de couleur indiquent tous deux le nombre de points échantillonnés au sein de chaque alliance végétale (du jaune clair pour les alliances avec le moins de points au rouge pour les alliances les mieux représentées).

### Richesse en fonction de l'altitude

Le nombre d'espèces observées dans les relevés décroît fortement avec l'altitude (régression quadratique:  $z = -8.1$ ,  $sd = 1.3 \cdot 10^{-7}$ ,  $p > 0.001$ ,  $R^2 = 0.86$ , équation:  $1.197 + (2.139 \cdot 10^{-03}) \cdot (\text{Altitude}) + (-1.027 \cdot 10^{-06}) \cdot (\text{Altitude})^2$ ; figure 7, courbe richesse). Les zones de diversité maximale ne sont pas situées aux altitudes les plus basses mais plutôt entre 800 et 1300 m. Quelques points de basse altitude à faible diversité dans des zones de culture ou des pâturages intensifs montrent bien l'impact de l'homme sur la diversité spécifique.

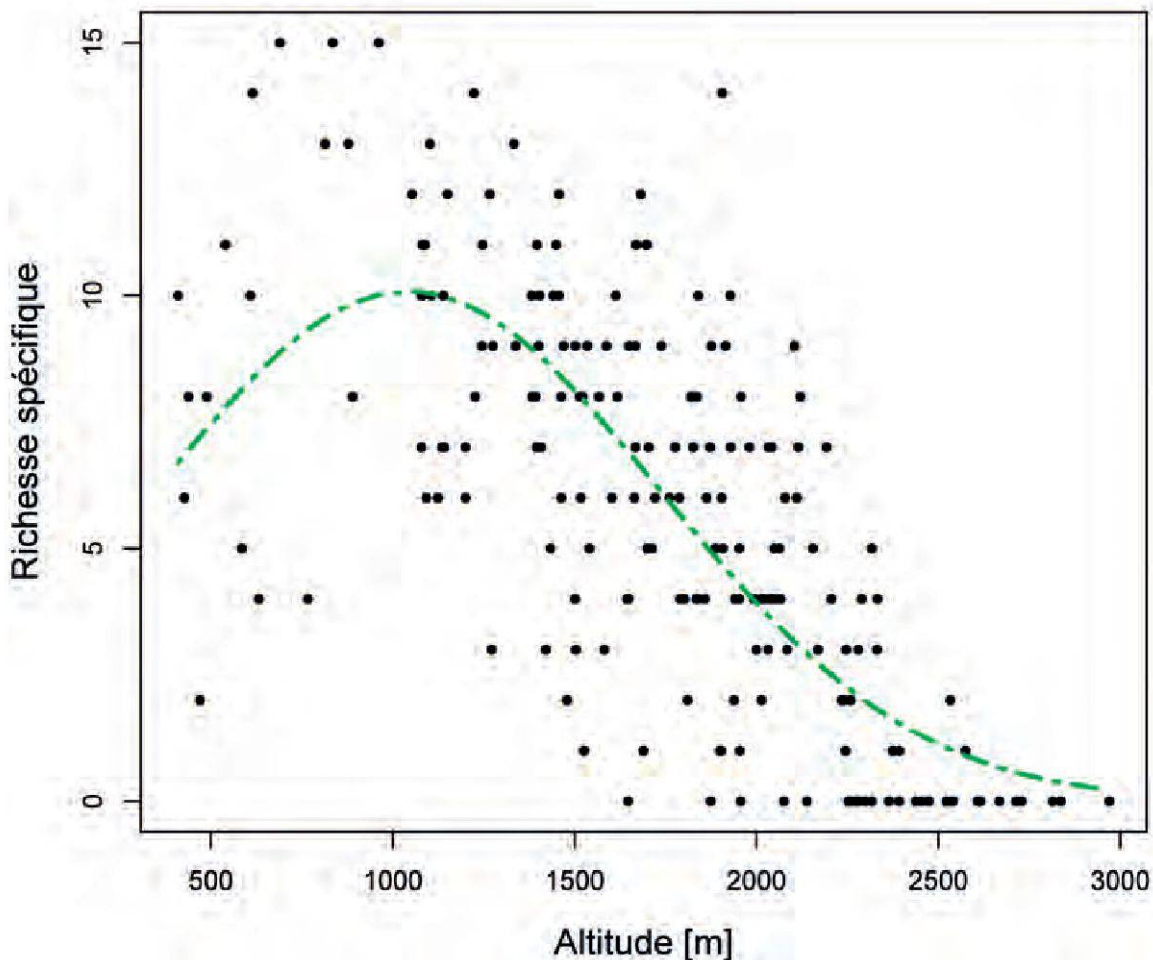


Figure 7.—Richesse spécifique le long du gradient altitudinal. La ligne discontinue verte représente le résultat du GLM ( $z = -8.1$ ,  $sd = 1.3 \cdot 10^{-7}$ ,  $p < 0.001$ ,  $R^2 = 0.86$ ).

### Modèle de richesse spécifique

Le modèle de richesse spécifique permet de prédire le nombre d'espèces d'orthoptères potentiel avec une bonne précision (ajustement aux données avec un  $R^2$  de 0.62 et pouvoir prédictif avec un coefficient de corrélation entre données observées et prédites de 0.77). La richesse spécifique diminue avec la température et l'augmentation du nombre de jours de gel (tableau 3). La somme des radiations solaires n'a pas d'effet significatif. La carte de

richesse potentielle met en évidence les zones les plus riches à moyenne altitude, sur les coteaux sud (figure 8). Similairement à ce qui pouvait être observé avec le graphique du nombre d'espèces en fonction de l'altitude, on prédit les diversités spécifiques potentielles les plus faibles en haute montagne ainsi qu'une diminution de la richesse en plaine, dans les zones vouées à une exploitation intensive du sol.

Tableau 3.—Résultats du modèle de richesse spécifique.

Prédicteur	Coefficient	P val
degrés-jours	0.00000165	0.03474
jours de gel	-0.0128	0.06272
somme des radiations solaires	0.0000621	0.31748



Figure 8.—Nombre d'espèces potentielles prédites pour la zone d'étude en fonction des degrés-jours, du nombre de jours de gel par an et des radiations solaires par unité de surface. Le nombre d'espèces potentielles est maximal à moyenne altitude sur les coteaux sud. Les zones grises sont les zones de forêts ou d'habitations.

## DISCUSSION

La faune orthoptérique suisse comprend à l'heure actuelle cent six espèces indigènes (109 taxa en tenant compte des trois espèces qui sont chacune divisée en deux sous-espèces, BAUR *et al.* 2006). Parmi celles-ci, une part non-négligeable (>20%) est strictement limitée au sud des Alpes ainsi qu'aux vallées méridionales des grisons. Le canton de Vaud abrite 67 de ces 106 espèces de sauterelles, grillons et criquets (observations pour les 20 dernières années). En regard de ces chiffres, les 41 espèces que nous avons pu observer au cours de la saison témoignent donc d'un échantillonnage efficace, et surtout d'une zone d'étude riche du point de vue de la diversité spécifique.

La base de données du Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) répertorie, pour la zone étudiée et pour les 20 dernières années, des mentions de 51 espèces d'orthoptères, soit une richesse spécifique supérieure de 10 unités à celle que nous avons pu observer au cours de notre saison d'échantillonnage. Cette différence s'explique essentiellement de deux manières. Premièrement, la méthode d'échantillonnage utilisée négligeait les espèces ayant un mode de vie essentiellement nocturne. C'est le cas de l'antaxie marbrée (*Antaxius pedestris*), du méconème tambourinaire (*Meconema thalassinum*) ainsi que du grillon d'Italie (*Oecanthus pellucens*), trois espèces comptant entre 1 et 10 observations chacune dans la base de données du CSCF mais que nous n'avons pas recensées au cours de nos inventaires. La deuxième explication tient au fait que des milieux bien particuliers, auxquels sont strictement inféodées certaines espèces d'orthoptères, n'ont pas été couverts par notre échantillonnage. Il en va ainsi des grandes zones humides de la plaine du Rhône (Grand Marais de Bex, Grandes Iles d'Amont, Grandes Iles d'Aval, Pré Neyroud, Etang de Versvey, les Grangettes) dans lesquelles ont eu lieu l'ensemble des observations des deux espèces de conocéphales (*Conocephalus dorsalis* et *C. fuscus*) ainsi que du grillon des marais (*Pteronemobius heydenii*) déposées auprès du CSCF. C'est également le cas des zones xérophiles que sont le flanc sud du Bois de la Glaivaz (touché par un important incendie en 1997) ou encore la colline de St-Triphon et qui rassemblent à eux deux la quasi-totalité des observations du caloptène italien (*Calliptamus italicus*), du criquet des jachères (*Chorthippus mollis*), de l'éphippigère des vignes (*Ephippiger diurnus*) et de l'oedipode aigue-marine (*Sphingonotus caerulans*).

Sur les 41 espèces inventoriées au cours de notre saison de terrain, 7 appartiennent à la dernière liste rouge des espèces d'orthoptères menacées de Suisse (*A. alpinus*, *A. fusca*, *C. montanus*, *O. germanica*, *P. falcata*, *P. stridulus*, *S. grossum*) (MONNERAT *et al.* 2007), soit environ 17%. Au niveau national, c'est près de 40% de la faune orthoptérique qui figure sur la liste rouge. Cette différence s'explique par le fait qu'au niveau national les espèces les plus menacées sont celles inféodées aux milieux pionniers des zones alluviales fluviales, celles des milieux pionniers secondaires (sites d'extraction, vasières, zones rudérales), ainsi que celles liées aux hauts et bas-marais. Or, à l'exception de quelques zones de bas-marais, ces différents milieux sont extrêmement rares voire totalement absents de la zone d'étude et n'ont pas été couverts par notre échantillonnage. Il est encore intéressant de noter qu'aucune des espèces inventoriées et figurant sur la liste rouge n'a été observée plus de 10 fois au cours de notre échantillonnage (alors que le nombre moyen d'occurrence par espèces se situe autour de 28), ce qui confirme leur statut liste rouge et atteste de leur rareté sur l'ensemble de la zone d'étude.

La richesse en orthoptères des différents milieux visités varie très fortement, même au sein d'une même tranche altitudinale et en fonction des alliances végétales. Elle est influencée par le climat ainsi que par les types de végétation. Les types de végétation étant eux aussi liés au climat, il est difficile de séparer les effets de ces deux variables sur la richesse en orthoptères. L'information apportée par les types de végétation n'est toutefois pas complètement redondante avec celle apportée par le climat, car la végétation est influencée également par l'utilisation humaine qui en est faite. Ces alliances végétales permettent donc de prendre en compte le facteur d'utilisation du sol, et de distinguer, par exemple, les milieux pâturés de façon intensive ou extensive, ou les prairies de fauche.

La répartition de la diversité en orthoptères dans les Préalpes est fortement influencée par la température. Comme pour de nombreux autres groupes d'insectes, les milieux les plus chauds présentent la plus grande richesse en espèces (WILLOTT & HASSALL 1998). La courbe de richesse spécifique en fonction de l'altitude illustre indirectement l'impact de l'utilisation du territoire sur la richesse spécifique. Dans le périmètre d'étude, les zones favorables de basse altitude sont limitées à quelques secteurs seulement et notre échantillonnage aléatoire a principalement couvert des zones de culture ou de pâture relativement pauvres en espèces. Les milieux les plus riches sont des prairies de fauches extensives de moyenne altitude (*Arrhenatherion* ou *Mesobromion*), permettant un bon compromis entre températures chaudes et influence humaine moins forte qu'en plaine. Ces milieux, parfois à tendance xérophile, peuvent ainsi héberger plus d'une quinzaine d'espèces. A l'opposé, les milieux humides du type *Calthion*, ou plutôt froids comme certains *Caricion ferruginae* abritent un nombre restreint d'espèces. Les derniers milieux occupés se trouvent autour de 2600 m d'altitude où de faibles densités du criquet des pâtures (*Chorthippus parallelus*) et du criquet verdelet (*Omocestus viridulus*) arrivent encore à se maintenir. Les deux milieux les plus fréquents dans notre échantillonnage (*Nardion* et *Cynosurion*) présentent une nombre très variable d'espèces selon l'altitude à laquelle le milieu a été échantillonné. La diversité peut déjà être nulle à partir de 1600 m. Cette variabilité provient très probablement de différences d'ensoleillement; les milieux très frais, exposés au nord ou les milieux montagnards en cours de reforestation constituent des habitats de piètre qualité pour la faune orthoptérique et n'abritent donc qu'un faible nombre d'espèces.

Les pâturages entre 1000 et 1800 (voire 2000 m) offrent une richesse en orthoptères intéressante. Les zones les plus riches sont généralement celles qui reçoivent une grande quantité d'énergie thermique (exposition sud). Ces sites très riches peuvent se rencontrer jusque vers 2000 m, comme à proximité du col de Jable où 14 espèces ont été identifiées (dont la rare decticelle montagnarde *Anonconotus alpinus*). Plus haut, la diversité décroît rapidement, comme sur les crêtes du Chaussy (2200-2300 m) où seules 7 espèces (*C. parallelus*, *S. scalaris*, *E. brachyptera*, *A. fusca*, *M. saussuriana*, *M. alpina*, *P. denticauda*) ont été trouvées sur 2 sites (le premier avec 7 espèces, le second avec 2 espèces), malgré une exposition plein sud. Cette différence de 5 espèces entre ces deux sites relativement proches montre bien l'importance du milieu. Situés à la même altitude, ces deux sites sont exposés plein sud. Cependant, le premier se trouve en zone de pente, tandis que le deuxième se situe en bordure d'une crête, probablement plus exposée au vent, et donc moins favorable aux orthoptères (GARDINER & DOVER 2007). Les sites occupés les plus hauts des Préalpes vaudoises se situent dans la partie sud de la zone étudiée, sur les derniers gazons présents, soit sur les crêtes sous les dents de Morcles, comme au col des Perriblancs ou sous la



Pierre qu'Abotse. Ces endroits sont généralement bien exposés et on y trouve uniquement le criquet des pâtures (*Chorthippus parallelus*) et le criquet verdelet (*Omocestus viridulus*), tous deux en faibles abondances. On notera dans le cas du criquet des pâtures (*Chorthippus parallelus*), qu'il est présent sur l'entier du gradient, de la plaine au plus hauts gazons. BAUR *et al.* (2006) explique cette étonnante adaptabilité aux climats les plus divers par «la grande résistance de l'embryon à des températures de développement différentes de son optimum», ainsi que par la capacité de cette espèce à réaliser son cycle de vie sur deux ans. Ces derniers milieux occupés représentent les gazons les plus hauts des Préalpes vaudoises. Au-delà de 2600 m, les derniers gazons sont remplacés par du rocher, des névés et de la glace, inhabitables pour les orthoptères. Ces altitudes ne sont cependant pas représentatives de la limite supérieure de distribution des orthoptères de Suisse. En effet, en Valais ou dans les Grisons, certains orthoptères vivent jusque vers 3000 m d'altitude.

La plupart des espèces rencontrées lors de notre échantillonnage sont liées aux milieux prairiaux, dont une bonne partie se situe en altitude dans des zones exploitées extensivement (faible pression de pâture ou de fauche et peu d'engraisement du terrain). Cependant, les prairies et pâturages extensifs de l'étage collinéen et de la partie inférieure de l'étage montagnard subissent une pression importante en raison de l'intensification des pratiques agricoles (MONNERAT *et al.* 2007). L'épandage d'engrais, l'irrigation des prairies et pâturages maigres et surtout l'instauration d'un nombre de fauches toujours plus grand ayant pour corollaire d'intervenir plus vite dans la saison et à des intervalles plus brefs constituent autant de menaces pour les orthoptères liés aux milieux prairiaux (HUMBERT *et al.* 2012a, MARINI *et al.* 2009b). Afin de réduire l'impact de la fauche sur les orthoptères, HUMBERT *et al.* (2009, 2010a) recommande l'utilisation de faucheuses à barre de coupe plutôt que de faucheuses rotatives ou d'épareuses, beaucoup plus dommageables à la faune d'invertébrés des prairies. Pour la même raison, l'utilisation de conditionneurs devrait être évitée (HUMBERT *et al.* 2010b). Les orthoptères étant pour la plupart des espèces mobiles, le maintien de zones refuges non-fauchées demeure la solution la plus efficace pour réduire la mortalité engendrée par la fauche (HUMBERT *et al.* 2012b). Dans la même logique, il serait également préférable d'étaler dans le temps la fauche des prairies située au sein d'une même zone. De manière générale, l'instauration de la fauche tardive (15 juin pour les zones de plaine et de colline, 1<sup>er</sup> juillet pour les zones de montagne I et II et 15 juillet pour les zones de montagne III et IV, conformément à l'ordonnance fédérale sur la qualité écologique) semble être une mesure bénéficiant à l'orthoptérofaune (WALTER *et al.* 2004).

A plus haute altitude, le maintien d'une agriculture traditionnelle utilisant des zones d'estivage où la pâture est généralement extensive limite les problèmes liés à l'intensification précédemment mentionnés. Paradoxalement, les prairies et pâturages extensifs ont tendance à se raréfier du fait de la déprise agricole dans les zones jugées trop peu rentables (MONNERAT *et al.* 2007). En effet, il a été démontré que l'abandon de l'exploitation des prairies de fauche dans l'arc alpin engendre un appauvrissement de l'orthoptérofaune qui s'y trouve, vraisemblablement du fait de l'augmentation de l'ombrage ainsi que des changements dans la structure de la végétation (MARINI *et al.* 2009a).

On notera encore qu'à l'instar des lépidoptères rhopalocères, les orthoptères peuvent atteindre des richesses spécifiques importantes dans des zones où la diversité végétale est peu élevée. Il convient donc de prendre des mesures de protection indépendamment de la richesse végétale du milieu considéré. Les espèces les plus sensibles de la zone d'étude sont

liées aux milieux humides, pionniers ou en règle générale à des milieux particuliers ayant fortement régressés, une tendance générale qui est aussi retrouvée chez les rhopalocères (PRADERVAND 2011). Cette diminution est particulièrement marquée en plaine, où les milieux sont fortement anthropisés. Pour ces espèces, des mesures de protection et de revitalisation des milieux auxquels elles sont inféodées apparaissent nécessaires pour espérer stopper leur régression et empêcher l'isolement complet de certaines populations.

Une autre source de menace pour la faune orthoptérique de la zone étudiée pourrait provenir des changements climatiques globaux. Même si aucune étude relative aux orthoptères ne peut à l'heure actuelle étayer cette supposition, on peut toutefois s'attendre à ce que les espèces caractérisées par une amplitude altitudinale faible et restreinte aux stations élevées (*A. alpinus*, *P. pedestris* et *G. sibiricus*) souffrent de ce phénomène à l'instar de ce qui a été montré pour d'autres groupes taxonomiques (VITTOZ *et al.* 2013). En effet, la disparition progressive des milieux typiques des plus hautes strates de végétation au profit de milieux plus répandus de moyenne altitude sous l'effet des changements climatiques (DUBUIS *et al.* 2013) aurait pour conséquence de réduire fortement la disponibilité des habitats auxquels ces espèces sont strictement inféodées.

#### REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Glenn Litsios et Loïc Pellissier pour leur aide durant l'échantillonnage, ainsi que Christian Monnerat pour la vérification et l'identification des spécimens douteux. Merci à Susi Reymond pour la traduction du résumé en allemand. Merci à François Claude pour son travail sur la base de donnée du CSCF. Nous remercions aussi les auteurs des observations d'orthoptères transmises au CSCF qui nous ont permis de modéliser la richesse spécifique: Raymond Delarze, Paul Marchesi, Jérôme Gremaud, Jérôme Fournier et François Claude. Ces données issues du CSCF ont été récoltées pour la plupart dans le cadre de la réactualisation de la liste rouge des orthoptères (MONNERAT *et al.* 2007). Finalement, merci aux relecteurs pour leurs conseils et corrections.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BAUR B., BAUR H., ROESTI C., ROESTI D., THORENS P., 2006. Sauterelles, Grillons et Criquets de Suisse. Haupt. Berne, 352 p.
- BELLMANN H., LUQUET G. C., 2009. Guide des Sauterelles, Grillons et Criquets d'Europe occidentale. Delachaux & Niestlé, 384p.
- BOUËT M., 1985. Climat et météorologie de la Suisse romande. Lausanne.
- BRASCHLER B., MARINI L., THOMMEN G. H., BAUR B., 2009. Effects of small-scale grassland fragmentation and frequent mowing on population density and species diversity of orthopterans: a long-term study. *Ecological Entomology* 34: 321–329.
- CORAY A., THORENS P., 2001. Orthoptères de Suisse: Clé d'identification. *Fauna Helvetica*
- DELARZE R. & GONSETH Y., 2008. Guide des milieux naturels de Suisse. Rossolis, 424 p.
- DUBUIS A., POTTIER J., RION V., PELLISSIER L., THEURILLAT J.-P., GUIBAN A., 2011. Predicting spatial patterns of plant species richness: a comparison of direct macroecological and species stacking modelling approaches. *Diversity and Distributions* 17: 1122–1131.
- DUBUIS A., ROSSIER L., POTTIER J., PELLISSIER L., VITTOZ P., GUIBAN A., 2013. Predicting current and future spatial community patterns of plant functional traits. *Ecography*, 36: 1158–1168.
- DUFRENE M. & LEGENDRE P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67: 345–366.
- ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

- FISCHER F. P., SCHULZ U., SCHUBERT H., KNAPP P., SCHMÖGER M., 1997. Quantitative Assessment of Grassland Quality: Acoustic Determination of Population Sizes of Orthopteran Indicator Species. *Ecological Applications* 7: 909–920.
- GANGWERE S. K., MURALIRANGAN M. C., MURALIRANGAN M., 1997. The bionomics of grasshoppers, katydids and their kin. *CABI publishing*, 529 p.
- GARDINER T. & DOVER J., 2007. Is microclimate important for Orthoptera in open landscapes? *Journal of Insect Conservation* 12: 705–709.
- HASTIE T. J. & TIBSHIRANI R., 1990. Generalized additive models. *Statistical science* 1: 297–318.
- HIRZEL A., GUISAN A., 2002. Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling. *Ecological Modelling* 157: 331–341.
- HUMBERT J.-Y., PELLET J., BURI P., ARLETTAZ R., 2012a. Does delaying the first mowing date benefit biodiversity in meadowland? *Environmental evidence* 1:1-9.
- HUMBERT J.-Y., GHAZOUL J., RICHNER N., WALTER T., 2012b. Uncut grass refuges mitigate the impact of mechanical meadow harvesting on orthopterans. *Biological Conservation* 152: 96-101.
- HUMBERT J.-Y., GHAZOUL J., SAUTER J., WALTER T., 2010. Impact of different mowing techniques on field invertebrates. *Journal of applied entomology* 134: 592-599.
- HUMBERT J.-Y., GHAZOUL J., RICHNER N., WALTER T., 2010. Hay harvesting causes high orthopteran mortality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139: 522-527.
- HUMBERT J.-Y., GHAZOUL J., WALTER T., 2009. Meadow harvesting techniques and their impacts on field fauna. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 130: 1–8.
- MARINI L., FONTANA P., BATTISTI A., GASTON K. J., 2009a. Response of orthopteran diversity to abandonment of semi-natural meadows. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 132: 232-236.
- MARINI L., FONTANA P., KLIMECK S., BATTISTI A., GASTON K. J., 2009b. Impact of farm size and topography on plant and insect diversity of managed grasslands in the Alps. *Biological Conservation* 142: 394-403.
- MARINI L., FONTANA P., BATTISTI A., GASTON K. J., 2009c. Agricultural management, vegetation traits and landscape drive orthopteran and butterfly diversity in a grassland-forest mosaic: a multi-scale approach. *Insect Conservation and Diversity* 2: 213–220.
- MCCULLAGH P. & NELDER, J. A., 1989. Generalized linear models, Chapman & Hall/CRC, 1989.
- MONNERAT C., THORENS P., WALTER T., GONSETH Y., 2007. Liste rouge des orthoptères menacés de Suisse. Office fédéral de l'environnement, Berne et Centre suisse de cartographie de la faune, Neuchâtel. *L'environnement pratique* 0719: 62 p.
- OEDEKOVEN M. A. & JOERN A., 1998. Stage-based mortality of grassland grasshoppers (Acrididae) from wandering spider (Lycosidae) predation. *Acta Oecologica* 19: 507–515.
- OKSANEN J., BLANCHET G. F., KINDT R., LEGENDRE P., MINCHIN P. R., O'HARA R. B., SIMPSON G. L., SOLYMOS P., STEVENS H., WAGNER H., 2013. Vegan : Community Ecology Package
- PELLISSIER L., PRADERVAND J.-N., POTTIER J., DUBUIS A., MAIORANO, L., GUISAN A., 2012. Climate-based empirical models show biased predictions of butterfly communities along environmental gradients. *Ecography* 35: 684–692.
- PRADERVAND, J.-N., 2011. Unequal before the laws of nature: importance of environmental variables in butterfly distributions vary according to functional traits, Master Thesis, Lausanne, 26 p.
- PRADERVAND J.-N., PELLISSIER L., ROSSIER L., DUBUIS A., GUISAN A., CHERIX D., 2011. Les Alpes vaudoises, un havre de diversité pour les bourdons (*Bombus Latreille, Apidae*). *Mitteilungen der Schweizerischen entomologischen Gesellschaft* 84: 45–66.
- R CORE TEAM, 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- RANDIN C. F., JACCARD H., VITTOZ P., YOCOZZO N. G. & GUISAN A., 2009. Land use improves spatial predictions of mountain plant abundance but not presence-absence. *Journal of Vegetation Science* 44: 996–1008.
- RIEDE K., 1998. Acoustic monitoring of Orthoptera and its potential for conservation. *Journal of Insect Conservation* 2: 217-223.
- STECK C. E. & PAUTASSO M., 2008. Human population, grasshopper and plant species richness in European countries. *Acta oecologica* 34: 303-310.
- VITTOZ P., CHERIX D., GONSETH Y., LUBINI V., MAGGINI R., ZBINDEN N. & ZUMBACH S., 2013. Climate change impact on biodiversity in Switzerland: a review. *Journal for Nature Conservation* 21: 154-162.

- WALTER T., HUNZIKER M., PETER B. & WARD P. 2004. Threatened grasshopper species profit from ecological compensation areas. In: Landuse systems in grassland dominated regions. Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation (EGF), 21.–24.6.2004, Luzern. *Grassland Science in Europe* 9: 234–236.
- WETTSTEIN W. & SCHMID B., 1999. Conservation of arthropod diversity in montane wetlands: effect of altitude, habitat quality and habitat fragmentation on butterflies and grasshoppers. *Journal of Applied Ecology* 36: 252–262.
- WILLOTT S. J. & HASSALL M., 1998. Life-history responses of British grasshoppers (*Orthoptera: Acrididae*) to temperature change. *Functional Ecology* 12: 232–241.

*Manuscrit reçu le 29 août 2013*

