

SUIVI DES ORTHOPTÈRES DE L'ESPACE NATUREL SENSIBLE DE LA VALLÉE DU FOSSAT (PUY-DE-DÔME)

⋮
ANNÉE 2023

Stenobothrus nigromaculatus



Miramella subalpina



DÉCEMBRE
2023



PUY-de-DÔME
MON DÉPARTEMENT



EMMANUEL
BOITIER
CONSULTANT
ENVIRONNEMENT

SUIVI DES **ORTHOPTÈRES**
DE L'ESPACE NATUREL SENSIBLE
DE LA VALLÉE DU FOSSAT (PUY-DE-DÔME)

ANNÉE 2023

≡ Résumé

À la demande du Parc naturel régional Livradois-Forez, un nouvel inventaire des insectes Orthoptères a été réalisé sur le site de l'Espace naturel sensible (ENS) de la vallée du Fossat en 2023, localisé sur la commune de Job (Puy-de-Dôme), dans le massif des monts du Forez, en région Auvergne-Rhône-Alpes. La vallée du Fossat, située à une altitude comprise entre 1 200 et 1 600 m, est soumise à un climat montagnard caractérisé par des températures fraîches et un cumul de précipitations élevé (supérieur à 1 400 mm). L'orientation générale Nord-Ouest de la vallée et son profond enclavement accentuent le climat froid et humide : l'enneigement est long et tardif, décalé sur le printemps avec un grand nombre de jours de gelées. Néanmoins les jours de gel et de neige tendent à diminuer, tandis que les jours de fortes chaleurs augmentent sous les effets du changement climatique qui s'apparente ici à un réchauffement. Ce nouvel inventaire fait suite à un premier inventaire réalisé sur le site en 2011. En pratique, il a consisté à échantillonner en 2023 les mêmes relevés, au nombre de 36, que ceux qui l'avaient été en 2011 (12 années d'intervalle), avec exactement la même méthode et par le même observateur. Nous sommes donc dans un contexte protocolaire qui minimise au mieux les biais. Le site a été prospecté les 20 et 21 juillet et le 1^{er} septembre 2023, par des conditions favorables, c'est-à-dire avec un temps ensoleillé et des températures supérieures à 20°C. C'est un total de 27 espèces d'Orthoptères qui a été recensé dans l'ENS au cours de ce suivi en 2023. L'ENS de la vallée de Fossat abrite 32 % (un tiers) des espèces de l'inventaire régional et 36 % (un peu plus d'un tiers) de l'inventaire départemental, ce qui est tout à fait appréciable. On constate que 10 espèces n'avaient pas été observées dans l'ENS : *Stenobothrus stigmaticus*, *Tettigonia viridissima*, *Chorthippus albomarginatus*, *Stenobothrus nigromaculatus*, *Calliptamus italicus*, *Conocephalus fuscus*, *Bicolorana bicolor*, *Oedipoda caerulescens*, *Platycleis albopunctata* et *Tessellana tessellata*. A l'inverse, 2 espèces observées en 2011 n'ont pas été rencontrées lors de ce suivi : *Mecostethus parapleurus* et d'*Ephippiger ephippiger*. On passe de 19 espèces en 2011 à 27 espèces en 2023. Parmi les ces dernières, deux présentent un intérêt patrimonial fort avec le statut de Vulnérable (VU) : *Miramella subalpina* et *Stenobothrus nigromaculatus*. Une analyse rapide montre que la biodiversité augmente et que le peuplement évolue vers plus d'espèces et plus fréquentes, surtout des espèces qui apprécient la chaleur et une certaine sécheresse édaphique, tandis que les espèces plutôt alticoles qui recherchent une certaine fraîcheur tendent à régresser. Une analyse statistique plus complète montre que les espèces alticoles ont tendance à monter davantage en altitude et que leur abondance diminuent, tandis que les espèces plus collinéennes ont une abondance qui reste constante ou augmente. Ces dernières ont tendance à gagner des zones plus humides, tandis que les espèces alticoles se déplacent vers des micro-habitats plus secs, ce qui va à l'encontre du tropisme de fraîcheur généralement observé en montagne auvergnate pour les Orthoptères, au fur et à mesure de l'élévation altitudinale. Les résultats mettent en exergue la fragilité à plus ou moins long terme des espèces alticoles et thermophobes (en particulier *Miramella subalpina*, *Polysarcus denticauda* et *Metrioptera saussuriana*), et montrent également que le réchauffement climatique ne peut à lui seul expliquer la totalité des variations observées entre les deux inventaires. La configuration particulière de l'ENS peut laisser à penser que le fond de vallée pourrait constituer une sorte de refuge thermique et rendre un peu moins visibles (atténuer ?) ses effets localement.

≡ Étude réalisée par

Emmanuel BOITIER, Consultant Environnement
[28 avenue d'Issoire F-63500 Perrier – emmari@emmari.net]

Avec l'appui précieux de Daniel PETIT, professeur émérite à l'Université de Limoges, pour l'analyse statistique.

≡ Commanditaire

Parc naturel régional Livradois-Forez
[Maison du Parc, F-63880 Saint-Gervais-sous-Meymont]

≡ Citation recommandée

BOITIER (E.), 2023. *Suivi des Orthoptères de l'Espace naturel sensible de la vallée du Fossat (Puy-de-Dôme), année 2023*. Rapport Parc naturel régional Livradois-Forez et Emmanuel Boitier Consultant, Perrier (décembre 2023), 34 p.

SOMMAIRE

≡ INTRODUCTION	5
Le contexte et les attentes	5
Le calendrier des prospections	5
Les espèces recherchées	5
L'identification	5
La méthode de recherche	6
Abondance des espèces	6
Analyse de la végétation	8
Humidité stationnelle	8
Pâturage et fauchage	8
≡ RÉSULTATS ET DISCUSSION	11
Les espèces recensées	11
Les espèces à velur patrimoniale	11
La fréquence des espèces	11
La richesse des relevés	14
Analyse simple des résultats	14
Analyse statistique : outils et méthode	17
Résultats	15
Comparaison des variables environnementales	15
Effort d'échantillonnage	16
Comparaison des abondances	16
Comparaison des paramètres environnementaux	17
Variation des barycentres des espèces	17
En guise de discussion et e conclusion	17
Augmentation de l'altitude des espèces	22
Déplacement des préférendums des espèces	23
≡ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	24
≡ ANNEXES	26

FIGURE 1 – Vue sur les pentes boisées de l'ENS et les antennes militaires de Pierre-sur-Haute, depuis la montagne de Monthallier.



INTRODUCTION



≡ Le contexte et les attentes

À la demande du Parc naturel régional Livradois-Forez, un suivi des Orthoptères a été réalisé en 2023 sur le site de l'Espace naturel sensible (ENS) de la vallée du Fossat (Puy-de-Dôme), située sur la commune de Job, dans le massif des monts du Forez. Ce travail fait suite à un premier inventaire que nous avons réalisé en 2011 (BOITIER, 2012).

Pour rappel, la vallée du Fossat, située à une altitude comprise entre 1 200 et 1 600 m, est soumise à un climat montagnard caractérisé par des températures fraîches et un cumul de précipitations élevé (supérieur à 1 400 mm). L'orientation générale Nord-Ouest de la vallée et son profond enclavement accentuent le climat froid et humide : l'enneigement est long et tardif, décalé sur le printemps avec un grand nombre de jours de gelées. Néanmoins les jours de gel et de neige tendent à diminuer, tandis que les jours de fortes chaleurs augmentent sous les effets du changement climatique qui s'apparente ici à un réchauffement.

L'objectif de ce suivi et d'évaluer l'évolution du peuplement des Orthoptères sur l'ENS. Le pas de temps entre les deux inventaires est de 12 ans (2001 vs 2023), ce qui est une durée suffisamment longue pour espérer pourvoir observer des tendances évolutives. Pour ce faire, nous avons utilisé la même méthode de recherche, construite à partir de relevés standardisés (voir plus loin).

→ Concrètement, ce suivi a consisté à échantillonner en 2023 les **mêmes relevés**, au nombre de 36, qui avaient été échantillonnées en 2011, avec la **même méthode** et par le **même observateur**. Nous sommes donc dans un contexte protocolaire qui minimise au mieux les biais.

≡ Le calendrier des prospections

Le site a été prospecté les 20 et 21 juillet et le 1^{er} septembre 2023, par des conditions favorables, c'est-à-dire avec un temps ensoleillé et des températures supérieures à 20°C.

≡ Les espèces recherchées

Ce travail concerne les Orthoptères à proprement parler, c'est-à-dire les **ensifères** (sauterelles, grillons et courtilières) et les **célifères** (criquets). Il est d'usage pour l'orthoptériste de rechercher conjointement les autres orthoptéroïdes que sont les mantides (mantes) qui partagent des traits de vie communs en termes de biologie et d'écologie notamment.

Ce travail porte donc ici de manière large sur les orthoptéroïdes suivants : sauterelles, grillons, courtilières, criquets et mantes, soit les ordres *Orthoptera* et *Mantodea*. On notera d'emblée qu'aucune mante n'a été trouvée sur le site.

≡ L'identification

Les références suivantes ont été utilisées pour l'identification des spécimens :

- CHOPARD (L.), 1952 (1951). Faune de France. Orthoptéroïdes. 56. Lechevalier édit., Paris, 359 p.
- CORAY (A.) & THORENS (P.), 2001. Orthoptères de Suisse : clé de détermination. Fauna Helvetica n°5. CSCF/SZKF édit., 236 p.
- DEFAUT (B.), 2001. La détermination des Orthoptères

de France. 2^{ème} édition, Bernard Defaut édit., Bédéilhac, 86 p.

- HARZ (K.), 1969. Die Orthopteren Europas. The Orthoptera of Europe I, Series Entomologica Vol. 5, Schimitschek, E., ed., Dr. W. Junk B.V. Publishers, The Hague, 749 p.
- HARZ (K.), 1975. Die Orthopteren Europas. The Orthoptera of Europe II, Series Entomologica Vol. 11, Schimitschek, E., Spencer, K.A. eds., Dr. W. Junk B.V. Publishers, The Hague, 939 p.
- HARZ (K.) & KALTENBACH (A.), 1975. Die Orthopteren Europas. The Orthoptera of Europe III, Series Entomologica Vol. 12, Dr. W. Junk BV., Publishers, The Hague, 434 p.
- SARDET (E.) *et al.*, 2015. Cahier d'identification des Orthoptères de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Biotope, 304 p.
- RAGGE (D.R.) & REYNOLDS (W.J.), 1998. The songs of the Grasshoppers and Crickets of Western Europe. Harley Books edit., Colchester, 591 p.

NB. Pour d'éventuels examens, notre collection de référence est conservée et est consultable à l'Université de Limoges (87), laboratoire de Biologie des Populations.

≡ La méthode de recherche

La méthode de recherche est basée sur la réalisation de **relevés** dans lesquels la liste des espèces contactées est étroitement associée à une analyse structurale de la végétation.

FIGURE 2 – Schématisation de la progression en spirale de l'observateur durant la réalisation d'un relevé.

Les relevés, standardisés, se réfèrent à une station. Il est entendu par station, l'endroit précis sur le terrain où est effectué un inventaire orthoptérique. Le choix des stations est réalisé selon leur homogénéité apparente. En pratique, une station doit être homogène quant à la structure de sa végétation (c'est-à-dire qu'elle doit concerner un seul biotope à la fois) sur une surface minimale de l'ordre de 200 m².

Dans ce périmètre virtuellement délimité, l'observateur progresse lentement durant une durée minimale de l'ordre d'un quart d'heure, et identifie tous les orthoptères qui y sont présents. La progression se fait ordinairement en spirale, de manière à éviter aux individus de désertir la station en les « ramenant » en son centre : **Figure 2**.

Abondance des espèces

Au cours des relevés, un indice d'abondance est attribué à chaque espèce contactée (comptage des adultes). Il est défini comme suit : indice + (ou 1) - 1 ou 2 individus observés sur le périmètre, indice ++ (ou 2) - 3 à 10 individus, indice +++ (ou 3) - plus de 10 individus. Un indice de ++++ (ou 4) peut être attribué à une espèce véritablement très abondante dans un relevé.

Analyse de la végétation

L'analyse structurale est réalisée une fois l'inventaire des espèces terminé (afin de bien « s'imprégner » de la station). Elle est établie selon un formulaire contenant les entrées suivantes :

1. Pourcentage de sol nu



2. Pourcentage des rochers et/ou cailloux
3. Recouvrement cryptogamique
4. Recouvrement herbacé : bas (<10 cm de hauteur), moyen (10-50 cm), haut (50-100 cm) et très haut (>100 cm)
5. Recouvrement arbustif : bas (<0,5 m), moyen (0,5-2 m) et haut (2-6 m).

D'une manière générale, les recouvrements sont une estimation de la surface occupée par la projection au sol des différentes strates, avec un pas de 5 %. Par définition, le recouvrement total est de 100 % toutes strates confondues.

La valeur (précise) de 5 % ne doit pas faire illusion : il ne s'agit ici que d'une estimation, dans la pratique, nous avons considéré que tout élément présent (exemple : une tâche de sol nu) représentait au minimum 5 % de la surface totale, l'étude des Orthoptères amenant souvent, en effet, à raisonner et travailler en terme de micro-surfaces (dans le cas particulier de la famille des Tétrigides, quelques dm² de sol dénudé suffisent à l'apparition de certaines espèces au sein d'une pelouse à couverture végétale globalement continue).

Humidité stationnelle

Les stations sont catégorisées en six classes : HH hyperhygrophile (classe 1), H hygrophile (classe 2), MH mésohygrophile (classe 3), MX mésoxérique (classe 4), X xérique (classe 5) et HX hyperxérique (classe 6).

La classe HH concerne les stations qui sont continuellement gorgées d'eau ou qui comptent de l'eau libre tout au long de la saison, tandis que la classe H désigne les stations à humi-

dité temporaire (souvent en période hivernale et/ou vernale) ou qui sont humides seulement en profondeur. D'un point de vue de la végétation, les premières se caractérisent par des espèces uniquement hygrophiles, tandis que pour les secondes, la végétation hygrophile est discontinue et souvent répartie par tâches.

Pâturage et fauchage

L'utilisation agro-pastorale est notée (malheureusement elle ne l'avait pas été en 2011) : absence ou présence du pâturage et du fauchage. Il convient de noter que ce constat est réalisé à la date de réalisation (estivale) des relevés. On note la présence effective ou non des animaux, ainsi que les traces visibles et récentes d'herbe coupée. Cela sous-entend qu'un pâturage ou une fauche printanière peuvent passer inaperçues en été et qu'une parcelle peut alors être considérée comme non pâturée ou non fauchée, au cours de la réalisation d'un relevé.

→ L'ensemble de ces opérations (du choix de la station, la réalisation de l'inventaire jusqu'à l'analyse de la végétation) constitue un **relevé** proprement dit.

Localisation des relevés

Les 36 relevés sont localisés dans la **Figure 3**. Leurs coordonnées géodésiques, leur altitude, leurs résultats bruts et leurs caractéristiques environnementales sont présentées en **Annexes**.

FIGURE 3 – Vue sur le fond de la vallée, dont les prairies à tendance mésohygrophile sont gérées par un pâturage bovin (race Salers) extensif.



FIGURE 4 – Localisation des 36 relevés dans l'ENS.

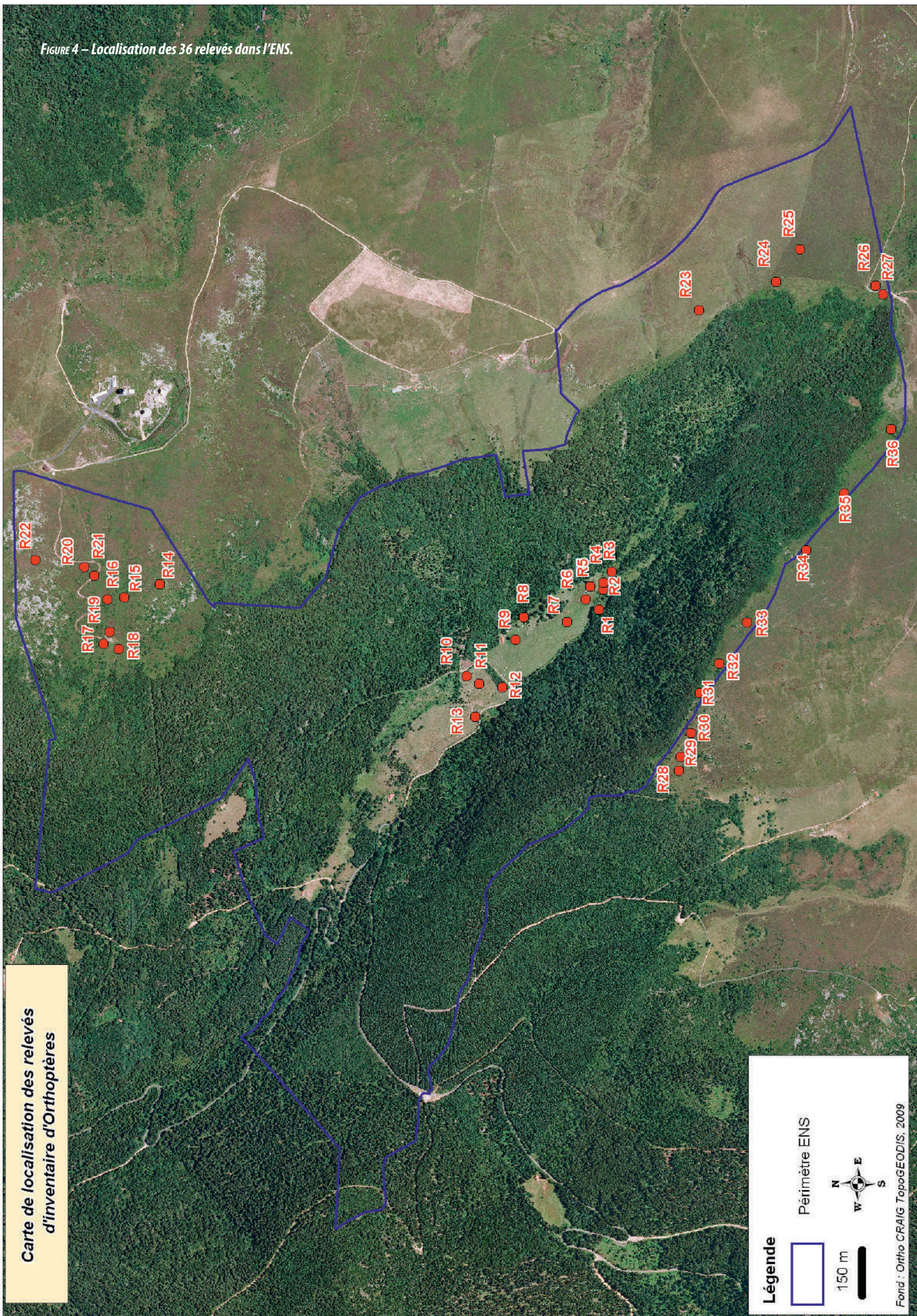




FIGURE 5 – Deux illustrations du relevé R3.

→ **En haut : le 14 septembre 2011**

→ **En bas : le 1^{er} septembre 2023**

Ce relevé abritaient 4 espèces en 2011 et 8 en 2023, parmi lesquelles figure l'espèce patrimoniale *Miramella subalpina*.

FIGURE 5 – La montagne de Monthallier, vers s le relevé R33.



RÉSULTATS & DISCUSSION



≡ Les espèces recensées

C'est un total de 27 espèces d'Orthoptères qui a été recensé dans l'ENS au cours de ce suivi : [Tableau I](#).

D'un point de vue global, ce total est à comparer aux 85 espèces d'Orthoptères recensées en Auvergne sur la période 1990-2019 (BOITIER, 2017 ; BÉLENGUIER *et al.*, 2018 ; BÉLENGUIER, 2020). A noter que le département du Puy-de-Dôme abrite en l'état actuel des connaissances un total de 74 espèces (BÉLENGUIER, 2020) : l'ENS de la vallée de Fossat abrite donc 32 % (un tiers) des espèces de l'inventaire régional et 36 % (un peu plus d'un tiers) de l'inventaire départemental, ce qui est tout à fait appréciable. D'un point de vue local, et en comparaison avec l'inventaire de 2011, on constate que 10 espèces n'avaient pas été observées dans l'ENS. Il s'agit de :

- *Stenobothrus stigmaticus*,
- *Tettigonia viridissima*,
- *Chorthippus albomarginatus*,
- *Stenobothrus nigromaculatus*,
- *Calliptamus italicus*,
- *Conocephalus fuscus*,
- *Bicolorana bicolor*,
- *Oedipoda caerulescens*,
- *Platycleis albopunctata*,
- *Tessellana tessellata*.

A l'inverse, 2 espèces observées en 2011 n'ont pas été rencontrées lors de ce suivi : il s'agit de *Mecostethus parapleurus* et d'*Ephippiger ephippiger*. On passe donc de 19 espèces en 2011 à 27 espèces recensées dans les relevés en 2023.

→ Nous obtenons à ce jour une liste de **30 espèces** d'Orthoptères qui ont été observées sur l'ENS au cours de ces deux campagnes de prospection (29 dans les relevés, tandis que le petit grillon *Nemobius sylvestris* a été entendu au cours des déplacements le 21/08/2023, dans le bois de la Richarde).

≡ Les espèces à valeur patrimoniale

Parmi les 27 espèces observées au cours de ce suivi en 2023, deux présentent un intérêt patrimonial fort, avec le statut de Vulnérable (VU) : *Miramella subalpina* et *Stenobothrus nigromaculatus* ([Tableau I](#)) (→ voir les illustrations page 13).

≡ La fréquence des espèces

En 2023, cinq espèces ont une fréquence supérieure à 50 % (on les trouve dans plus de la moitié des relevés). Il s'agit de ([Tableau I](#)) :

- *Pseudochorthippus parallelus* (97 %),
- *Omocestus viridulus* (86 %),
- *Stauroderus scalaris* (83 %),
- *Metrioptera saussuriana* (69 %),
- *Miramella subalpina* (67 %).

En 2011, il s'agissait déjà des espèces les plus fréquentes, mais dans un ordre différent :

- *Omocestus viridulus* (94 %),
- *Metrioptera saussuriana* (92 %),
- *Pseudochorthippus parallelus* (78 %),
- *Stauroderus scalaris* (61 %),
- *Miramella subalpina* (56 %).

TABLEAU I – Liste systématique, statut et fréquence (en %) des espèces inventoriées dans l'ENS en 2011 et 2023.

LRR : Liste rouge régionale des Orthoptères d'Auvergne (BOITIER, 2017)

+ : Contacté hors relevés

TABLEAU I – Liste systématique, statut et fréquence (en %) des espèces inventoriées dans l'ENS en 2011 et 2023.		Inventaire 2011	Inventaire 2023	Tendance T	
LRR : Liste rouge régionale des Orthoptères d'Auvergne (BOITIER, 2017)					
+ : Contacté hors relevés					
ENSIFÈRES (sauterelles et grillons)		LRR			
1	<i>Polysarcus denticauda</i> (Charpentier, 1825)	LC	25 %	8 %	▼▼
2	<i>Conocephalus fuscus</i> (Fabricius, 1793)	LC		3 %	▲
3	<i>Tettigonia viridissima</i> (L., 1758)	LC		8 %	▲
4	<i>Tettigonia cantans</i> (Fuessly, 1775)	LC	11 %	11 %	▷
5	<i>Decticus verrucivorus</i> (L., 1758)	LC	17 %	33 %	▲▲
6	<i>Platyleis albopunctata</i> (Goeze, 1778)	LC		3 %	▲
7	<i>Tessellana tessellata</i> (Charpentier, 1825)	LC		3 %	▲
8	<i>Metrioptera saussuriana</i> (Frey-Gessner, 1872)	LC	92 %	69 %	▼▼
9	<i>Bicolorana bicolor</i> Philippi (1830)	LC		3 %	▲
10	<i>Roeseliana roeselii</i> (Hagenbach, 1822)	LC	28 %	36 %	▲
11	<i>Ephippiher ephippiger diurnus</i> (Dufour, 1841)	LC	3 %		▼
12	<i>Nemobius sylvestris</i> (Bosc, 1792)	LC		+	
CAELIFÈRES (criquets)					
13	<i>Tetrix undulata</i> (Sowerby, 1806	LC	3 %	3 %	▷
14	<i>Miramella alpina subalpina</i> (Fischer, 1850)	VU	56 %	67 %	▲
15	<i>Calliptamus italicus</i> (L., 1758)	LC		3 %	▲
16	<i>Oedipoda caerulea</i> (L., 1758)	LC		3 %	▲
17	<i>Mecostethus parapleurus</i> (Hagenbach, 1822)	LC	3 %		▼
18	<i>Stethophyma grossum</i> (L., 1758)	LC	6 %	14 %	▲
19	<i>Chrysochraon dispar</i> (Germar, 1835)	LC	42 %	44 %	▷
20	<i>Omocestus viridulus</i> (L., 1758)	LC	94 %	86 %	▼
21	<i>Omocestus haemorrhoidalis</i> (Charpentier, 1825)	LC	3 %	25 %	▲▲
22	<i>Stenobothrus nigromaculatus</i> (Herrich-Schaeffer, 1840)	VU		6 %	▲
23	<i>Stenobothrus stigmaticus</i> (Rambur, 1838)	LC		22 %	▲▲
24	<i>Stenobothrus lineatus</i> (Panzer, 1796)	LC	3 %	22 %	▲▲
25	<i>Myrmeleottettix maculatus</i> (Thunberg, 1815)	LC	8 %	19 %	▲
26	<i>Pseudochorthippus parallelus</i> (Zetterstedt, 1821)	LC	78 %	97 %	▲▲
27	<i>Chorthippus albomarginatus</i> (De Geer, 1773)	LC		6 %	▲
28	<i>Chorthippus brunneus</i> (Thunberg, 1815)	LC	28 %	3 %	▼▼
29	<i>Chorthippus biguttulus</i> (L., 1758)	LC	6 %	28 %	▲▲
30	<i>Stauroderus scalaris</i> (Fischer, 1846)	LC	61 %	83 %	▲▲
Total espèces			19	28	

En danger critique	CR
En danger	EN
Vulnérable	VU
Quasi menacée	NT
Préoccupation mineure	LC
Données insuffisantes	DD

Stenobothrus nigromaculatus ♂



Miramella sublpina ♂

TABLEAU II – Richesses moyennes observées par relevé dans différents sites du nord du Massif central, en nombre d'espèces par relevé ($\pm$ écart-type)

SITES	RÉFÉRENCES	NOMBRE DE RELEVÉS	RICHESS MOYENNE
RNN des Sagnes de la Godivelle (63)	BOITIER (2005)	36	4,7 $\pm$ 1,5
Landes montagnardes et écosystèmes tourbeux du Limousin (19, 23 et 87)	BOITIER & PETIT (2013)	180	5,3 $\pm$ 2,0
RNN de la Vallée de Chaudesfour (63)	BOITIER (2012)	86	5,5 $\pm$ 2,7
ENS de la Vallée du Fossat (63)	BOITIER (2012)	36	5,6 $\pm$ 1,2
RNR du Lac de Malaguet (43)	BOITIER (2022)	26	6,9 $\pm$ 1,2
ENS de la Vallée du Fossat (63)	BOITIER (2023)	36	7,1 $\pm$ 1,4
RNR du Lac de Malaguet (43)	BOITIER (2019)	26	7,2 $\pm$ 2,1
RNN du Rocher de la Jaquette (63)	BOITIER (2010)	41	7,5 $\pm$ 1,9
RNR du Jolan et Gazelle (15)	BOITIER (2023)	53	7,9 $\pm$ 2,4
RNN Chastreix-Sancy (43)	BOITIER (2019)	138	7,9 $\pm$ 2,2
ENS de la Montagne du Mont (63)	BOITIER (2019)	36	8,4 $\pm$ 2,8
Grand Site du puy de Dôme (63)	BOITIER (2017)	61	8,5 $\pm$ 1,8

≡ La richesse des relevés

En 2023, Les 36 relevés ont permis d’obtenir 255 données (une espèce/un relevé/une journée). La richesse moyenne des relevés est de 7,1 $\pm$ 1,4 espèces (minimum 4 - maximum 10 espèces par relevé). C’est une valeur moyenne dans la moyenne, si on la compare à celles obtenues d’autres sites de moyenne montagne du nord du Massif central : **Tableau II**. En 2011, les 36 relevés avaient permis d’obtenir 203 données et la richesse moyenne était de 5,6 $\pm$ 1,2 espèces (min. 4 - max. 9). Nous avons rassemblé les valeurs obtenues dans le **Tableau III**.

≡ Analyse simple des résultats

Une analyse rapide permet d’annoncer quelques premières impressions. Entre 2011, l’année du premier inventaire, et 2023, l’année de sa reconduite à l’identique, on que le

TABLEAU III – Richesses totales et moyennes observées par relevé (n = 36) entre les deux inventaires (2011 et 2023) dans l’ENS.

	INVENTAIRE 2011	INVENTAIRE 2023	TENDANCE
Nombre total d'espèces	19	27	↑ 42 %
Nombre moyen d'espèces	5,6	7,1	↑ 27 %
Écart-type	1,2	1,4	
Min.	4	4	
Max.	9	10	
Nombre total données	203	255	↑ 26 %

peuplement des Orthoptères de l’ENS a évolué de manière indéniable. Plusieurs paramètres faunistiques sont en forte hausse (**Tableau III**) : le nombre d’espèces contactées, le nombre moyen d’espèces par relevé et le nombre total de données. Les tendances d’évolution des fréquences montrent clairement que beaucoup d’espèces sont en augmentation, la plupart étant des espèces thermophiles et que trois espèces sont en nette régression, parmi lesquelles deux espèces subalpines, à savoir *Metrioptera saussuriana* et *Polysarcus denticauda*. Le peuplement, dans un contexte généralisé de réchauffement climatique, montre une tendance nette à l’augmentation des espèces thermophiles, certaines venant même de l’étage collinéen, dans le même temps qu’une évolution régressive des espèces qui aiment le froid et l’altitude.

Pour résumer, le peuplement évolue vers plus d’espèces et plus fréquentes, surtout des espèces qui apprécient la chaleur et une certaine sécheresse des biotopes, tandis que les espèces dites subalpines (déjà peu présentes en Auvergne) au mieux subsistent à des niveaux équivalents, ou régressent.

De manière plus précise, les prédictions que l’on peut faire sont : (i) les espèces devraient se déplacer en altitude entre les deux inventaires pour compenser l’augmentation des températures et (ii) les espèces devraient se réfugier dans des zones plus humides et à végétation plus haute pour compenser l’augmentation de la sécheresse édaphique. Ce sont les hypothèses que nous allons tester au moyen d’une analyse statistique plus poussée.

≡ Analyse statistique : outils et méthode

Notre stratégie d’exploration porte sur deux approches : (i) les facteurs environnementaux qui vont agir sur l’abondance

des espèces et (ii) les variations des préférendums selon l'altitude observée en 2023. On cherche ainsi à savoir par exemple si les espèces alticoles et thermophobes ont préféré se réfugier ou non dans une végétation plus haute et plus humide.

Pour tester si le nombre de relevés a été suffisant pour rendre compte du nombre d'espèces présentes sur le secteur, la méthode préconisée est celle de la courbe de raréfaction de Mao's tau. Si on considère un ajustement logarithmique entre le nombre d'échantillons et la richesse spécifique cumulée, il n'y a pas d'asymptote et la richesse croît continûment, ce qui est peu réaliste. On peut en revanche avoir asymptote définie par une fonction soit paramétrique comme celle de Michaelis–Menten, soit non paramétrique en utilisant les estimateurs de Chao (CHAO *et al.*, 2013, COLWELL & EISENBERG, 2014).

Pour tester si les stations ont des peuplements équilibrés, on peut tester la relation continûment croissante entre l'abondance et la richesse (INAGAKI, 1967).

Pour chacun des habitats prospectés, les principaux paramètres de peuplements (richesse spécifique, abondance et indice de Shannon) ont été calculés. Pour comparer ces paramètres selon les années, nous avons effectué des tests de Wilcoxon, sachant que les variables n'ont pas toutes une distribution normale. Cette méthode permet de faire une comparaison station par station, ce qui est plus précis qu'une comparaison globale de l'ensemble des données. Pour illustrer ces variations entre les deux années d'études, des boîtes à moustache ont été dessinées.

Pour étudier les variables environnementales, nous avons attribué à chaque ensemble une valeur synthétique. Les valeurs étudiées sont les suivantes :

- La hauteur moyenne du toit de végétation. Sur le terrain, comme précisé précédemment, on note le recouvrement des différentes strates. A partir de ces recouvrements (en %), on calcule le barycentre du toit de la végétation, selon la formule :

$$\text{Toit végétation} = (1 \times (\text{mousse} + \text{sol nu} + \text{cailloux} + \text{bois morts}) + 2 \times \text{herbacé bas} + 3 \times (\text{herbacé moyen} + \text{arbusitif bas}) + 4 \times (\text{herbacé haut} + \text{arbusitif moyen}) + 5 \times (\text{herbacé très haut} + \text{arbusitif haut}) / (\text{mousse} + \text{sol nu} + \text{cailloux} + \text{bois morts} + \text{herbacés bas, moyen, haut et très haut} + \text{arbusitif bas, moyen et haut})$$

- L'altitude des relevés,
- L'humidité stationnelle : le codage suivant a été adopté :
 $HX, X \text{ et } MX \rightarrow X = 0$
 $MX \rightarrow HX = 0,5$
 $MX = 1$
 $MX \rightarrow MH = 1,5$
 $MH, MX \rightarrow MH \text{ et } MX \rightarrow H = 2$
 $MH \rightarrow H = 2,5$
 $H = 3,$
- Le pâturage et le fauchage ont été codés 1 en cas de la présence de l'un ou de l'autre et 0 en cas d'absence commune.

Pour comparer les mesures d'humidité et du toit de la végétation entre les deux dates, nous avons utilisé le test par paire de Wilcoxon. Pour mettre en évidence les facteurs environnementaux agissant sur les abondances des Orthoptères, il était nécessaire d'affecter à chacune des espèces une valeur de

préférendum. Cette valeur dépend de l'abondance observée pour chaque valeur de la variable environnementale. Dans le gradient de cette variable, il suffit donc d'en calculer le barycentre (= centre de gravité), selon la formule :

$$B_j = \sum \text{abond}_j \times \text{valeur}_i / \sum (\text{abond}_j)$$

Avec abond_j = abondance de l'espèce j dans la station i ,
 valeur_i = mesure de la variable environnementale dans la station i .

Pour tester l'influence de l'altitude sur les autres variables environnementales, nous avons testé un modèle de relation linéaire (droite de régression).

Une fois ces barycentres calculés pour chaque espèce, il suffit de tester quels sont ceux qui sont corrélés significativement avec la différence d'abondance entre les années 2018 et 2022 (test de Spearman).

Pour analyser globalement le tableau des barycentres des espèces calculés pour les deux années, une analyse multivariée était indispensable. Étant donné que les variables considérées sont des toutes des valeurs numériques, l'analyse la plus appropriée est celle de l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Celle-ci se propose de représenter les variables sous la forme de vecteurs dont les angles sont entre eux d'autant plus aigus que leurs corrélations positives sont élevées. De plus, ces angles sont proches de 180° lorsque les corrélations sont négatives et fortes. En revanche, des angles proches de l'angle droit correspondent à des variables non corrélées. Les espèces, quant à elles, sont projetées sur les mêmes plans que ceux définis par les vecteurs et sont positionnées par rapport à la direction des vecteurs. Les valeurs manquantes dans le tableau sont remplacées par des points d'interrogation.

Pour comprendre l'effet de chaque facteur sur les variations d'abondance des espèces, nous avons calculé les moyennes des barycentres obtenues dans les deux années d'inventaire. Pour augmenter les contrastes à l'intérieur de chaque facteur potentiel, nous avons retenu les 7 à 11 valeurs les plus extrêmes. Ainsi, pour tester la significativité de chaque facteur, un test de Kruskal-Wallis a été effectué sur les variations d'abondance des espèces pour les extrêmes des facteurs.

Enfin, on peut se demander comment ont varié les barycentres du toit de végétation, de l'humidité et de l'altitude en fonction du barycentre d'altitude de 2023. Pour cela, il suffit de calculer la différence de barycentre pour chacun des facteurs et reporter ces différences sur un graphe en choisissant le barycentre d'altitude en 2023 en abscisse. La modélisation permettra de trouver si un modèle linéaire ou polynomial est le plus adapté pour décrire la tendance.

Toutes ces analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel PAST vers. 2.97 (HAMMER *et al.*, 2001).

➤ Résultats

- Comparaison des variables environnementales entre 2011 et 2023

Le test statistique de Wilcoxon ne montre pas de différences significatives entre les humidités mesurées aux deux dates ($p = 0,79$). En effet, cinq sites ont enregistré des valeurs supérieures en 2023 par rapport à 2011, et trois des valeurs inférieures. Il en est de même pour le toit de la végétation, aucune différence significative n'est observée (Wilcoxon, $p = 0,39$).

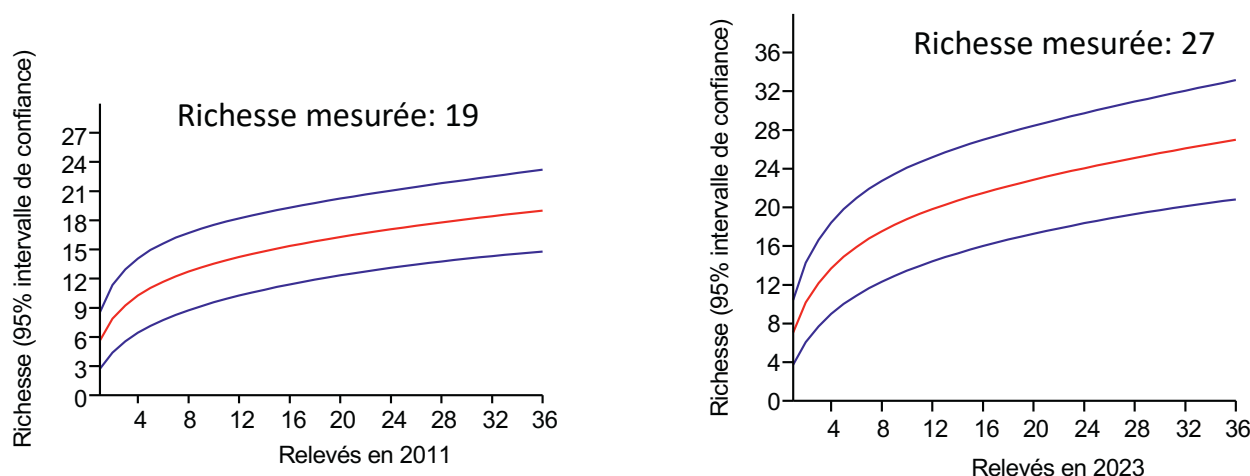


FIGURE 6 – Courbes de raréfaction de la richesse en Orthoptères selon le nombre cumulé de relevés.

Quant à la relation entre l'humidité édaphique et l'altitude, on trouve une corrélation à tendance négative : significative en 2023 ($p = 0,034$), mais à peine marginale en 2011 ($p = 0,09$). Le toit de la végétation n'est en revanche pas liée à l'altitude, que ce soit en 2011 ou en 2023 ($p > 0,6$ dans les deux cas).

- Effort d'échantillonnage

La pente de la courbe au niveau du 36^{ème} relevé est faible pour 2011, ce qui implique que théoriquement peu d'espèces ont manqué à l'inventaire. En revanche, cette pente est bien plus forte en 2023, ce qui suggère que davantage d'espèces ont pu échapper aux investigations. Autrement dit, la « sous-évaluation » de la richesse en 2023 est supérieure à celle de 2011 : **Figure 6**.

- Comparaison des abondances entre 2011 et 2023

Pour avoir une vue objective des variations d'abondance des insectes, nous avons positionné les espèces autour de leur droite de régression : **Figure 7**.

Les espèces dont les abondances ont augmenté entre les deux années sont situées au-dessus de la droite de régression, celles qui ont diminué sont en-dessous. Il y a des fortes superpositions des pro-

jections des espèces de faibles effectifs, ce qui rend la lecture difficile. Pour plus de lisibilité, nous avons calculé les résidus de régression, c'est-à-dire la différence entre l'abondance de chaque espèce avec la droite de régression : **Tableau IV**.

Les sept espèces qui montrent le plus de variations sont en bleu (dans le sens d'une diminution) et en rouge (dans le sens d'une augmentation).

- Comparaison des paramètres environnementaux entre 2011 et 2023

Les paramètres relatifs aux espèces, c'est-à-dire les barycentres calculés, sont reportés dans le **Tableau V**.

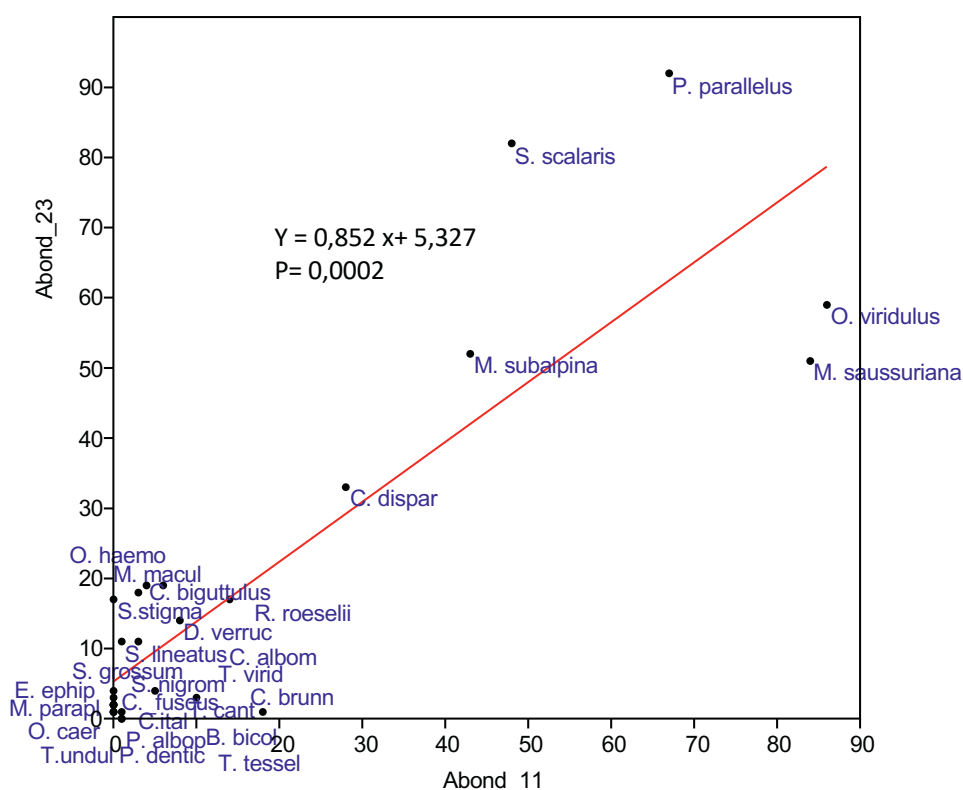


FIGURE 7 – Corrélation entre les abondances de 2011 et 2023.

Les espèces de faible abondance sont désignées par leur nom d'espèce tronqué)

TABEAU IV – Différence entre l'abondance de chaque espèce avec la droite de régression de la Figure 7 : les valeurs positives correspondent à une augmentation entre les deux années.

Pour aller plus loin dans l'analyse du tableau, nous avons conduit une ACP : **Figure 9**. Elle est satisfaisante car la projection représente environ 60 % de l'information globale. On observe que les vecteurs d'humidité indiquent une forte corrélation entre les valeurs de 2011 et 2023, de même que pour les vecteurs de toit de la végétation. Cela confirme ainsi l'absence de différences significatives pour ces deux paramètres entre les deux dates d'inventaire. Pour les abondances, la forte corrélation est illustrée par les vecteurs formant un angle très aigu. En revanche, on observe une divergence plus nette entre les barycentres de l'altitude en 2011 et 2023. Il est également à remarquer l'opposition des vecteurs d'humidité et altitude de 2011, ce qui a déjà été signalé plus haut à propos des corrélations négatives.

- Facteurs associés aux variations d'abondance des espèces

Les variations d'abondance concernent les différences entre les effectifs de chaque année avec la droite de régression. Des résultats des tests de Kruskal-Wallis, il ressort que le facteur principal jouant un rôle dans la variation d'abondance est l'altitude, cependant avec une significativité marginale et non significative ($p = 0,065$). En effet, les espèces dont le barycentre se situe à moins de 1 300 m ont maintenu voire augmenté leurs effectifs, comme pour *Stenobothrus stigmaticus*, *Chorthippus biguttulus* et *Omocestus haemorrhoidalis*. En revanche, celles dont le barycentre est au-dessus de 1 400 m ont diminué leur taille de population, et cela concerne surtout *Omocestus viridulus* et *Metrioptera saussuriana*. Ensuite, le facteur toit de végétation ne montre qu'une tendance ($p = 0,110$) favorisant les espèces établies dans des herbes plus hautes, alors que le facteur humidité est encore moins net ($p = 0,139$) au bénéfice des espèces des milieux les plus secs. Quant au fauchage-pâturage, aucun lien n'est mis en évidence ($p = 0,437$).

Il semble se dessiner deux situations différentes selon que l'optimum des espèces se situe dans les milieux ouverts de fond de vallée ($< 1\,300\text{ m}$) ou ceux situés au-dessus de la lisière supérieure de la forêt ($> 1\,400\text{ m}$).

- Variation des barycentres des espèces en fonction de l'altitude de 2023

Concernant la variation du barycentre d'altitude, on peut constater une tendance négative (**Figure 10**). Autrement dit, plus le barycentre d'une espèce dépasse 1 400 m, plus elle a tendance à gagner de l'altitude. En revanche, on observe une grande variabilité d'altitude moyenne quand le barycentre de 2023 est en dessous de 1 300 m. Par exemple, *Stenobothrus lineatus* et *Roeseliana roeselii* tendent à s'élever sur les hauteurs, tandis que *Chrysochraon dispar*, *Omocestus haemorrhoidalis* ou *Chorthippus biguttulus* tendent au contraire à descendre en altitude.

Concernant la relation entre le barycentre d'altitude et la variation du barycentre d'humidité, le graphe illustre également une tendance négative (**Figure 11**) : les espèces de plus basse altitude préfèrent se réfugier dans des micro-habitats avec une végétation plus humide. Inversement, les espèces plus alticoles vont rechercher une végétation plus sèche.

	VARIATION D'ABONDANCE
<i>Metrioptera saussuriana</i>	-25,956
<i>Chorthippus brunneus</i>	-19,676
<i>Omocestus viridulus</i>	-19,662
<i>Polysarcus denticauda</i>	-10,854
<i>Ephippiger ephippiger</i>	-6,179
<i>Mecostethus parapleurus</i>	-6,179
<i>Tettigonia cantans</i>	-5,590
<i>Tetrix undulata</i>	-5,179
<i>Conocephalus fuscus</i>	-4,327
<i>Bicolorana bicolor</i>	-4,327
<i>Platycleis albopunctata</i>	-4,327
<i>Calliptamus italicus</i>	-3,327
<i>Chorthippus albomarginatus</i>	-3,327
<i>Oedipoda caerulea</i>	-3,327
<i>Tessellana tessellata</i>	-3,327
<i>Tettigonia viridissima</i>	-2,327
<i>Stenobothrus nigromaculatus</i>	-1,327
<i>Roeseliana roeselii</i>	-0,265
<i>Decticus verrucivorus</i>	1,851
<i>Stethophyma grossum</i>	3,115
<i>Chrysochraon dispar</i>	3,797
<i>Stenobothrus lineatus</i>	4,821
<i>Myrmeleotettix maculatus</i>	8,557
<i>Miramella subalpina</i>	10,006
<i>Omocestus haemorrhoidalis</i>	10,115
<i>Chorthippus biguttulus</i>	10,262
<i>Stenobothrus stigmaticus</i>	11,673
<i>Pseudochorthippus parallelus</i>	29,540
<i>Stauroderus scalaris</i>	35,742

Enfin, on observe une relation quadratique entre le barycentre d'altitude en 2023 et le barycentre du toit de végétation (**Figure 12**) : le graphe est modélisé par une parabole. Les espèces d'altitude intermédiaire vont rechercher une végétation plus haute, alors que celles des altitudes plus extrêmes vont préférer des végétations plus basses. Il est difficile d'interpréter ces résultats mais il faut rappeler que la significativité est seulement marginale ($p = 0,057$).

En guise de discussion et de conclusion

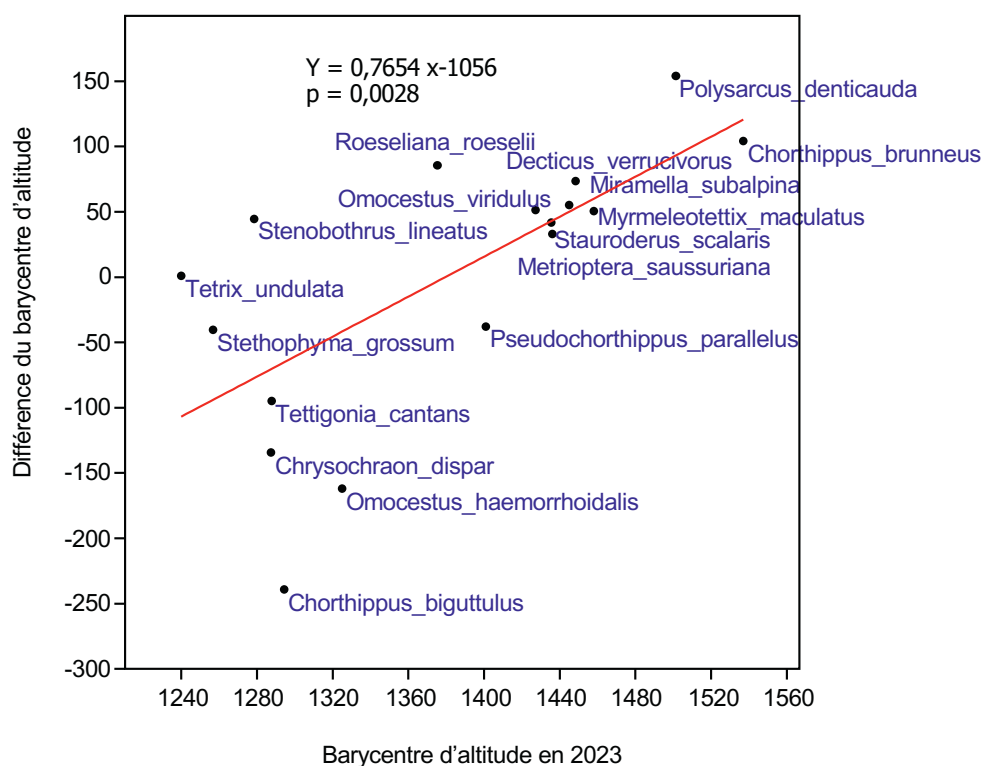
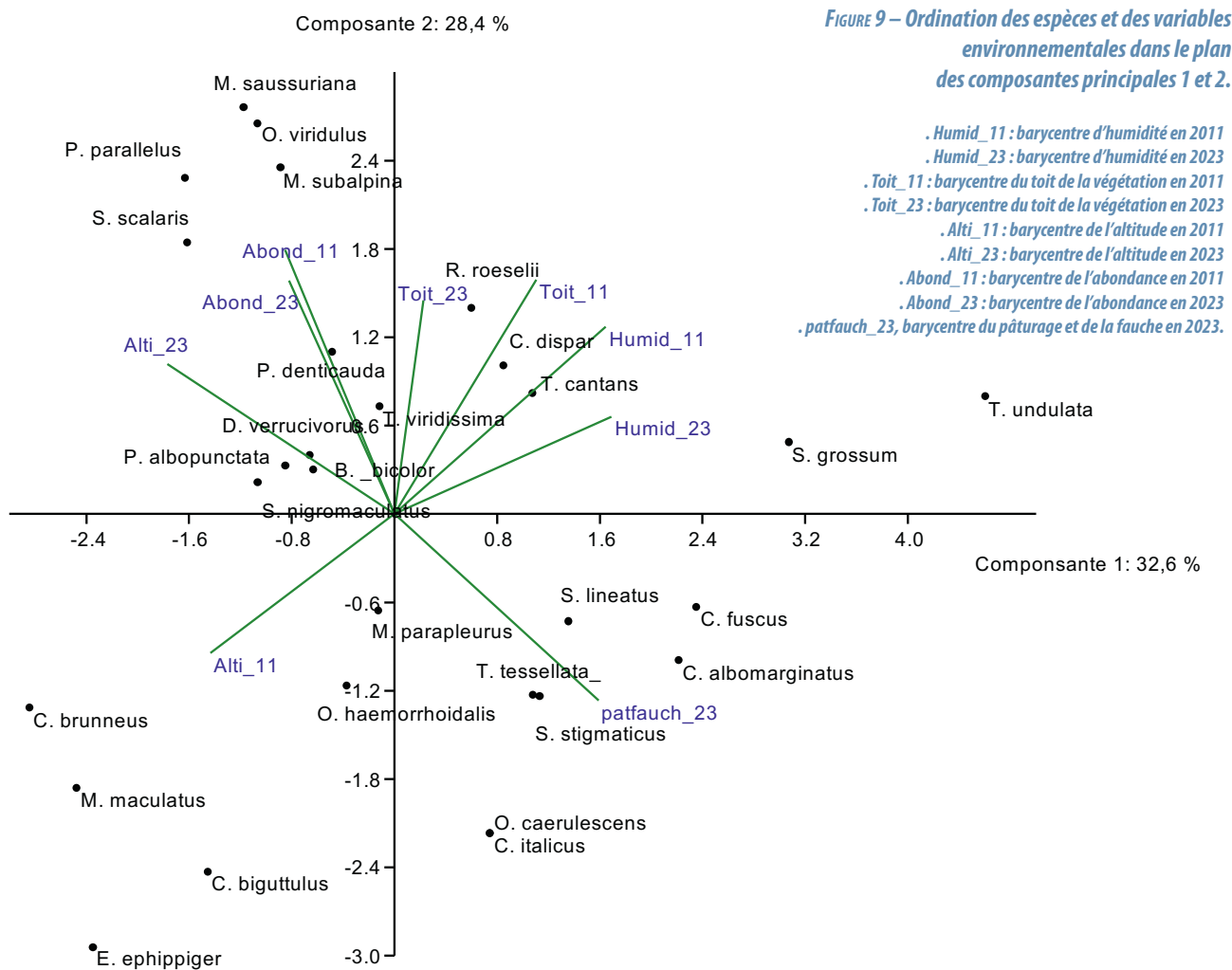
Il convient de rester prudent quant aux résultats obtenus par rapport aux hypothèses initialement posées. Il est évident que nous ne sommes pas ici dans le contexte d'une recherche

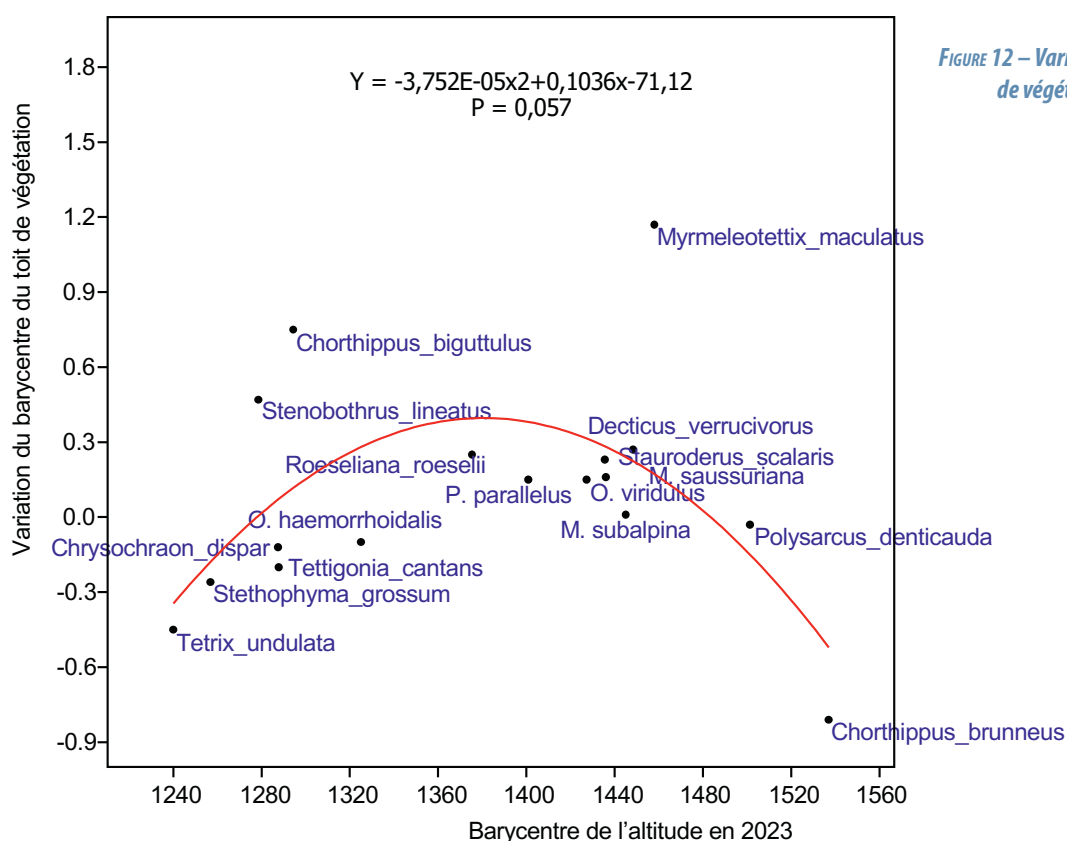
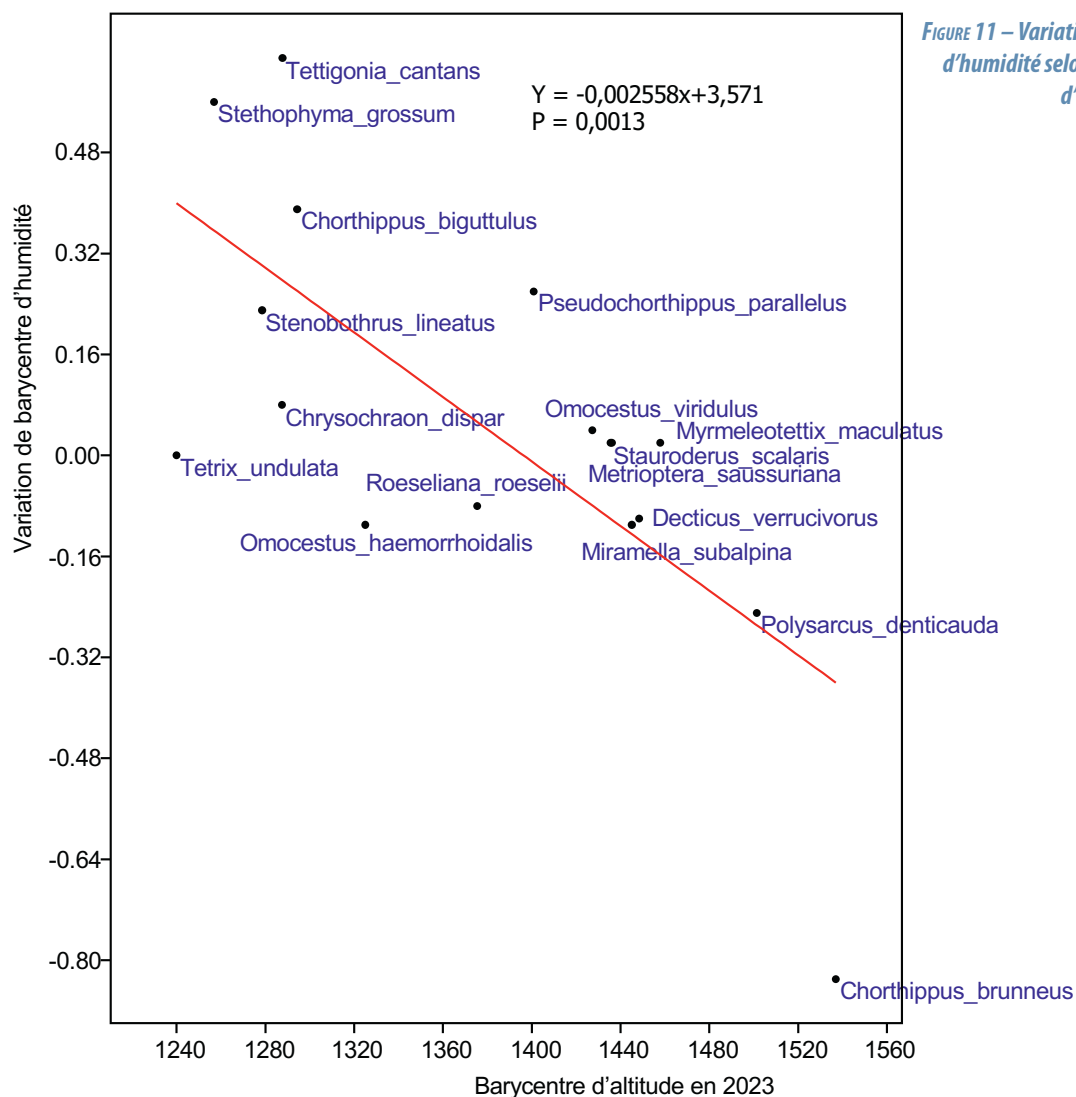
Tableau V – Barycentres des paramètres environnementaux (les espèces absentes en 2011 sont en rouge, celles absentes en 2023 en bleu).

	ABOND 2011	ABOND 2023	ALTI 2011	ALTI 2023	HUMID 2011	HUMID 2023	TOIT 2011	TOIT 2023	PATFAUCH 2023
<i>Calliptamus italicus</i>		2		1222,00		0,500		2,00	1,000
<i>Chorthippus albomarginatus</i>		2		1236,50		2,500		2,70	1,000
<i>Chorthippus biguttulus</i>	4	19	1533,50	1294,32	0,5	0,895	1,88	2,62	0,737
<i>Chorthippus brunneus</i>	18	1	1432,83	1537,00	0,83	0,000	2,41	1,60	0
<i>Pseudochorthippus parallelus</i>	67	92	1438,66	1400,88	1,00	1,261	2,80	2,95	0,315
<i>Chrysochaera dispar</i>	28	33	1421,61	1287,45	1,45	1,530	3,13	3,01	0,545
<i>Conocephalus fuscus</i>		1		1222,00		2,500		3,20	1,000
<i>Decticus verrucivorus</i>	8	14	1374,75	1448,36	1,06	0,964	2,74	3,01	0,214
<i>Ephippiger ephippiger</i>	1		1537,00				1,40		
<i>Mecostethus parapleurus</i>	1		1482,00		1		3,00		
<i>Roeseliana roeselii</i>	14	17	1289,86	1375,35	1,29	1,206	3,03	3,28	0,176
<i>Metrioptera saussuriana</i>	84	51	1403,06	1436,04	1,30	1,314	2,92	3,08	0,118
<i>Bicolorana bicolor</i>		1	?	1427,00		1,000		3,25	0
<i>Miramella subalpina</i>	43	52	1389,93	1445,04	1,28	1,173	3,13	3,14	0,038
<i>Myrmeleotettix maculatus</i>	6	19	1407,33	1457,95	0,67	0,684	1,17	2,34	0,211
<i>Oedipoda caerulestensis</i>		2		1222,00		0,500		2,00	1,000
<i>Omocestus haemorrhoidalis</i>	3	18	1487,00	1325,00	1	0,889	2,70	2,60	0,722
<i>Omocestus viridulus</i>	86	59	1375,88	1427,29	1,23	1,271	2,84	2,99	0,288
<i>Platycleis albopunctata</i>		1		1473,00		1,000		3,14	0
<i>Tessellana tessellata</i>		2		1242,00		1,000		2,90	1,000
<i>Polysarcus denticauda</i>	10	3	1347,30	1501,33	1,25	1,000	3,06	3,03	0
<i>Stauroderus scalaris</i>	48	82	1393,85	1435,55	1	1,018	2,67	2,89	0,268
<i>Stenobothrus lineatus</i>	1	11	1234,00	1278,55	1	1,227	2,30	2,77	0,818
<i>Stenobothrus nigromaculatus</i>		4		1507,75		1,000		2,84	0
<i>Stenobothrus stigmaticus</i>		17		1232,59		1,088		2,62	1,000
<i>Stethophyma grossum</i>	3	11	1297,33	1256,82	1,67	2,227	3,10	2,84	0,909
<i>Tetrix undulata</i>	1	1	1239,00	1240,00	2,5	2,500	3,00	2,55	1,000
<i>Tettigonia cantans</i>	5	4	1382,60	1287,75	1	1,625	3,56	3,36	0,250
<i>Tettigonia viridissima</i>		3		1375,67		1,333		3,78	0



FIGURE 8 – Vue sur le relevé R27, qui est le relevé le plus riche en espèces de l'ENS : 10 espèces en 2023, parmi lesquelles figure l'espèce patrimoniale *Miramella subalpina*, avec un indice d'abondance élevé (indice 3)





scientifique et notre matrice de données est largement perfectible : des calculs établis sur un plus grand nombre de relevés (36 dans le cas présent) auraient permis d'obtenir des conclusions plus robustes. Mais nous sommes ici dans la réalité concrète (en temps et en budget) d'un inventaire de terrain, et il déjà notable d'avoir une étude réalisée à 12 années d'intervalle mobilisant la même méthodologie et le même observateur. C'est suffisamment rare pour être signalé. Nous resterons donc mesuré, sans avoir l'ambition de parler des effets du réchauffement climatique mais plutôt de commenter des variations de données écologiques entre deux dates d'inventaires distantes, fussent-elles éloignées.

Par ailleurs, les variations observées peuvent ne pas être exclusivement dues au réchauffement climatique et à ses conséquences directes, l'augmentation des températures et de la sécheresse. Peuvent entrer en jeu par exemple une mortalité juvénile plus élevée liée à des épisodes de gels tardifs pour les espèces précoces, ou encore des phénomènes de régularisation comme les attaques de parasitoïdes, etc. Malgré ces restrictions, on peut se demander si les hypothèses formulées trouvent un certain écho dans nos analyses à travers les deux approches envisagées.

- Augmentation de l'altitude des espèces

Nous observons une élévation de l'altitude pour les espèces alticoles et plutôt une diminution pour les espèces plus collinéennes. Dans le premier cas, l'explication la plus simple consiste à admettre que les espèces alticoles ont besoin du

froid, ce qui implique que l'élévation de l'altitude constituerait une réponse adaptée au réchauffement. En moyenne montagne auvergnate, au-dessus de la cote de 1 300 m environ qui marque pour les Orthoptères le passage de l'étage montagnard à l'étage subalpin, ces insectes recherchent des milieux plus frais mais également plus fournis en végétation, et ce d'autant plus que l'altitude augmente : c'est un véritable tropisme de fraîcheur (BOITIER, 2003). Ce comportement est donc bien connu. Pour les espèces plus collinéennes, nous avons décrit la grande dispersion des réponses des espèces, certaines montant en altitude, ce qui est conforme à l'hypothèse de base, et d'autres descendant pour une raison inexpliquée. Les résultats sont donc nuancés et témoignent d'une situation complexe où d'autres facteurs que l'altitude entrent en jeu.

En ce qui concerne les variations d'abondance des espèces entre les deux années, l'augmentation d'altitude des espèces alticoles s'est accompagnée d'une diminution de leurs effectifs. On pourrait peut-être relier cela avec le fait que la surface favorable devient plus réduite en altitude (et il faut bien entendu considérer ici que l'ENS fait partie d'un territoire plus vaste, les monts du Forez, et que sa propre dynamique est intimement liée à celle de ce territoire bien plus vaste) ? C'est une constatation purement mécanique : plus on monte en altitude en Auvergne, plus les surfaces disponibles (et donc les surfaces favorables) diminuent. Ainsi les surfaces au-dessus de 1300 m d'altitude sont près de la moitié moins importantes que celles situées au-dessus de 1200 m d'altitude, les surfaces au-dessus de 1400 m sont 40 % moins importantes que celles au-dessus de 1300 m, et ainsi de suite : [Tableau VI](#).



FIGURE 13 – Le fond de vallée au-niveau du Fossat : vue vers le Sud-Est, en direction de la Croix du Fossat.

TABEAU VI – Surface disponible selon l'altitude en Auvergne en km² et en pourcentage par rapport à la surface totale de la région.

	SURFACE (km ²)	%
Altitude > 1200 m	1 172	4,5 %
Altitude > 1300 m	505	1,9 %
Altitude > 1400 m	197	0,8 %
Altitude > 1500 m	67	0,3 %
Altitude > 1600 m	20	0,08 %
Altitude > 1700 m	5	0,02 %
Altitude > 1800 m	0,4	0,0015 %

L'abondance des espèces plus collinéennes est en revanche restée constante et dans certains cas a même augmenté, comme pour *Chorthippus biguttulus*, *Stenobothrus stigmaticus* et *Omocestus haemorrhoidalis*. Il faut remarquer que ces trois espèces sont des espèces géophiles et xérothermophiles ici. Peut-être ont-elles pu trouver des conditions plus favorables avec un accès plus facile à des sols dénudés et secs : augmentation localisée du piétinement des animaux ? Desiccation plus importante et plus précoce de la végétation qui favorise ainsi l'accès au sol (à ce propos, il est intéressant de comparer les deux images de la **Figure 5**, page 9) ? Ces observations mériteraient de plus amples investigations.

- Déplacement des préférendums des espèces vers des micro-habitats plus humides et de plus haute végétation

L'approche basée sur les variations d'abondance entre les deux années d'inventaire n'a pas apporté de résultats significatifs. En revanche, les variations de préférendums selon le barycentre d'altitude a pu révéler les résultats suivants :

- Les espèces les plus collinéennes ont ajusté leur établissement vers des zones plus humides, ce qui est conforme aux prédictions. En revanche, les espèces alticoles se sont déplacées vers des micro-habitats plus secs, ce qui est cohérent avec le fait que les zones d'altitude dans l'ENS sont globalement plus sèches que les zones plus basse, mais va à l'encontre du pattern général de tropisme de fraîcheur, que nous venons d'évoquer. Cela reste à expliquer,
- La variation du toit de la végétation entre les deux dates varie selon une parabole avec le barycentre de l'altitude. Autrement dit, la prédiction de l'augmentation du toit de la végétation entre les deux dates n'est vérifiée que pour les espèces d'altitude intermédiaire (c'est-à-dire celles situées *grosso modo* dans la zone de transition entre le montagnard et le subalpin). Il est vraisemblable que les tendances observées dans les deux extrêmes du gradient d'altitude soient dues à des causes différentes, mais celles-ci restent à explorer.

Au terme de cette étude, nous pouvons témoigner d'une évolution très sensible du peuplement des Orthoptères de l'ENS de la vallée du Fossat entre l'inventaire initial de 2011 et celui de 2023, dans le sens d'une augmentation notable de la biodiversité. C'est réjouissant de prime abord. L'analyse statistique plus complète montre que les espèces alticoles ont tendance à monter davantage en altitude et que leur abondance diminuent, tandis que les espèces plus collinéennes ont une abondance qui reste constante ou augmente. Ces dernières ont tendance à gagner des zones plus humides, tandis que les espèces alticoles se déplacent vers des micro-habitats plus secs, ce qui va à l'encontre du tropisme de fraîcheur généralement observé en montagne auvergnate pour les Orthoptères, au fur et à mesure de l'élévation altitudinale. Dans le détail, on note une situation qui pourrait s'avérer délicate à plus ou moins long terme pour les espèces les plus alticoles et les plus thermophiles du peuplement. Nous pensons en particulier à *Polysarcus denticauda*, *Metrioptera saussuriana* et *Miramella subalpina* : ces trois espèces sont les plus alticoles d'Auvergne et il ne fait aucun doute qu'elles font partie d'un contingent d'espèces qui va peiner à faire face au réchauffement climatique dans les montagnes de la région, où le peuplement des espèces subalpines en ce qui concerne les Orthoptères est déjà naturellement pauvre (raison pour laquelle nous l'avons qualifié de « subalpin appauvri » dans BOITIER, 2003), et donc à forte valeur. Par ailleurs, de nouvelles cohabitations apparaissent entre des espèces vicariantes. C'est le par exemple des sauterelles du genre *Tettigonia* : seule en 2011, *Tettigonia cantans* (espèce alticole) doit désormais cohabiter avec *Tettigonia viridissima* (espèce collinéenne) qui est apparue en 2023 (et sans doute un peu avant), avec une fréquence quasi identique à la première, on peut supposer que des phénomènes de concurrence alimentaire vont se mettre en place, au détriment de l'une ou de l'autre.

Les résultats obtenus ne permettent pas d'avoir une explication parfaitement limpide des variations enregistrées entre les deux inventaires, sous-entendu qu'on ne peut pas désigner le réchauffement climatique comme étant l'unique phénomène à même d'expliquer les modifications du peuplement observées. Il se trouve que la configuration particulière de l'ENS doit avoir une influence certaine dans ces résultats : les milieux herbacés ouverts (qui sont les habitats préférentiels des Orthoptères en Europe occidentale) se situent dans deux secteurs géographiques isolés l'un de l'autre, à savoir le fond de vallée enclavé et cerné de forêts (**Figure 13**), et au-dessus de la lisière supérieure, les zones sommitales (voir par exemple la **Figure 1** page 4). Les résultats pourraient suggérer que ces deux entités fonctionnent de manière autonome du point de vue des Orthoptères et que surtout, le fond de vallée pourrait constituer une sorte de refuge thermique, qui plus est en raison de son orientation générale Nord-Ouest, bien que ce ne soit pas lui qui présente les altitudes les plus élevées. C'est sans doute une explication plausible dans le fait qu'une espèce subalpine et thermophile comme *Miramella subalpina*, à forte valeur patrimoniale, se maintient encore bien ici dans l'ENS, un peu à vent contraire il faut l'avouer. Il est peut-être permis de penser que la présence de ce refuge thermique peut rendre un peu moins prégnants (et peut-être même atténuer ?) les effets du réchauffement à une échelle très locale.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BÉLENGUIER (L.), 2020. Contribution à la connaissance des Orthoptères d'Auvergne : bilan des découvertes issues de deux saisons de prospections (2018/2019) (Ensifera et Caelifera). Matériaux orthoptériques et entomocénétiques, Tome 25 : 81-85.
- BÉLENGUIER (L.), BRUGEROLLE (T.) & RIOLS (R.), 2018. Contribution à la connaissance des Orthoptères d'Auvergne : bilan des découvertes issues de deux saisons de prospections (2016/2017) (Ensifera et Caelifera). Matériaux orthoptériques et entomocénétiques, Tome 23 : 111-116.
- BOITIER (E.), 2003. Caractérisation écologique et faunistique des peuplements d'Orthoptères en montagne auvergnate. Mémoire de Diplôme d'Études et de Recherches en Sciences de la Vie et de la Terre, Biologie des Populations, Faculté des Sciences de Limoges, 87 p.
- BOITIER (E.), 2005. Le peuplement des Orthoptères de la Réserve naturelle des Sagnes de la Godivelle (Puy-de-Dôme). Rapport d'étude Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne, Réserves naturelles de France, DIREN Auvergne et Alcide-d'Orbigny, Clermont-Ferrand (février 2005), 40 p.
- BOITIER (E.), 2006. Inventaire des Orthoptères de la tourbière de Sagne Bourrue, commune de Jeansagnière (Loire). Rapport d'étude Césame et Alcide-d'Orbigny, Clermont-Ferrand (septembre 2006), 15 p.
- BOITIER (E.), 2012. Inventaire des espèces d'Orthoptères de l'Espace Naturel Sensible de la vallée du Fossat (Puy-de-Dôme). Année 2011. Rapport d'étude Conservatoire d'espaces naturels d'Auvergne et Emmanuel Boitier Consultant, Montaigut-le-Blanc (mars 2012), 36 p.
- BOITIER (E.), 2012. Inventaire complémentaire et suivi des populations d'Orthoptères d'intérêt patrimonial de la Réserve naturelle nationale de la vallée de Chaudefour et de son périmètre de protection (Puy-de-Dôme). Année 2011. Rapport d'étude Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne et Emmanuel Boitier Consultant, Montaigut-le-Blanc (février 2012), 52 p.
- BOITIER (E.) & PETIT (D.), 2013. Peuplements d'Orthoptères et gestion des landes montagnardes et des écosystèmes tourbeux en Limousin. Année 2012. Rapport d'étude CEN Limousin et Emmanuel Boitier Consultant, Clémensat (mars 2013), 72 p.
- BOITIER (E.), 2017. Actualisation de La Liste rouge des Orthoptères d'Auvergne. Rapport d'étude DREAL Auvergne-Rhône-Alpes et Emmanuel Boitier Consultant, Perrier (janvier 2017), 160 p.
- BOITIER (E.), 2018. Suivi des Orthoptères sur l'ENS de la tourbière de Jouvion (Puy-de-Dôme), année 2018. Rapport Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne, Conseil général du Puy-de-Dôme et Emmanuel Boitier Consultant, Perrier (novembre 2018), 18 p.
- BOITIER (E.), 2019. Inventaire des Orthoptères de la Réserve naturelle régionale du Lac de Malaguet (Haute-Loire), année 2018. Rapport Parc naturel régional Livradois-Forez et Emmanuel Boitier Consultant, Perrier (janvier 2019), 26 p.
- BOITIER (E.), 2019. Inventaire des Orthoptères de la Réserve naturelle nationale Chastreix-Sancy (Puy-de-Dôme), années 2016 à 2018. Rapport Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne et Emmanuel Boitier Consultant, Perrier (février 2019), 44 p.
- BOITIER (E.), 2019. Inventaire des Orthoptères dans l'Espace naturel sensible de la Montagne du Mont (Chastreix, Puy-de-Dôme), années 2017 et 2018. Rapport Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne, Conseil départemental du Puy-de-Dôme et Emmanuel Boitier Consultant, Perrier (février 2019), 20 p.
- BOITIER (E.), 2022. Suivi des Orthoptères de la Réserve naturelle régionale du Lac de Malaguet (Haute-Loire), année 2022. Rapport Parc naturel régional Livradois-Forez et Emmanuel Boitier Consultant, Perrier (octobre 2022), 24 p.
- BOITIER (E.), 2023. Inventaire des Orthoptères de la Réserve naturelle régionale des tourbières du Jolan et de la Gazelle (Cantal), année 2023. Rapport Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne et Emmanuel Boitier Consultant, Perrier (décembre 2023), 42 p.
- CHAO (A.), GOTELLI (N. J.), HSIEH (T.C.), SANDER (E.L.), MA (K.H.), COLWELL (R.K.) & ELLISON (A.M.), 2014. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological monographs*, 84(1), 45-67.
- HAMMER (Ø.), HARPER (D.A.) & RYAN (P.D.), 2001. PAST: PAleontological STatistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* 4, 9.

ANNEXES

**ANNEXE 1 – Coordonnées géodésiques (en UTM 31N)
et altitude des relevés dans l'ENS.**

RELEVÉS	X	Y	ALTITUDE
R1	562,259	5054,285	1 239
R2	562,325	5054,271	1 244
R3	562,383	5054,243	1 247
R4	562,347	5054,270	1 244
R5	562,335	5054,313	1 242
R6	562,292	5054,329	1 240
R7	562,219	5054,391	1 234
R8	562,235	5054,533	1 233
R9	562,162	5054,560	1 228
R10	562,043	5054,723	1 225
R11	562,017	5054,681	1 222
R12	562,006	5054,605	1 224
R13	561,910	5054,696	1 222
R14	562,355	5055,732	1 530
R15	562,311	5055,848	1 518
R16	562,306	5055,903	1 517
R17	562,160	5055,917	1 476
R18	562,143	5055,869	1 473
R19	562,200	5055,897	1 487
R20	562,414	5055,979	1 549
R21	562,385	5055,946	1 537
R22	562,439	5056,141	1 570
R23	563,242	5053,947	1 487
R24	563,334	5053,692	1 473
R25	563,440	5053,613	1 482
R26	563,317	5053,366	1 448
R27	563,289	5053,341	1 427
R28	561,727	5054,026	1 454
R29	561,771	5054,021	1 458
R30	561,849	5053,985	1 463
R31	561,981	5053,956	1 471
R32	562,078	5053,891	1 491
R33	562,212	5053,798	1 508
R34	562,448	5053,602	1 530
R35	562,634	5053,474	1 505
R36	562,844	5053,318	1 479

RELEVÉS 2023	HUMIDITÉ	HERBACÉ TRÈS HAUT	HERBACÉ HAUT	HERBACÉ MOYEN	HERBACÉ BAS	ARBUSTIF BAS	ARBUSTIF MOYEN	MOUSSE	SOL NU	ROCHER/CAILLOUX	BOIS MORT	NON PÂTURÉ	PÂTURÉ	FAUCHÉ
R1	MH à H		5 %	80 %		5 %		10 %				*		
R2	MX		60 %	35 %		5 %						*		
R3	MX		15 %	70 %		15 %						*		
R4	MX		5 %	75 %	20 %								*	
R5	MX		5 %	85 %	5 %					5 %			*	
R6	MH à H		10 %	50 %	25 %			5 %	10 %				*	
R7	MX		5 %	70 %	20 %				5 %				*	
R8	MH à H		25 %	50 %	10 %			10 %	5 %				*	
R9	MX		10 %	60 %	30 %								*	
R10	MX			60 %	35 %				5 %				*	
R11	MH à HH		45 %	40 %	5 %			5 %	5 %				*	
R12	MX à MH	25 %	60 %	15 %								*		
R13	MX à HX			25 %	40 %	5 %			15 %	15 %			*	
R14	MX			35 %	25 %	35 %			5 %				*	
R15	MX			55 %	15 %	30 %							*	
R16	MH à H		5 %	70 %	10 %			5 %	5 %			*		
R17	MX	15 %	70 %	15 %								*		
R18	MX	15 %	65 %	20 %								*		
R19	MX		5 %	55 %		30 %			5 %	5 %		*		
R20	MX		5 %	30 %		60 %			5 %			*		
R21	X			10 %	20 %	10 %			30 %	30 %		*		
R22	MX		5 %	75 %	5 %	15 %			5 %	5 %		*		
R23	MX		5 %	25 %		60 %			10 %			*		
R24	MX		15 %	85 %		5 %						*		
R25	MX			40 %		60 %						*		
R26	MX			70 %	10 %	20 %						*		
R27	MX		25 %	70 %		5 %						*		
R28	MX			10 %		90 %						*		
R29	MX			10 %		90 %						*		
R30	MX			30 %	20 %	20 %			30 %			*		
R31	MX			10 %	5 %	80 %			5 %			*		
R32	MX			15 %	5 %	75 %			5 %			*		
R33	MX			30 %	5 %	60 %			5 %			*		
R34	MX		5 %	10 %	5 %	75 %			5 %			*		
R35	MX		5 %	20 %	5 %	70 %						*		
R36	MX à H		5 %	50 %	15 %	5 %		25 %				*		

RELEVÉS 2011	HUMIDITÉ	HERBACÉ TRÈS HAUT	HERBACÉ HAUT	HERBACÉ MOYEN	HERBACÉ BAS	ARBUSTIF BAS	ARBUSTIF MOYEN	MOUSSE	SOL NU	ROCHER/CAILLOUX	BOIS MORT	NON PÂTURÉ	PÂTURÉ	FAUCHÉ
R1	MH à H		10 %	80 %		5 %			5 %					
R2	MX		20 %	75 %		5 %								
R3	MX		5 %	90 %		5 %								
R4	MX	5 %	35 %	60 %										
R5	MX			60 %	30 %					5 %	5 %			
R6	MH		5 %	80 %					15 %					
R7	MX			30 %	70 %									
R8	MH	5 %	10 %	80 %					5 %					
R9	MX			50 %	50 %									
R10	MX			70 %	30 %									
R11	MX		20 %	80 %										
R12	MH à H	10 %	80 %	10 %										
R13	MX			25 %	60 %					5 %	10 %			
R14	MX			20 %	15 %	40 %				5 %	20 %			
R15	MX			15 %	5 %	75 %				5 %				
R16	MH		40 %	60 %										
R17	MX		20 %				80 %							
R18	MX		40 %	60 %										
R19	MX			15 %		85 %								
R20	MX			50 %		50 %								
R21	HX					20 %				40 %	40 %			
R22	MX			40 %		55 %					5 %			
R23	MX			40 %	30 %	30 %								
R24	MX		40 %	40 %		20 %								
R25	MX			60 %		40 %								
R26	H		10 %	80 %					10 %					
R27	MX		10 %	70 %		20 %								
R28	MX			5 %	5 %	90 %								
R29	MX			40 %	10 %	50 %								
R30	MX													
R31	MX			40 %	10 %	30 %				15 %	5 %			
R32	MX			5 %		90 %	5 %							
R33	MX			5 %		90 %	5 %							
R34	MX			40 %		60 %								
R35	MX			30 %		70 %								
R36	MH à H			55 %		35 %			10 %					

ANNEXE 4 – Résultats bruts des relevés en 2023 : indice 1 → 1 ou 2 individus observés sur le périmètre, indice 2 → 3 à 10 individus, indice 3 → plus de 10 individus.

ESPÈCES 2023	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18
<i>Calliptamus italicus</i>													2					
<i>Chorthippus albomarginatus</i>						1		1										
<i>Chorthippus biguttulus</i>					3		2		2	3			4					
<i>Chorthippus brunneus</i>																		
<i>Pseudochorthippus parallelus</i>	2	3	3	3	3	3	3	3	3		3	2	2	3	3	3	3	3
<i>Chrysochraon dispar</i>		3	3	1	3	3	2	3	2	1	3	2						
<i>Conocephalus fuscus</i>											1							
<i>Decticus verrucivorus</i>										1			1		1		1	1
<i>Ephippiger ephippiger</i>																		
<i>Mecostethus parapleurus</i>																		
<i>Roeseliana roeselii</i>		2	1	1	1	1						1					2	1
<i>Metrioptera saussuriana</i>	3	2	2					1			1	2		2	2	3	2	3
<i>Bicolorana bicolor</i>																		
<i>Miramella subalpina</i>	3	2	1									3		1	1	1	3	3
<i>Myrmeleotettix maculatus</i>													4					
<i>Oedipoda caerulea</i>													2					
<i>Omocestus haemorrhoidalis</i>				3					2	3			4	1				
<i>Omocestus viridulus</i>		1	1	1		3	1		2	1	3	2		3	3	2	2	2
<i>Platycleis albopunctata</i>																		
<i>Tessellana tessellata</i>					2													
<i>Polysarcus denticauda</i>																		
<i>Stauroderus scalaris</i>	1		1	3	3		3		2	3			2	3	3	2	3	3
<i>Stenobothrus lineatus</i>				2	1		2		1	2	1							
<i>Stenobothrus nigromaculatus</i>																		
<i>Stenobothrus stigmaticus</i>				3	2	1	2	1	2	3			3					
<i>Stethophyma grossum</i>						3		2	2		3					1		
<i>Tetrix undulata</i>						1												
<i>Tettigonia cantans</i>			1								1	1						
<i>Tettigonia viridissima</i>												1					1	
Total	4	6	8	8	8	8	7	6	9	8	8	8	9	6	6	6	8	7

ESPÈCES 2023	R19	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	R33	R34	R36	R36
<i>Calliptamus italicus</i>																		
<i>Chorthippus albomarginatus</i>																		
<i>Chorthippus biguttulus</i>									1	1		1				1	1	
<i>Chorthippus brunneus</i>			1															
<i>Pseudochorthippus parallelus</i>	2	2	1	3	2	2	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3
<i>Chrysochraon dispar</i>									1		1				1		2	2
<i>Conocephalus fuscus</i>																		
<i>Decticus verrucivorus</i>	1	1			1	3	1	1						1				
<i>Ephippiger ephippiger</i>																		
<i>Mecostethus parapleurus</i>																		
<i>Roeseliana roeselii</i>	1					2			2								1	1
<i>Metrioptera saussuriana</i>	1	3			3	2	1	3	2	1			2	2	2	1	3	2
<i>Bicolorana bicolor</i>									1									
<i>Miramella subalpina</i>	2	2		1	1	3	3		3	2	2	1	2	3	3	3	3	
<i>Myrmeleotettix maculatus</i>			4	3	3							2			1	2		
<i>Oedipoda caerulea</i>																		
<i>Omocestus haemorrhoidalis</i>	1			1										2		1		
<i>Omocestus viridulus</i>	1	3		3	2	2	1	3	3	2	1	1	2	1	3	1	1	2
<i>Platyleis albopunctata</i>						1												
<i>Tessellana tessellata</i>																		
<i>Polysarcus denticauda</i>		1				1	1											
<i>Stauroderus scalaris</i>	2	3	2	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
<i>Stenobothrus lineatus</i>	1																	1
<i>Stenobothrus nigromaculatus</i>				1	3													
<i>Stenobothrus stigmaticus</i>																		
<i>Stethophyma grossum</i>																		
<i>Tetrix undulata</i>																		
<i>Tettigonia cantans</i>											1							
<i>Tettigonia viridissima</i>									1									
Total	9	7	4	7	8	9	7	5	10	6	6	6	5	7	7	8	8	6

ANNEXE 4 – Résultats bruts des relevés en 2011 : indice 1 → 1 ou 2 individus observés sur le périmètre, indice 2 → 3 à 10 individus, indice 3 → plus de 10 individus.

ESPÈCES 2011	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18
<i>Calliptamus italicus</i>																		
<i>Chorthippus albomarginatus</i>																		
<i>Chorthippus biguttulus</i>														2				
<i>Chorthippus brunneus</i>					2		3						1	2	2			
<i>Pseudochorthippus parallelus</i>				2	2		1	1	3	3	2			2	2		2	2
<i>Chrysochraon dispar</i>				1		2					2	2		2	1	3	1	3
<i>Conocephalus fuscus</i>																		
<i>Decticus verrucivorus</i>									1	2								
<i>Ephippiger ephippiger</i>																		
<i>Mecostethus parapleurus</i>																		
<i>Roeseliana roeselii</i>	1	2		2				1	2	1	1	1						1
<i>Metrioptera saussuriana</i>	3	3	3	3		3	2	3	1	2	3	3		3	2	3	1	3
<i>Bicolorana bicolor</i>																		
<i>Miramella subalpina</i>	3	3	3	4				1				3				2	2	1
<i>Myrmeleotettix maculatus</i>													2					
<i>Oedipoda caerulea</i>																		
<i>Omocestus haemorrhoidalis</i>																		
<i>Omocestus viridulus</i>	3	3	3	4	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	1	1	3
<i>Platycleis albopunctata</i>																		
<i>Tessellana tessellata</i>																		
<i>Polysarcus denticauda</i>			2	1		1					1	1						
<i>Stauroderus scalaris</i>				2	2		1		2	3	4		4	1	2			1
<i>Stenobothrus lineatus</i>							1											
<i>Stenobothrus nigromaculatus</i>																		
<i>Stenobothrus stigmaticus</i>																		
<i>Stethophyma grossum</i>											2							
<i>Tetrix undulata</i>	1																	
<i>Tettigonia cantans</i>		1		1													2	1
<i>Tettigonia viridissima</i>																		
Total	5	5	4	9	4	4	6	5	6	6	8	6	4	7	6	4	6	8

ESPÈCES 2011	R19	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	R33	R34	R36	R36
<i>Calliptamus italicus</i>																		
<i>Chorthippus albomarginatus</i>																		
<i>Chorthippus biguttulus</i>			2															
<i>Chorthippus brunneus</i>		1	3	2			1										1	
<i>Pseudochorthippus parallelus</i>	3	3	2	3	3	2	3		2	4	4	2	2	2	3	2	3	2
<i>Chrysochaera dispar</i>	2					2		2	2						2			1
<i>Conocephalus fuscus</i>																		
<i>Decticus verrucivorus</i>										1	2		1					1
<i>Ephippiger ephippiger</i>			1															
<i>Mecostethus parapleurus</i>							1											
<i>Roeseliana roeselii</i>																	2	
<i>Metrioptera saussuriana</i>	3	3		3	2	3	1	3	3	3	2	2	3	3	3	2	2	2
<i>Bicolorana bicolor</i>																		
<i>Miramella subalpina</i>	2	1		2		2			2	2	2		2	2	2		2	
<i>Myrmeleotettix maculatus</i>			2									2						
<i>Oedipoda caerulescens</i>																		
<i>Omocestus haemorrhoidalis</i>					3													
<i>Omocestus viridulus</i>	2	3		3	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	1	
<i>Platycleis albopunctata</i>																		
<i>Tessellana tessellata</i>																		
<i>Polysarcus denticauda</i>				1							1			1		1		
<i>Stauroderus scalaris</i>	2	2		1	2	1	1			3	3	3		3	3	2		
<i>Stenobothrus lineatus</i>																		
<i>Stenobothrus nigromaculatus</i>																		
<i>Stenobothrus stigmaticus</i>																		
<i>Stethophyma grossum</i>								1										
<i>Tetrix undulata</i>																		
<i>Tettigonia cantans</i>																		
<i>Tettigonia viridissima</i>																		
Total	6	6	5	7	5	6	6	4	5	6	7	5	5	6	6	5	6	4

