



COLLOQUE NATIONAL DE MALACOLOGIE CONTINENTALE,  
NANTES, 6 ET 7 DÉCEMBRE 2018

Édité par Lilian LÉONARD

## Étude de l'habitat et des exigences écologiques du *Vertigo geyeri* Lindholm, 1925 dans le Massif jurassien

Ophélie LASNE, Julien RYELANDT,  
Michal HORSÁK & Veronika HORSÁKOVÁ

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION / *PUBLICATION DIRECTOR*: Bruno David,  
Président du Muséum national d'Histoire naturelle

RÉDACTEUR EN CHEF / *EDITOR-IN-CHIEF*: Jean-Philippe Siblet

ASSISTANTE DE RÉDACTION / *ASSISTANT EDITOR*: Sarah Figuet ([naturae@mnhn.fr](mailto:naturae@mnhn.fr))

MISE EN PAGE / *PAGE LAYOUT*: Sarah Figuet

COMITÉ SCIENTIFIQUE / *SCIENTIFIC BOARD*:

Luc Abbadie (UPMC, Paris)  
Luc Barbier (Parc naturel régional des caps et marais d'Opale, Colémbert)  
Aurélien Besnard (CEFE, Montpellier)  
Vincent Boulet (Expert indépendant flore/végétation, Frugières-le-Pin)  
Hervé Brustel (École d'ingénieurs de Purpan, Toulouse)  
Patrick De Wever (MNHN, Paris)  
Thierry Dutoit (UMR CNRS IMBE, Avignon)  
Éric Feunteun (MNHN, Dinard)  
Romain Garrouste (MNHN, Paris)  
Grégoire Gautier (DRAAF Occitanie, Toulouse)  
Olivier Gilg (Réserves naturelles de France, Dijon)  
Frédéric Gosselin (Irstea, Nogent-sur-Vernisson)  
Patrick Haffner (UMS PatriNat, Paris)  
Frédéric Hendoux (MNHN, Paris)  
Xavier Houard (OPIE, Guyancourt)  
Isabelle Le Viol (MNHN, Concarneau)  
Francis Meunier (Conservatoire d'espaces naturels – Hauts-de-France, Amiens)  
Serge Muller (MNHN, Paris)  
Francis Olivereau (DREAL Centre, Orléans)  
Laurent Poncet (UMS PatriNat, Paris)  
Nicolas Poulet (OFB, Toulouse)  
Jean-Philippe Siblet (UMS PatriNat, Paris)  
Laurent Tillon (ONF, Paris)  
Julien Touroult (UMS PatriNat, Paris)

COUVERTURE / *COVER*:

Prospections réalisées à l'aide de la méthode du *wet sieving* au sein de la tourbière du lac des Mortes (Chapelle-des-Bois, 25). Crédit photo: Gilles Bailly.

**MUSÉUM**  
(D'HISTOIRE NATURELLE)

 Nantes  
Métropole

 Greta  
Groupe d'Etude  
des Enseignants  
Américains

 Conservatoire  
d'espaces naturels  
Pays de la Loire

 UMS  
PATRIMOINE  
NATUREL  
CNRS - CNRS - MNHN

 INPN  
Inventaire  
National du  
Patrimoine  
Naturel

*Naturae* est une revue en flux continu publiée par les Publications scientifiques du Muséum, Paris  
*Naturae* is a fast track journal published by the Museum Science Press, Paris

Les Publications scientifiques du Muséum publient aussi / *The Museum Science Press* also publish:  
*Adansonia*, *Zoosystema*, *Anthropozoologica*, *European Journal of Taxonomy*, *Geodiversitas*, *Cryptogamie* sous-sections *Algologie*, *Bryologie*, *Mycologie*,  
*Comptes Rendus Palevol*.

Diffusion – Publications scientifiques Muséum national d'Histoire naturelle  
CP 41 – 57 rue Cuvier F-75231 Paris cedex 05 (France)  
Tél.: 33 (0)1 40 79 48 05 / Fax: 33 (0)1 40 79 38 40  
[diff.pub@mnhn.fr](mailto:diff.pub@mnhn.fr) / <http://sciencepress.mnhn.fr>

© Publications scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 2021  
ISSN (électronique / *electronic*): 1638-9387

# Étude de l'habitat et des exigences écologiques du *Vertigo geyeri* Lindholm, 1925 dans le Massif jurassien

Ophélie LASNE  
Julien RYELANDT

Conservatoire botanique national de Franche-Comté, Observatoire régional des Invertébrés,  
7 rue Voirin, F-25000 Besançon (France)  
ophelielasne@hotmail.fr  
julien.ryelandt.ori@cbnfc.org

Michal HORSÁK  
Veronika HORSÁKOVÁ

Masaryk University, Žerotínovo nám. 617/9, 601 77 Brno (Tchèque)  
horsak@sci.muni.cz  
veronika.horsakova@seznam.cz

Soumis le 15 avril 2019 | Accepté le 4 avril 2020 | Publié le 18 janvier 2021

Lasne O., Ryelandt J., Horsák M. & Horsáková V. 2021. — Étude de l'habitat et des exigences écologiques du *Vertigo geyeri* Lindholm, 1925 dans le Massif jurassien, in Léonard L. (éd.), Colloque national de malacologie continentale, Nantes, 6 et 7 décembre 2018. *Naturae* 2021 (2): 21-33. <https://doi.org/10.5852/naturae2021a2>

## RÉSUMÉ

Le *Vertigo* septentrional (*Vertigo geyeri* Lindholm, 1925) est un Mollusque millimétrique inscrit à l'annexe II de la Directive Habitat-Faune-Flore. La Franche-Comté, qui constitue la limite occidentale de son aire de répartition continentale, abrite le principal bastion de cette espèce au niveau national, ce qui lui confère des responsabilités particulièrement élevées pour le maintien de cette espèce en France. Dans le cadre d'un stage de deuxième année de master, une étude a été conduite afin de caractériser l'habitat et les exigences écologiques du *Vertigo geyeri* en Franche-Comté, par l'analyse des cortèges botaniques et malacologiques associés, ainsi que les composantes environnementales clés pour cette espèce. Ainsi, 32 sites ont été échantillonnés en 2016 et 2018 dans le Massif jurassien, sur lesquels un relevé malacologique utilisant la méthode du *wet sieving* a été effectué, en complément d'un relevé botanique phytosociologique comprenant les trachéophytes et les bryophytes. La connaissance de la distribution du *Vertigo geyeri* dans le Massif jurassien a pu être améliorée, avec à ce jour 62 stations connues en Franche-Comté. Suite à cette étude, nous pouvons estimer que *Vertigo geyeri* est associé aux tourbières basses neutroclines minétrophes à trèfle d'eau et amblystégiacées (*Caricion lasiocarpae*), avec comme espèces structurantes *Menyanthes trifoliata* L. et *Scorpidium cossonii* Hedenä. Ces zones humides sont généralement ouvertes, situées au sein de réseaux hydrologiques importants avec une végétation éparse et un sol constamment humide et limité en nutriments.

**MOTS CLÉS**  
Mollusque,  
Franche-Comté,  
bas marais.

## ABSTRACT

*Habitat preferences of Vertigo geyeri Lindholm, 1925 in the Jura Mountains, France.*

The Geyer's whorl snail (*Vertigo geyeri* Lindholm, 1925) is a very small mollusc (< 2 mm), registered to the Habitat Directive. Franche-Comté region in France is situated on the occidental limit of its distribution in mainland Europe and is hosting the main population in the country. Within a second year master internship, this study was conducted to characterize the snail's habitat and environmental requirements, through the analysis of botanical and malacological associations, and main environ-

**KEY WORDS**  
Mollusc,  
Franche-Comté,  
low marshes.

mental parameters. Therefore, 32 sites have been sampled in 2016 and 2018 in the Jura Mountains. The wet sieving technique has been used for the malacological sampling, in addition to a botanical survey (vascular plants and mosses). We were able to associate the snail with alkaline fens with marsh clover and mosses from the Amblystegiaceae family (Caricion lasiocarpae), with *Menyanthes trifoliata* L. and *Scorpidium cossonii* Hedenä as structuring species. These wetlands are usually open, with important hydraulic network, sparse vegetation and nutrient limited soil.

## INTRODUCTION

Avec près de 90 000 espèces décrites, le phylum des Mollusques représente l'un des plus diversifiés du règne animal puisqu'il est, après les Arthropodes, le groupe comprenant le plus d'espèces. Le domaine continental héberge un grand nombre de ses représentants et l'on compte ainsi près de 35 000 espèces de Gastéropodes terrestres (Escargots et Limaces) et environ 15 000 espèces de Gastéropodes et de Bivalves vivant en eau douce (Audibert & Bertrand 2015). Malgré cette richesse spécifique, les Mollusques représentent un des groupes les plus menacés selon la liste rouge européenne de l'IUCN (Lydeard *et al.* 2004 ; Régnier *et al.* 2009, 2015), avec presque la moitié des Mollusques européens d'eau douce menacés d'extinction et 20 % des Mollusques terrestres (Cuttelod *et al.* 2011).

En France, il existe environ 700 espèces de Mollusques continentaux, dont environ 43 % d'entre elles sont endémiques (Gargominy *et al.* 2011). Les Mollusques continentaux sont pour la plupart inféodés à des habitats très restreints, de par leurs capacités de dispersion relativement faibles, mais également à cause des liens très étroits qui les unissent à leur milieu (humidité, température, pH, disponibilité en carbonate de calcium, etc.). Ces caractéristiques confèrent aux Mollusques un intérêt notable dans de nombreux domaines de recherche, notamment en écologie, en physiologie, en éco-toxicologie, en biogéographie et en biologie de la conservation (Kerney & Cameron 1999 ; Béguinot 2012). En effet, leur mobilité restreinte les empêchant de fuir les perturbations (Wiktor & Riedel 2002), les Mollusques sont considérés comme des bioindicateurs de la qualité de leurs habitats (Hornung *et al.* 2003 ; Gerlach *et al.* 2013).

Appartenant à la famille des Vertiginidae, les Vertigos sont pour certains inféodés aux milieux humides de bonne qualité et aux régimes hydriques stables. Dans le contexte actuel de l'état des écosystèmes aquatiques, leurs exigences écologiques en font des espèces bioindicatrices de la qualité des milieux, mais également des espèces fortement menacées. Certaines espèces représentent donc un élément important dans les habitats tourbeux bien conservés (e.g. ŠefferoVá Stanová *et al.* 2008). Parmi ces taxons, certains sont considérés comme des relictés dont les larges aires de répartition qu'ils possédaient lors de la dernière ère glaciaire en Europe ont régressé face au réchauffement climatique qui s'en est suivi. Désormais, ils sont cantonnés à quelques secteurs isolés, ayant un microclimat favorable, dans les régions du nord de l'Europe (Scandinavie, îles Britanniques, etc.) ou dans certains massifs monta-

gneux (Pyrénées, Massif central, Carpates, Alpes, Jura, etc.). Ces espèces étant restreintes à des habitats bien spécifiques, la dégradation et la fragmentation de ces derniers représentent des menaces de taille.

La Bourgogne-Franche-Comté est une région située au cœur de carrefours bioclimatiques et géographiques lui conférant une multitude d'habitats naturels ainsi qu'une diversité de substrats géologiques, un large réseau hydrographique et une bonne représentation de milieux tourbeux et paratourbeux (Ryelandt *et al.* 2016). Sur les 11 espèces de Vertigos présentes en France, neuf se rencontrent en Franche-Comté (Base de données TAXA). Parmi elles, deux sont des relictés glaciaires : le Vertigo édenté (*Vertigo genesii* (Gredler, 1856)), dont les trois seules stations nationales se trouvent dans le Jura, et le Vertigo septentrional (*Vertigo geyeri* Lindholm, 1925), pour lequel la région abrite l'essentiel des populations françaises, avec de nombreuses nouvelles stations découvertes chaque année. C'est dans cette dynamique qu'il est intéressant de définir plus précisément l'habitat et les exigences écologiques de ce dernier en France, afin de pouvoir les comparer avec d'autres pays comme la Slovaquie, la Pologne ou encore l'Irlande, mais aussi pour pouvoir orienter les prospections futures et les mesures de gestion à mettre en place dans la région. Le principal objectif de cette étude est donc de caractériser l'habitat et les exigences écologiques du *Vertigo geyeri* en Franche-Comté, par l'analyse des cortèges botaniques et malacologiques associés, ainsi que les composantes environnementales clés pour cette espèce.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### CHOIX DES SITES

Les stations connues de *Vertigo geyeri* sont recensées dans la base de données entomologiques du Conservatoire botanique national de Franche-Comté-Observatoire des Invertébrés (CBNFC-ORI) : TAXA. L'espèce est répartie en plusieurs noyaux dans la région : la majorité des sites connus sont présents dans le bassin du Drugeon (25), qui présente une forte concentration de tourbières, avec les sites de Rix (39), Nozeroy (39) et Conte (39) situés dans sa continuité. Les autres stations connues sont principalement situées dans le Val de Mouthe (25), la vallée de l'Orbe (39) ainsi que sur le plateau du Russey (25).

Les sites étudiés dans la littérature sont généralement ceux présentant un potentiel d'habitats favorables à l'espèce (Schenkova *et al.* 2012 ; Willing 2013), de par leur végétation ou

leur hydrologie. Les zones d'échantillonnages sont donc sélectionnées selon leur correspondance avec les exigences des espèces étudiées (Cameron 2003; Killeen 2003; Jankowiak & Bernard 2013; Książkiewicz *et al.* 2015). C'est dans cette dynamique que les cartographies d'habitats du CBNFC-ORI ont été utilisées pour proposer des sites où l'espèce n'était pas encore connue dans le bassin du Drugeon. D'après la littérature, l'association *Caricetum davallianae* représente un habitat favorable pour *Vertigo geyeri* (Horsák & Hájek 2005; Schenková *et al.* 2012; Lecaplain 2013), et a été largement favorisée dans le choix de nouveaux sites à prospecter.

En juin 2018, les données ont été collectées sur 17 sites dans la région Bourgogne-Franche-Comté, avec des sites où l'espèce était connue, mais également des sites où aucune donnée la concernant n'était répertoriée, mais où l'association du *Caricetum davallianae* était présente.

#### ÉCHANTILLONNAGE, TRI ET IDENTIFICATION

##### Relevés malacologiques

La majorité des espèces de Mollusques sont millimétriques, ce qui rend leur détectabilité difficile; c'est particulièrement le cas dans les marais et tourbières où les litières denses et humides ont incité les malacologues à développer des techniques d'échantillonnage spécifiques.

Pour chaque site, une parcelle de 4 m<sup>2</sup> de végétation homogène a été définie, dans laquelle les Mollusques ont été prélevés selon la technique du *wet sieving* (Horsák 2003, 2006). Le principe de la technique du *wet sieving* repose sur un constat simple: dans les secteurs de marais et tourbières, la litière est composée principalement de mousses et de débris végétaux détremés qui, lorsqu'ils sont plongés dans l'eau, vont couler plus lentement que les coquilles qu'ils contiennent, même pour les coquilles vides qui sont alors remplies d'eau. Après l'échantillonnage de la couche supérieure du sol, incluant la litière organique, mais aussi la végétation herbacée, un premier lavage est effectué dans un récipient rempli d'eau (ici un sac plastique aux coins droits). Les coquilles vides des Mollusques et les individus vivants vont alors tomber au fond du sac. Une grossière partie de la matière végétale est retirée pendant cette étape avec précaution puisqu'il s'agit de ne pas induire de perte de Mollusques. L'échantillon passe ensuite à travers une passoire de maillage 0,5 mm afin d'enlever les plus petites particules. Enfin, le reste de la matière végétale est rincé par de l'eau claire, en submergeant le tamis plusieurs fois. La matière végétale coule relativement plus doucement que les Mollusques, ce qui permet de séparer les deux fractions. L'échantillon lavé est alors séché jusqu'à la dessiccation des Mollusques, qui seront observés et triés à la loupe binoculaire.

Pour cette étude, et afin d'obtenir un échantillon représentatif du quadrat étudié, un volume de 12 litres de litière a été prélevé (dans un sac plastique de 12 L de contenance) sur une parcelle de 4 m<sup>2</sup>, comprenant la couche supérieure du sol, les Bryophytes et la végétation herbacée. Ce volume a été prélevé de manière aléatoire sur l'ensemble du quadrat, à l'aide d'une griffe de jardinage, puis placé dans un sac en plastique aux coins droits. Les Mollusques terrestres et aquatiques ont ainsi été récupérés sur site en utilisant la technique décrite ci-dessus, puis conservés dans une solution d'alcool à 95 %.

Lors de l'identification, aucune distinction n'a été faite entre les individus vivants et morts. Seuls les juvéniles de Vertiginidae ont été comptabilisés. L'identification des Mollusques juvéniles étant une opération délicate, surtout pour la famille des Vertiginidae, les différentes espèces n'ont pas été séparées au stade juvénile. Enfin, les microbivalves ont été confiés à J. Mouthon pour identification, puis remis au Centre de Conservation et d'Étude des Collections du Musée de Lyon.

##### Relevés floristiques

Un relevé floristique d'abondance/dominance de type Braun-Blanquet a été effectué sur chaque parcelle (4 m<sup>2</sup>), comprenant les plantes vasculaires et les Bryophytes.

La technique des relevés phytosociologiques sigmatistes – par la technique de Braun-Blanquet – est généralement utilisée afin d'analyser précisément la composition de l'habitat (Horsák & Hájek 2005; Schenková *et al.* 2012; Horsáková *et al.* 2018). En effet, les espèces végétales et l'association végétale qui découle de leur assemblage sont considérées comme les meilleurs intégrateurs de tous les facteurs écologiques (climatiques, édaphiques, biotiques et anthropiques) responsables de la répartition de la végétation (Gehu 1979). Chaque taxon considéré isolément, apporte déjà par sa seule présence toute une série d'informations (physiologiques, écologiques, chorologiques, sociologiques, dynamiques) qui lui confèrent une valeur prédictive (Ellenberg 1979). Dans l'optique de déterminer les différents paramètres environnementaux dont dépend le *Vertigo septentrionalis*, l'utilisation de cette méthode semble la plus pertinente.

#### VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

Plusieurs paramètres environnementaux ont été relevés pour chaque site (Tableau 1). Le pH de l'eau et la conductivité ont été mesurés directement dans les quadrats au niveau des zones d'eau libre. La conductivité a été utilisée pour estimer le taux de calcium présent dans l'eau (Horsák 2006).

Pour chaque parcelle, les indices d'Ellenberg (Ellenberg IVs) pour la température, l'humidité, la lumière, la continentalité, l'acidité et l'azote, ont été calculés en utilisant les valeurs de Chytrý *et al.* (2018), ainsi que la base de données BASE-BRYO (Julve 1998) sur le logiciel JUICE (Tichý 2002). Les indices d'Ellenberg permettent de décrire la réponse d'une espèce végétale à des paramètres édaphiques et climatiques en Europe centrale (Ellenberg 1992), ils peuvent ainsi être utilisés pour étudier l'écologie des escargots terrestres (Horsák *et al.* 2007). Pour chaque site, les variables climatiques ont été obtenues grâce à la base de données WorldClim version 1.4 et QGIS 2.18. Cela inclut les températures moyennes annuelles, les températures minimales du mois le plus froid (janvier), les températures maximales du mois le plus chaud (juillet) et les précipitations annuelles.

#### ANALYSE DES DONNÉES

Afin de compléter les données acquises sur le terrain en 2018, les données d'inventaires de Horsáková *et al.* (2018) datant de 2016 ont été utilisées. Le protocole d'échantillonnage est sensiblement le même, avec un relevé phytosociologique et

TABLEAU 1. — Statistiques descriptives des variables utilisées pour les analyses de l'ensemble des 32 sites échantillonnés en 2016 et 2018. Abréviations: **SD**, écart-type.

	Minimum	1 <sup>er</sup> quartile	Médiane	Moyenne	3 <sup>e</sup> quartile	Maximum	SD
pH	5,5	7,1	7,3	7,2	7,5	7,8	0,5
Conductivité (µS/cm)	43,0	157,5	311,0	322,4	488,8	611,0	180,2
IVs pour la température	3,4	3,8	4,0	4,1	4,1	5,3	0,5
IVs pour l'humidité	6,4	7,1	7,5	7,4	7,7	8,4	0,4
IVs pour la lumière	7,2	7,6	7,8	7,8	7,8	8,3	0,3
IVs pour l'acidité	3,7	5,3	6,1	5,9	6,5	7,3	0,8
IVs pour l'azote	2,1	2,5	2,8	2,8	3,0	3,7	0,5
Moyenne température annuelle (° C)	6,2	7,0	7,3	7,2	7,5	8,3	98,3
Température minimale mensuelle (° C)	-5,4	-4,7	-4,4	-4,5	-4,3	-3,4	0,5
Précipitation annuelle (mm)	1164	1238	1258	1266	1280	1395	53,2
Altitude (m)	698	818	879	881	921	1093	98,3

malacologique – utilisant la méthode du *wet sieving* – ainsi que des relevés de pH et de conductivité. Bien que la taille du quadrat de cette étude était de 16 m<sup>2</sup> (contre 4 m<sup>2</sup> en 2018), tous les quadrats ont été systématiquement placés dans des stations homogènes et ont subi un prélèvement de même volume, ce qui permet alors leur comparaison. Au total, ce sont donc 32 stations qui ont été analysées dans cette étude: 17 échantillons en 2018 et 15 en 2016 (Annexe 1).

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel R version 3.4.0. Une Analyse de Composantes principales (ACP) basée sur les 12 variables quantitatives a été utilisée pour isoler les principales variations écologiques des sites ainsi que les relations entre l'abondance relative de la population et les variables environnementales. Les sites ont été classés arbitrairement selon le nombre de coquilles de *Vertigo geyeri* récoltées (Population < 5 individus = catégorie 0, entre 5 et 20 individus = 1, entre 21 et 39 individus = 2 et > 40 individus = 3). Les relations entre les variables et les trois premiers axes ont été analysées à l'aide de corrélations de Spearman (rs).

Enfin, l'homogénéité du milieu ayant été favorisée lors de la phase de terrain pour le placement des quadrats, il est possible d'analyser les relevés botaniques à l'aide d'une approche phytosociologique. Les relevés ont alors été diagonalisés et les habitats correspondants ont été déterminés à l'aide d'une classification ascendante hiérarchique (CAH).

## RÉSULTATS

### RÉPARTITION DE *VERTIGO GEYERI* EN FRANCHE-COMTÉ

Lors de la campagne de terrain de 2018, *Vertigo geyeri* a été comptabilisé sur 15 des 17 sites échantillonnés entre le 5 et le 28 juin. Les sites localisés à Foncine-le-Haut (le Pille Chou) et Labergement-Sainte-Marie (les Champs Nouveaux, site 1) n'ont présenté aucune coquille du *V. geyeri* (bien qu'il s'agisse de stations connues depuis respectivement 2016 et 2017). Cette campagne de terrain a permis de découvrir cinq nouvelles stations pour la Franche-Comté.

Au total, ce sont 999 coquilles de *Vertigo geyeri* qui ont été récoltées sur les 32 sites (654 en 2018 et 345 en 2016), avec une moyenne de 31 individus par site et une variation allant

de 0 à 159 individus. Sur la totalité des sites inventoriés, seulement trois d'entre eux ne présentent aucune coquille de l'espèce. Il existe à ce jour 62 stations connues du *Vertigo geyeri* dans la région répertoriées dans la base de données du CBNFC-ORI.

### EXIGENCES ÉCOLOGIQUES

L'ACP (Fig. 1) des 12 variables exprime un gradient climatique et minéral au travers des deux premières dimensions, représentant 59,8 % de l'inertie totale (respectivement 40,8 % et 19 %). Le premier axe est majoritairement décrit par les données climatiques, et comprend une forte corrélation positive avec la température moyenne annuelle (Rs = 0,93 ; p = < 0,001), la température minimale du mois le plus froid (Rs = 0,92 ; p = < 0,001), ainsi qu'une forte corrélation négative avec l'altitude (Rs = 0,91 ; p = < 0,001) et les précipitations annuelles (Rs = 0,90 ; p = < 0,001). Le deuxième axe est quant à lui principalement décrit par une corrélation positive, moins importante, avec la valeur d'Ellenberg pour la lumière (Rs = 0,71 ; p = < 0,001) et le pH (Rs = 0,63 ; p = < 0,001). Il est corrélé négativement avec la valeur d'Ellenberg pour l'azote (Rs = -0,53 ; p = < 0,001). Bien que non illustré, le troisième axe (14,4 %) est légèrement corrélé positivement avec la valeur d'Ellenberg pour la température (Rs = 0,60 ; p = < 0,001) et négativement avec la valeur d'Ellenberg pour la lumière (Rs = 0,46 ; p = < 0,001).

De manière globale, la position des sites sur le premier et le deuxième axe indique que les populations de *Vertigo geyeri* sont les plus abondantes (> 40 individus) dans des tourbières alcalines (pH > 7, valeur d'Ellenberg pour l'acidité et la conductivité). Les populations sont également abondantes (entre 20 et 39 individus) dans des tourbières plutôt humides, pauvre en éléments nutritifs et avec une végétation éparse (IVs pour l'humidité et la lumière, plus faible pour les nutriments). Le taux important de calcium dans la litière, représenté par la conductivité (Horsák 2006), est également corrélé positivement avec l'abondance de l'espèce.

Néanmoins, même si des tendances semblent se dessiner, ces résultats sont à interpréter avec prudence au vu des valeurs non significatives des corrélations de Spearman entre ces variables et l'abondance de population brute (Tableau 2). En effet,

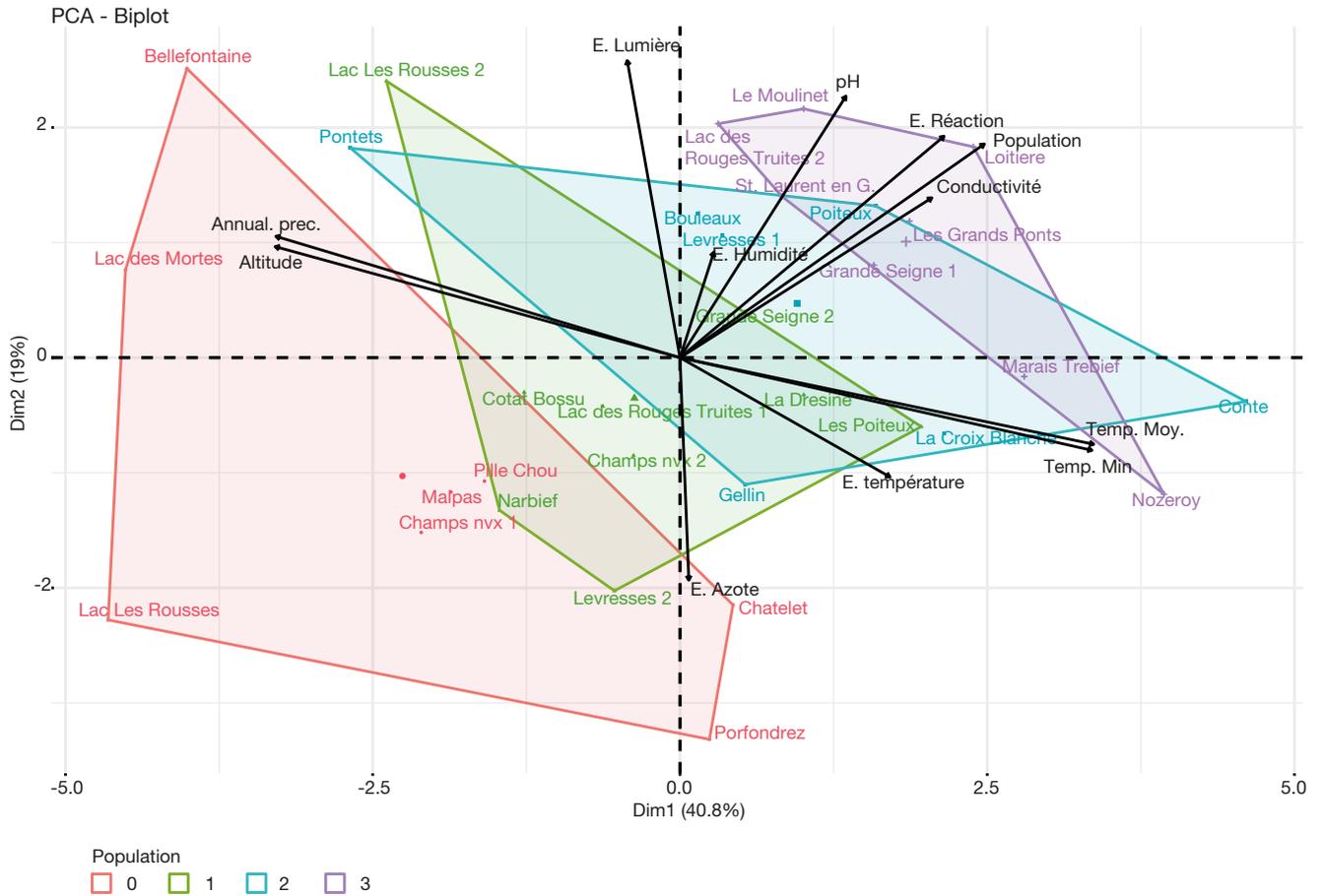


FIG. 1. — ACP des 32 sites basée sur les 12 variables environnementales. Les première et deuxième dimensions sont représentées. La couleur des sites correspond à l'abondance de population du *Vertigo geyeri* Lindholm, 1925. **Rouge**, < 5 individus (n = 8); **vert**, entre 5 et 20 individus (n = 9); **bleu**, entre 20 et 39 individus (n = 7); **violet**, > 40 individus (n = 8).

TABEAU 2. — Relations entre les variables environnementales et l'abondance de population du *Vertigo geyeri* Lindholm, 1925 selon les corrélations de Spearman (Rs). Les valeurs significatives (p value <0,05) sont **en gras**.

Variables environnementales	Rs	P value	Valeurs optimales estimées (Corrélation de Spearman)
pH	0,46	<b>0,007</b>	pH > 7
Conductivité	0,55	<b>0,001</b>	> 200 µS/cm
IVs pour la température	0,08	0,63	Pas de corrélation significative
IVs pour l'humidité	0,05	0,76	Pas de corrélation significative
IVs pour la lumière	0,26	0,13	Pas de corrélation significative
IVs pour l'acidité	0,62	<b>&lt;0,001</b>	Ellenberg > 5
IVs pour l'azote	-0,13	0,44	Pas de corrélation significative
Température moyenne annuelle	0,52	<b>&lt;0,001</b>	L'abondance augmente avec la température moyenne lorsqu'elle est comprise entre 6,2°C (min) et 8,3°C (max)
Température minimale mensuelle	0,53	<b>&lt;0,001</b>	
Précipitation annuelle	-0,48	<b>0,005</b>	[1200; 1275] mm/an
Altitude (m)	-0,43	<b>0,01</b>	[800; 920] m d'altitude

l'abondance de population de l'espèce est corrélée positivement significativement avec le pH, la conductivité, la valeur d'Ellenberg pour l'acidité, la température, les précipitations annuelles et l'altitude, mais aucune corrélation significative n'est annoncée pour les valeurs d'Ellenberg concernant la lumière, l'humidité ou le taux de nutriment. Pour conclure, il semblerait que les populations de *Vertigo geyeri* échantillonnées

dans le Massif jurassien favorisent les milieux alcalins (pH > 7, IVs pour l'acidité > 5), entre 800 et 920 m d'altitude, avec une conductivité supérieure à 200 µS/cm et des précipitations annuelles comprises entre 1200 et 1275 mm par an. On les retrouve majoritairement dans des bas marais et tourbières de transition de type alcalines ouvertes, humides et pauvres en nutriments (Annexe 2).

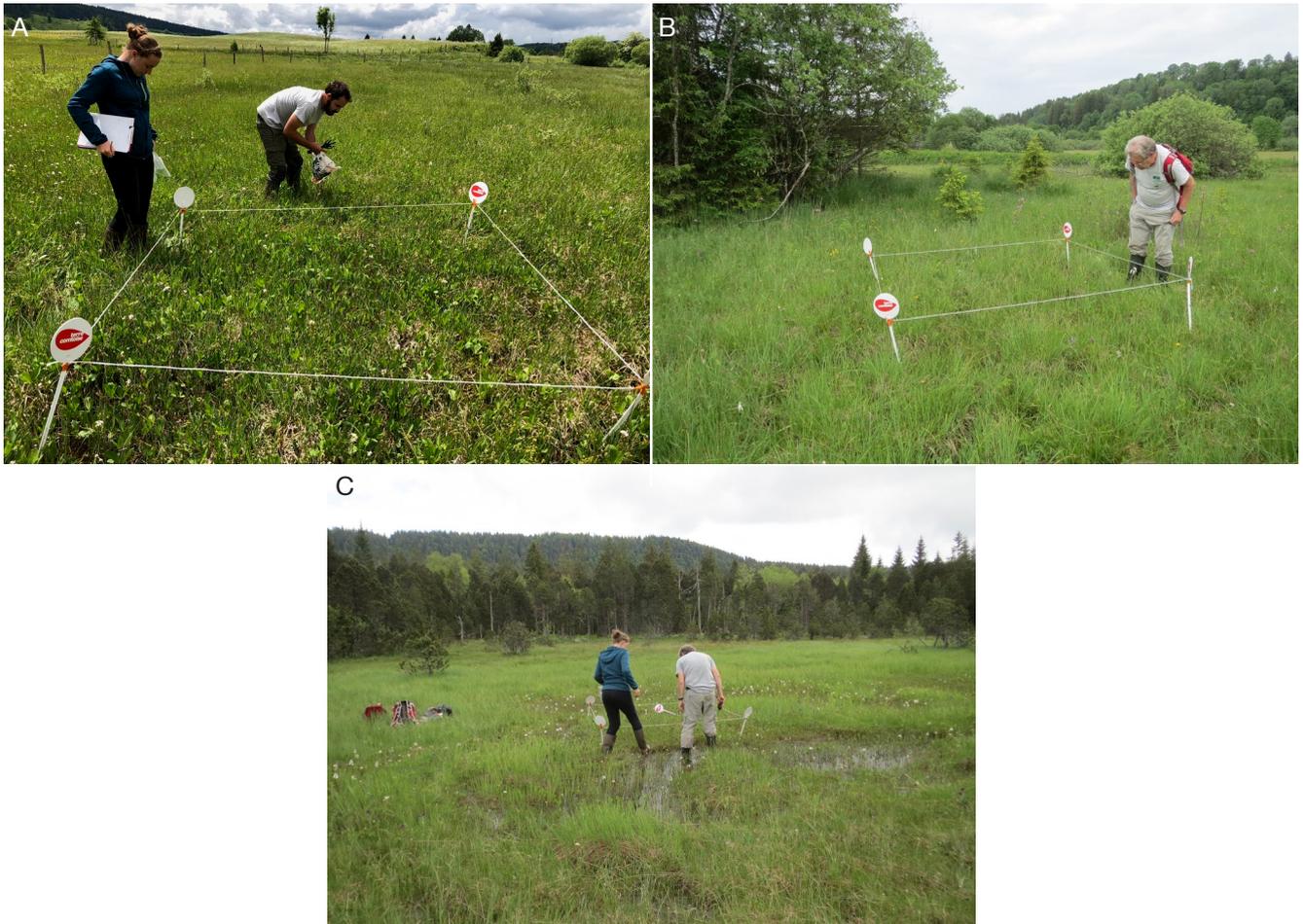


FIG. 2. — Exemples d’habitats échantillonnés en 2018. **A**, Grande Rivière (*Caricion lasiocarpe*); **B**, Nozeroy (*Caricion davalliana*); **C**, Bellefontaine (*Scorpidio-Caricetum limosae*). Crédits photos : G. Bailly (**A**), J. Ryelandt (**B, C**).

#### PHYTOSOCIOLOGIE ET HABITAT

Les relevés phytosociologiques ont permis de distinguer plusieurs types d’habitats accueillant *Vertigo geyeri*. Ainsi, il est présent dans des communautés de tourbières alcalines et de transition, et dans des communautés de gouilles et de bas-marais alcalins dans des habitats de type *Caricion davalliana*, *Scorpidio-caricetum limosae* et *Caricion lasiocarpe* (Fig. 2A). L’habitat représentant la plus forte variation d’abondance est le *Caricion davalliana*, et il accueille la plus grande population connue à ce jour du *V. geyeri* en France, avec 159 adultes récoltés à Nozeroy (Fig. 2B). La deuxième plus grande population, 116 adultes recensés à Saint-Laurent-en-Grandvaux, occupe un habitat de type *Scorpidio-Caricetum limosae* (Fig. 2C).

Après diagonalisation des relevés, l’habitat de *Vertigo geyeri* a pu être associé aux tourbières basses neutroclines minéro-trophes à trèfle d’eau et amblystegiacées (*Caricion lasiocarpe*). En termes de synusie herbacée, l’espèce structurante semble être *Menyanthes trifoliata* L., avec comme espèces constantes : *Carex panicea* L., *Molinia caerulea* subsp. *caerulea* Moench, *Eriophorum angustifolium* subsp. *angustifolium* Honck. et *Parnassia palustris* L. D’un point de vue bryologique, c’est *Scorpidium cossonii* Hedenäs qui structure l’association avec *Campylium stellatum* Lange & C. E. O. Jensen, comme espèce constante.

#### CORTÈGE MALACOLOGIQUE

Au total, 36 espèces de Mollusques ont été identifiées sur l’ensemble des 17 sites échantillonnés en 2018 (Annexe 3). Les effectifs varient entre 134 (Labergement-Sainte-Marie, site 2) et 2085 individus (Nozeroy), et la richesse entre 11 (Foncine-le-Haut) et 23 espèces (Gellin). Parmi ces espèces, 16 – dont *Vertigo geyeri* – sont présentes sur plus de 50 % des sites échantillonnés (Tableau 3), et constituent le cortège malacologique du *Vertigo* septentrional dans le Massif jurassien.

#### DISCUSSION

La différence étant difficilement perceptible entre les juvéniles, surtout entre *Vertigo pygmaea* (Draparnaud, 1801) et *Vertigo geyeri*, leur identification n’a pas été effectuée pour cette étude. Néanmoins, leur identification pourrait permettre de réévaluer l’abondance des populations et ainsi proposer des résultats plus précis, d’autant que 1085 juvéniles ont été récoltés. Les coquilles de Gastéropodes sont conservées dans la collection du CBNFC-ORI (et les Bivalves au Centre de Conservation et d’Étude des Collections du Musée de

TABLEAU 3. — Cortège malacologique associé au *Vertigo geyeri* (Lindholm, 1925) dans le Massif jurassien sur les 17 échantillons de 2018. Seules les espèces présentes sur plus de 50 % des sites sont listées (extrait de l'Annexe 3). \*, les juvéniles de *Vertigo* sp. n'ont pas été pris en compte pour ce calcul. Le total de juvéniles de *Vertigo* sp. échantillonnés est de 1085 sur 15 sites (88,24 % d'occurrence), représentant 11,44 % des coquilles totales.

Nom	Nombre total de coquilles	% du nombre total de coquilles*	Nombre de sites	Occurrence sur les sites (%)
<i>Carychium</i> sp. (Müller, 1774)	1604	16,91	17	100
<i>Euconulus alderi</i> (J.E. Gray, 1840)	314	3,31	16	94,12
<i>Nesovitrea hammonis</i> (Ström, 1765)	430	4,53	16	94,12
<i>Euglesa casertana</i> (Poli, 1791)	796	8,39	15	88,24
<i>Vertigo geyeri</i> (Lindholm, 1925)	654	6,89	15	88,24
<i>Cochlicopa lubrica</i> (Müller, 1774)	608	6,41	14	82,35
<i>Galba truncatula</i> (Müller, 1774)	268	2,83	14	82,35
<i>Oxyloma elegans</i> (Risso, 1826)	434	4,58	14	82,35
<i>Euglesa personata</i> (Malm, 1855)	1710	18,03	11	64,71
<i>Vallonia pulchella</i> (Müller, 1774)	702	7,4	11	64,71
<i>Vertigo antivertigo</i> (Draparnaud, 1801)	124	1,31	11	64,71
<i>Vertigo substriata</i> (Jeffreys, 1833)	231	2,44	11	64,71
<i>Punctum pygmaeum</i> (Draparnaud, 1801)	100	1,05	10	58,82
<i>Anisus leucostoma</i> (Millet, 1813)	207	2,18	9	52,94
<i>Euglesa obtusalis</i> (Lamarck, 1818)	257	2,71	9	52,94
<i>Vertigo pygmaea</i> (Draparnaud, 1801)	332	3,5	9	52,94

Lyon), et pourront faire l'objet d'une étude complémentaire. Enfin, les coquilles vides et les individus vivants n'ont pas été dissociés dans l'analyse.

#### DISTRIBUTION ET HABITAT

Suite à cette étude, la connaissance de la distribution de *Vertigo geyeri* dans le Massif jurassien a pu être largement améliorée, même si des prospections complémentaires sont nécessaires pour affiner ces résultats. En effet, de nombreux sites encore non prospectés proposent des caractéristiques écologiques favorables à l'espèce. Aussi, même si les habitats de type *Scorpidio-caricetum limosae*, *Caricion davallianae*, *Caricion lasiocarpe* sont décrits ici comme étant les plus appropriés, il est indispensable de prospecter des habitats proches, ce qui permettrait de connaître le spectre des habitats favorables et ceux qui sont limitants pour l'espèce.

Ces résultats sont en adéquation avec la littérature, où *Vertigo geyeri* a été recensé dans des tourbières de transition, des marais calcaires avec des espèces du *Caricion davallianae* et des tourbières basses alcalines (Cameron 2003). L'alliance du *Caricion lasiocarpe* a été également retrouvée dans les Alpes (Roy & Vanderpert 2016). Les espèces peuvent légèrement différer selon les pays, mais on retrouve *Scorpidium cosonii* Hedenäs et *Campylium stellatum* pour les Bryophytes (Horsák & Hájek 2005) ainsi que *Menyanthes trifoliata* et *Molinia caeruleae* (L.) Moench, 1794 pour les trachéophytes (Lecaplain 2013). Plus généralement, on retrouve *Carex davallianna* Sm. et *Carex lepidocarpa* Tausch (Horsák & Hájek 2005) dans la plupart de nos relevés, ainsi que *Pinguicula vulgaris* L. et *Primula farinosa* L. (Horsák & Hájek 2005) de manière plus occasionnelle.

Bien que ces résultats étaient attendus au vu du choix des sites et des habitats lors des prospections, ils ont permis de commencer le travail de caractérisation de l'habitat favorable à ce mollusque. Un travail conséquent reste néanmoins à faire pour connaître les exigences écologiques précises du *Vertigo* septentrional, notamment en échantillonnant les habitats

favorables proches de ceux décrits, mais également des sites *a priori* moins favorables, qui pourraient potentiellement représenter la limite d'occupation de l'espèce.

#### VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

Des études antérieures ont montré que *Vertigo geyeri* pouvait être présent sur un large gradient minéral (Horsák & Hájek 2005; Vavrová *et al.* 2009). D'après Schenková *et al.* (2012), l'escargot a une réponse uni-modale à la concentration de calcium dans le milieu en Pologne et en Slovaquie. Ainsi, son optimum est représenté par des milieux riches, avec un IVs pour l'acidité autour de six et une conductivité avoisinant les 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Néanmoins, Horsák & Hájek (2005) proposent un optimum bien inférieur, estimé à 360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En France, aucun site échantillonné ne présente de conductivité supérieure à 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ce qui ne permet pas une représentation de toutes les possibilités. Aussi, bien qu'il soit possible d'estimer la conductivité optimale comme supérieure à 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et un pH supérieur à 7, il est essentiel d'effectuer des prospections dans des milieux ayant des valeurs bien supérieures, mais aussi dans des milieux où l'espèce n'est pas connue afin d'affiner ces résultats.

Une corrélation positive significative pouvait être attendue entre l'abondance des populations et l'humidité, étant donné que la stabilité du régime hydrique représente le facteur le plus important pour la survie du *V. geyeri* à long terme (Schenková *et al.* 2012). L'absence de différence significative entre les sites ne fait pas ressortir cette variable comme déterminant la présence de l'espèce, bien que les populations françaises semblent éviter les sites trop inondés (aucune valeur d'Ellenberg pour l'humidité supérieure à 8,38) et les sites trop secs (pas d'IVs pour l'humidité < 6). Néanmoins, les valeurs optimales concernant l'humidité en Pologne et Slovaquie étant autour de 8,5, il serait là encore indispensable d'élargir le spectre de prospection.

Le *Vertigo* septentrional favorise les sites avec une valeur d'Ellenberg élevée pour la lumière, et faible pour le taux de nutriments, et donc des sites avec une végétation éparse et

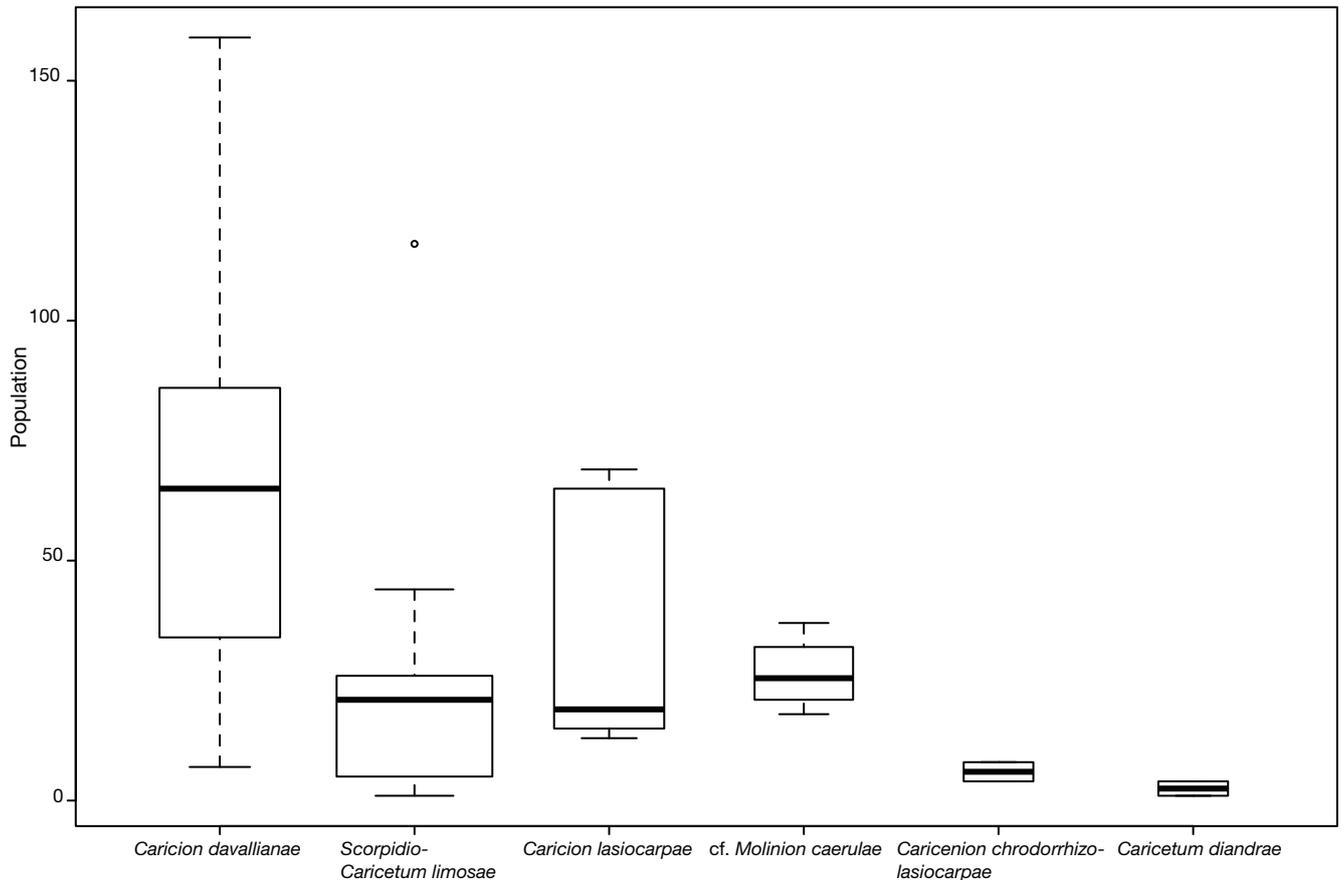


Fig. 3. — Répartition des 29 sites avec présence de *Vertigo geyeri* Lindholm, 1925. *Caricion davallianae*, n = 6; *Scorpidio-Caricetum limosae*, n = 10; *Caricion lasiocarpae*, n = 5; *cf. Molinion caeruleae*, n = 4; *Caricenion chrodorrhizo-lasiocarpae*, n = 2 et *Caricetum diandrae*, n = 2.

de valeur nutritive pauvre. Ces résultats sont en adéquation avec ceux de Schenková *et al.* (2012).

D'une manière générale, il est essentiel de compléter cette étude avec des relevés faisant varier les différents paramètres environnementaux, mais aussi de réaliser davantage d'échantillonnages dans des secteurs ou l'espèce n'est pas connue, et présentant une plus large gamme d'habitats – mais restant potentiellement favorables. Ces recherches permettraient d'affiner les résultats concernant l'affinité de l'espèce aux différents paramètres environnementaux, notamment dans les zones de chevauchement observées entre les différentes abondances de populations (Fig. 3).

#### CORTÈGE MALACOLOGIQUE ASSOCIÉ

Le cortège malacologique estimé comprend plusieurs espèces de *Vertigo*, notamment *Vertigo substriata* Jeffreys, 1833 et *Vertigo antivertigo* Draparnaud, 1801 (présents sur 65 % des sites échantillonnés, avec en moyenne respectivement 21 et 11 individus par station d'échantillonnage), ainsi que *Vertigo pygmaea* Draparnaud, 1801 (présent sur 53 % des sites avec une moyenne de 36 individus). Des cohabitations entre *Vertigo geyeri* et *Vertigo angustior* ou *Vertigo genesii* ont également été observées sur certains sites échantillonnés. La co-occurrence de plusieurs espèces de *Vertigo* avait déjà été reportée en Slovaquie et en Pologne (Horsák & Hájek 2005; Jankowiak &

Bernard 2013; Książkiewicz *et al.* 2015) et ne dépendrait pas de la surface totale de l'habitat mais plutôt de la diversité des micro-habitats (Jankowiak & Bernard 2013).

Les Gastéropodes associés au *Vertigo* septentrional dans le Massif jurassien peuvent avoir une large amplitude écologique (*Punctum pygmaeum* Draparnaud, 1801, *Vertigo pygmaea*), même si certains ont une préférence pour les habitats relativement humides (*Cochlicopa lubrica* O. F. Müller, 1774, *Euconulus alderi* (J.E. Gray, 1840), *Carychium minimum* O. F. Müller, 1774). Certains sont plus spécifiques des zones humides (*Nesovitreia hammonis* Strøm, 1765, *Anisus leucostoma* Millet, 1813, *Oxyloma elegans* Risso, 1826, *Galba truncatula* O. F. Müller, 1774, *Vallonia pulchella* O. F. Müller, 1774, *Euglesa personata* Malm, 1855, *Euglesa casertana* Poli, 1791), et ne tolèrent pas de période à sec (*Vertigo antivertigo*) ou peuvent favoriser un habitat plus ouvert (*Vertigo substriata*) (Welter-Schultes 2012). Les caractéristiques environnementales de ces espèces regroupent celles du *Vertigo geyeri*, à savoir un habitat relativement ouvert et humide en permanence (Horsák *et al.* 2007). La liste des mollusques composant le cortège malacologique associé à *V. geyeri* reste sensiblement la même au travers des différents pays (Lindley 1995; Horsák & Hájek 2005; Lecaplain 2013; Roy & Vanderpert 2016; Pokryszko *et al.* 2016; Horsáková *et al.* 2018).

## CONCLUSION

Cette étude a permis d'améliorer les connaissances sur le *Vertigo geyeri* en France, en caractérisant son habitat et ses exigences écologiques, mais aussi en réévaluant sa distribution dans le Jura franc-comtois, selon la base de données entomologiques du CBNFC-ORI, TAXA. Ainsi, cet escargot inscrit à l'annexe II de la directive Habitat-Faune-Flore est maintenant recensé sur 62 stations en Franche-Comté. Il est associé aux tourbières neutroclines minétophes à trèfle d'eau et amblystégiacées (Caricion lasiocarpe). Son habitat optimal est gorgé d'eau avec un niveau d'eau constant, une végétation éparse et un sol limité en nutriments.

Toujours dans une dynamique d'amélioration des connaissances de l'espèce, des prospections complémentaires sont possibles en Franche-Comté, qui dispose encore d'un grand nombre de secteurs potentiellement favorables non inventoriés. L'échantillonnage d'un nombre plus important de sites permettra d'augmenter la puissance statistique des résultats, mais aussi l'amplitude des variables analysées (altitude, humidité, pH, etc.), afin de définir plus précisément la limite de répartition de l'espèce.

## Remerciements

Nos remerciements vont à Gilles Bailly et Rémi Collaud pour leur aide et leur participation à cette étude pour les aspects bryologiques et phytosociologiques. Enfin, nous remercions Jacques Mouthon pour l'identification des bivalves, Camille Barbaz du Syndicat mixte Haut-Doubs Haute-Loue (SMHDHL) et Thierry Morer. Merci à la DREAL et à la région Bourgogne-Franche-Comté pour le soutien financier qu'elles ont apporté à la réalisation de ce projet. Merci également aux rapporteurs, Lilian Léonard et Benoît Lecaplain.

## RÉFÉRENCES

- AUDIBERT C. & BERTRAND A. 2015. — *Guide des mollusques terrestres : escargots et limaces*. Belin, Paris, 231 p.
- BÉGUINOT J. 2012. — Escargots en Bourgogne : l'urgence d'inventorier une faune riche mais restant trop méconnue. *Revue scientifique Bourgogne Nature* 16: 177-184.
- CAMERON R. A. D. 2003. — Life-cycles, molluscan and botanical associations of *Vertigo angustior* and *Vertigo geyeri* (Gastropoda, Pulmonata: Vertiginidae). *Heldia* 5: 95-110.
- CHYTRÝ M., TICHÝ L., DŘEVOJAN P., SÁDLO J. & ZELENÝ D. 2018. — Ellenbergtype indicator values for the Czech flora. *Preslia* 90: 83-103. <https://doi.org/10.23855/preslia.2018.083>
- CUTTELOD A., SEDDON M. & NEUBERT E. 2011. — *European Red List of non-Marine Molluscs*. Publications office of the European Union, Luxembourg, 98 p. <https://doi.org/10.2779/84538>.
- ELLENBERG H. 1979. — Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas [Indicator values of Central European vascular plants]. *Scripta Geobotanica* 9: 1-121.
- ELLENBERG H. 1992. — Zeigerwerte von pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18: 1-258.
- GARGOMINY O., PRIÉ V., BICHAIN J. M., CUCHERAT X., & FONTAINE B. 2011. — Liste de référence annotée des mollusques continentaux de France. *MalaCo* 7: 307-382.
- GEHU J.-M. 1979. — Pour une approche nouvelle des paysages végétaux : la symphytosociologie. *Bulletin de la Société botanique de France. Lettres botaniques* 126 (2): 213-223. <https://doi.org/10.1080/01811797.1979.10824391>
- GERLACH J., PRYKE J., SAMWAYS M. 2013. — Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. *Journal of Insect Conservation* 17: 831-850. <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9565-9>
- HORNUNG E., MAJOROS G., FEHÉR Z. & VARGA A. 2003. — An overview of the *Vertigo* species in Hungary: their distribution and habitat preferences. *Heldia* 5: 51-57.
- HORSÁK M. 2003. — How to sample mollusc communities in mires easily. *Malacologica Bohemoslovaca* 2: 11-14.
- HORSÁK M. 2006. — Mollusc community patterns and species response curves along a mineral richness gradient: a case study in fens. *Journal of Biogeography* 33: 98-107. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01359.x>
- HORSÁK M. & HÁJEK M. 2005. — Habitat requirements and distribution of *Vertigo geyeri* (Gastropoda: Pulmonata) in Western Carpathian rich fens. *Journal of Conchology* 38: 683.
- HORSÁK M., HÁJEK M., TICHÝ L. & JUŘIČKOVÁ L. 2007. — Plant indicator values as a tool for land mollusc autecology assessment. *Acta Oecologica* 32: 161-171. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2007.03.011>
- HORSÁKOVÁ V., HÁJEK M., HÁJKOVÁ P., DÍTĚ D. & HORSÁK M. 2018. — Principal factors controlling the species richness of European fens differ between habitat specialists and matrix-derived species. *Diversity and Distributions* 24 (6): 742-754. <https://doi.org/10.1111/ddi.12718>
- JANKOWIAK A. & BERNARD R. 2013. — Coexistence or spatial segregation of some *Vertigo* species (Gastropoda: Vertiginidae) in a Carex rich fen in Central Poland. *Journal of Conchology* 41: 399-406.
- JULVE P. 1998. — *Basebryo. Index botanique, écologique et chorologique de la flore bryophytique de France*. Version: 10.02. 2010.
- KERNEY M. P. & CAMERON R. A. D. 1999. — *Escargots et limaces d'Europe du Nord-Ouest*. [Bertrand A. trad. adapt.] Delachaux et Niestlé, Paris et Neuchâtel, 370 p.
- KILLEEN I. J. 2003. — *Ecology of Desmoulin's Whorl Snail. Conserving Natura 2000 Rivers Ecology Series No. 6*. English Nature, Peterborough, 23 p.
- KŚIAŹKIEWICZ Z., KIASZEWICZ K. & GOLDYN B. 2015. — Microhabitat requirements of five rare vertiginid species (Gastropoda, Pulmonata, Vertiginidae) in wetlands of western Poland. *Malacologia* 56: 95-106. <https://doi.org/10.4002/040.056.0207>
- LECAPLAIN B. 2013. — Un nouveau mollusque de la Directive Habitats-Faune-Flore pour la France: découverte du *Vertigo septentrionalis geyeri* Lindholm, 1925 (Gastropoda, Vertiginidae) en Franche-Comté et en Haute-Savoie. *MalaCo* 9: 453-456.
- LINDLEY D. J. 1995. — *Vertigo geyeri* Lindholm, 1925: a snail new to Yorkshire. *Naturalist* 120: 35-39.
- LYDEARD C., COWIE R. H., PONDER W. F., BOGAN A. E., BOUCHET P., CLARK S. A. & HERSHLER R. 2004. — The global decline of nonmarine mollusks. *BioScience* 54: 321-330. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0321:TGDONM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0321:TGDONM]2.0.CO;2)
- POKRYSZKO B. M. 2003. — *Vertigo* of continental Europe—autecology, threats and conservation status (Gastropoda, Pulmonata: Vertiginidae). *Heldia* 5: 13-25.
- POKRYSZKO B. M., RUTA R. & KŚIAŹKIEWICZ-PARULSKA Z. 2016. — The first record of *Vertigo geyeri* Lindholm, 1925 (Gastropoda: Pulmonata: Vertiginidae) in North-Western Poland. *Folia Malacologica* 24: 63-68. <https://doi.org/10.12657/folmal.024.009>
- RÉGNIER C., ACHAZ G., LAMBERT A., COWIE R. H., BOUCHET P. & FONTAINE B. 2015. — Mass extinction in poorly known taxa. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112: 7761-7766. <https://doi.org/10.1073/pnas.1502350112>
- RÉGNIER C., FONTAINE B. & BOUCHET P. 2009. — Not knowing, not recording, not listing: numerous unnoticed mollusk extinctions. *Conservation Biology* 23: 1214-1221. <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9565-9>

- [org/10.1111/j.1523-1739.2009.01245.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01245.x)  
ROY C. & VANDERPERS H. 2016. — Découverte de *Vertigo geyeri* Lindholm, 1925 en Provence-Alpes-Côte d'Azur. *Folia conchyliologica* 35.
- RYELANDT J., FARA E., BÉGUINOT J. & DOMMERS J. L. 2016. — Les mollusques de Bourgogne-Franche-Comté: vers un nouvel inventaire. *13<sup>èmes</sup> Rencontres Bourgogne-Nature* 25: 233-239.
- SCHENKOVÁ V., HORSÁK M., PLESKOVÁ Z. & PAWLIKOWSKI P. 2012. — Habitat preferences and conservation of *Vertigo geyeri* (Gastropoda: Pulmonata) in Slovakia and Poland. *Journal of Molluscan Studies* 78: 105-111. <https://doi.org/10.1093/mollus/eyr046>
- ŠEFFEROVÁ STANOVÁ V., ŠEFFER J. & JANÁK M. 2008. — *Management of Natura 2000 Habitats. Alkaline fens*. European Communities, Bratislava, 20 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31556.45449>
- TICHÝ L. 2002. — Juice, software for vegetation classification. *Journal of vegetation science* 13: 451-453. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02069.x>
- VAVROVÁ M. H., ŠTEFFEK J. & ČJKA T. 2009. — Ecology, distribution and conservation of *Vertigo* species of European importance in Slovakia. *Journal of Conchology* 40 (1): 61-69.
- WELTER-SCHULTES F. W. 2012. — *European Non-Marine Molluscs, a Guide for Species Identification: Bestimmungsbuch für europäische Land- und Süßwassermollusken*. Planet Poster Editions, Göttingen, 757 p.
- WIKTOR A. & RIEDEL A. 2002. — Gastropoda terrestria Ślimaki lądowe, in GŁOWACIŃSKI Z. (éd.), *Czerwona lista zwierząt ginących i zagrożonych w Polsce*. IOP PAN, Kraków: 27-37.
- WILLING M. J. 2013. — *Geyer's Whorl Snail (Vertigo geyeri) Surveillance on Islay 2012*. Scottish Natural Heritage Commissioned Report 617, Inverness, 41 p.

Soumis le 15 avril 2019;  
accepté le 4 avril 2020;  
publié le 18 janvier 2021.

## ANNEXES

ANNEXE 1. — Liste des 32 sites échantillonnés en 2016 et 2018 utilisés pour l'analyse de l'habitat du *Vertigo geyeri* Lindholm, 1925 dans le Massif jurassien.

Commune	Lieu-dit	Date d'échantillonnage	<i>Vertigo geyeri</i> Lindholm, 1925
Granges-Narboz	La Drésine	13 juin 2018	Présent
Granges-Narboz	Les Poiteux	13 juin 2018	Présent
Rivière-Drugeon	Les Grands Ponts	13 juin 2018	Présent
Bouverans	La Croix Blanche	14 juin 2018	Présent
Labergement-Sainte-Marie	Champs nouveaux 1	14 juin 2018	Présent
Labergement-Sainte-Marie	Champs nouveaux 2	14 juin 2018	Absent
Rix	Marais du Trébief	05 juin 2018	Présent
Nozeroy	Les Châteaux	20 juin 2018	Présent
Conte	Combes Chenaud	20 juin 2018	Présent
Foncine-le-Haut	Le Pille Chou	25 juin 2018	Absent
Fort-du-Plasne	Le Chatelet	05 juin 2018	Présent
Fort-du-Plasne	les Bouleaux	05 juin 2018	Présent
St.-Laurent-en-Grandvaux	Tourbière	28 juin 2018	Présent
Grande-Rivière	Le Moulinet	25 juin 2018	Présent
Chapelle-des-Bois	Lac des Mortes	25 juin 2018	Présent
Bellefontaine	Prés des Grues	25 juin 2018	Présent
Gellin	Les Grands Pins	20 juin 2018	Présent
Narbief	–	04 août 2016	Présent
Malpas	–	04 août 2016	Absent
Granges-Narboz	Les Poiteux	04 août 2016	Présent
Frasne	Les Levresses	05 août 2016	Présent
Frasne	Les Levresses 2	05 août 2016	Présent
Bannans	Porfondrez	05 août 2016	Présent
Sainte Colombe	La Loitière	05 août 2016	Présent
Houtaud	Grande Seigne	05 août 2016	Présent
Houtaud	Grande Seigne 2	05 août 2016	Présent
Pontet	Lac du Trouillot	06 août 2016	Présent
Lac-des-Rouges-Truites	–	06 août 2016	Présent
Lac-des-Rouges-Truites 2	–	06 août 2016	Présent
Prénoval	Le Cotat Bossu	06 août 2016	Présent
Lac-des-Rousses	–	06 août 2016	Présent
Lac-des-Rousses 2	–	06 août 2016	Présent

ANNEXE 2. — Résultats des mesures des variables environnementales, de la caractérisation de l'habitat ainsi que du nombre d'individus de *Vertigo geyeri* Lindholm, 1925 récoltés dans le Massif jurassien sur 32 sites en 2016 et 2018. Abréviations: **Ind.**, individus; **Temp.**, température selon l'indice d'Ellenberg; **Temp. min.**, température minimale; **Temp. moy.**, température moyenne.

	Lumière	Temp.	Humidité	Réaction	Azote	pH	Conductivité (µS/cm)	Altitude (m)	Précipi- tations (mm)	Temp. min. (°C)	Temp. moy. (°C)	Habitat	Ind.	Catégories
Malpas	7,86	3,99	7,06	6,15	3,02	6,3	136	920	1291	-4,8	6,9	<i>Caricion lasiocarpae</i>	0	0
Champs nouveaux 1	7,79	3,45	7,08	3,7	2,91	7,14	166,6	879	1276	-4,7	7	<i>Caricion davalliana</i>	0	0
Bellefontaine	8,01	3,41	7,52	6,15	2,48	7,67	371	1090	1395	-5,4	6,2	<i>Scorpidio-Caricetum limosae</i>	3	0
Lac des Mortes	8,12	4,1	7,64	5,38	3,06	7,13	76,6	1093	1386	-5,4	6,2	<i>Scorpidio-Caricetum limosae</i>	1	0
Le Pille Chou	7,22	4	7,45	5,05	2,94	7,33	503	969	1315	-4,8	6,9	<i>Caricetum diandrae forme dégradée ?</i>	0	0
Lac des Rousses	7,54	4	7,31	4,1	2,73	5,54	55	1061	1348	-5,3	6,5	<i>Caricetum diandrae</i>	1	0
Porfondrez	7,3	4,28	7,02	5,52	3,74	7,14	113	817	1238	-4,3	7,5	<i>Caricetum diandrae forme dégradée ?</i>	4	0
Le Chatelet	7,74	3,91	6,71	4,94	2,75	7,06	128,5	822	1215	-3,9	7,7	<i>Caricenion chrodorrhizo- lasiocarpae</i>	4	0
Narbief	7,53	3,79	7,71	4,87	3,18	6,96	201	894	1258	-4,8	6,7	<i>Caricion lasiocarpae</i>	19	1
Champs nouveaux 2	7,65	3,84	7,58	5,52	3,07	7,06	283	879	1261	-4,5	7,2	<i>Caricion lasiocarpae</i>	13	1
Levresses 2	7,73	4,01	7,43	5,4	2,58	5,8	43	839	1250	-4,3	7,4	<i>Caricion lasiocarpae</i>	15	1
Lac-des- Rouges- Truites 1	7,55	4,14	7,79	6,19	2,93	7,29	160	924	1282	-4,6	7,1	<i>Caricion davalliana</i>	7	1
Cotat Bossu	7,94	3,43	7,68	5,2	2,29	6,43	96,4	885	1266	-4,5	7,2	<i>Scorpidio-Caricetum limosae</i>	19	1
Grande Seigne 2	7,89	3,79	7,84	5,29	2,07	7,47	150	814	1232	-4,3	7,5	<i>Scorpidio-Caricetum limosae</i>	5	1
Lac des Rousses 2	7,99	3,96	7,49	6,76	2,67	7,74	398	1061	1348	-5,3	6,5	<i>Scorpidio-Caricetum limosae</i>	18	1
La Drésine	7,63	4,13	7,19	6,1	2,68	7,22	543	818	1241	-4,4	7,4	<i>Caricenion chrodorrhizo- lasiocarpae</i>	8	1
Les Poiteux	7,57	5,29	8,11	6,59	3,08	7,49	484	818	1238	-4,2	7,4	cf. <i>Molinion caeruleae</i>	18	1
Les Poiteux 2	7,75	4,05	7,62	7,28	2,27	7,26	532	825	1243	-4,4	7,4	<i>Caricion davalliana</i>	34	2
Les Pontets	8,06	3,46	7,09	5,15	2,44	7,47	287	1007	1350	-5,1	6,6	<i>Scorpidio-Caricetum limosae</i>	26	2
Les Bouleaux	8,12	3,87	7,44	6,02	2,55	7,48	276	889	1270	-4,4	7,3	<i>Scorpidio-Caricetum limosae</i>	24	2
Les Levresses 1	8,28	3,97	7,88	5,2	2,48	7,5	194	839	1250	-4,3	7,4	<i>Scorpidio-Caricetum limosae</i>	23	2
Conte	7,68	5	8,38	6,69	2,78	7,52	535	698	1178	-3,5	8,3	cf. <i>Molinion caeruleae</i>	27	2
Gellin	7,42	5,21	6,93	5,75	3,68	7,52	610	917	1280	-4,7	7	cf. <i>Molinion caeruleae</i>	24	2
La Croix Blanche	7,59	5,21	7,34	6,47	3,02	7,18	569	826	1241	-4,2	7,5	cf. <i>Molinion caeruleae</i>	37	2
Marais Trébief	8,06	4	6,43	6,08	3,15	7,5	408	745	1206	-3,8	7,9	<i>Caricion lasiocarpae</i>	65	3
Le Moulinet	8,06	3,24	6,79	6,73	2,8	7,74	611	892	1257	-4,4	7,3	<i>Caricion lasiocarpae</i>	69	3
Lac-des- Rouges- Truites 2	7,98	3,85	7,59	6,45	2,45	7,8	266	924	1276	-4,5	7,2	<i>Caricion davalliana</i>	64	3
Nozeroy	7,56	4,07	6,89	6,6	3,04	7,23	401	736	1164	-3,4	8,1	<i>Caricion davalliana</i>	159	3
Les Grands Ponts	7,92	4,23	7,72	6,53	2,29	7,09	457	813	1237	-4,2	7,5	<i>Caricion davalliana</i>	86	3
La Loitière	7,83	4,38	7,76	6,89	2,25	7,8	520	818	1235	-4,2	7,5	<i>Caricion davalliana</i>	66	3
St.-Laurent- en-G.	8,17	3,71	7,4	6,5	3,33	7,55	407	883	1260	-4,4	7,3	<i>Scorpidio-Caricetum limosae</i>	116	3
Grande Seigne 1	7,72	3,96	8	6,21	2,46	7,37	335	814	1232	-4,3	7,5	<i>Scorpidio-Caricetum limosae</i>	44	3

ANNEXE 3. — Liste des 36 espèces de mollusques échantillonnées sur les 17 sites en 2018, classées selon leur présence sur les sites. \*, les juvéniles de *Vertigo* sp. O. F. Müller, 1774 n'ont pas été pris en compte pour ce calcul. Le total de juvéniles de *Vertigo* sp. échantillonnés est de 1085 sur 15 sites (88,24 % d'occurrence), représentant 11,44 % du nombre total de coquilles.

Nom	Nombre total de coquilles	% du nombre total de coquilles*	Nombre de sites	Occurrence sur les sites (%)
<i>Carychium</i> sp. (Müller, 1774)	1604	16,96	17	100
<i>Euconulus praticola</i> (Reinhardt, 1883)	314	3,32	16	94,12
<i>Nesovitrea hammonis</i> (Ström, 1765)	430	4,55	16	94,12
<i>Euglesa casertana</i> (Poli, 1791)	796	8,42	15	88,24
<i>Vertigo geyeri</i> (Lindholm, 1925)	654	6,91	15	88,24
<i>Cochlicopa lubrica</i> (Müller, 1774)	608	6,43	14	82,35
<i>Galba truncatula</i> (Müller, 1774)	268	2,83	14	82,35
<i>Oxyloma elegans</i> (Risso, 1826)	434	4,59	14	82,35
<i>Euglesa personata</i> (Malm, 1855)	1710	18,08	11	64,71
<i>Vallonia pulchella</i> (Müller, 1774)	702	7,42	11	64,71
<i>Vertigo antivertigo</i> (Draparnaud, 1801)	124	1,31	11	64,71
<i>Vertigo substriata</i> (Jeffreys, 1833)	231	2,44	11	64,71
<i>Punctum pygmaeum</i> (Draparnaud, 1801)	100	1,06	10	58,82
<i>Anisus leucostoma</i> (Millet, 1813)	207	2,19	9	52,94
<i>Euglesa obtusalis</i> (Lamarck, 1818)	257	2,72	9	52,94
<i>Vertigo pygmaea</i> (Draparnaud, 1801)	332	3,51	9	52,94
<i>Zonitoides nitidus</i> (Müller, 1774)	20	0,21	6	35,29
<i>Euglesa milium</i> (Held, 1836)	58	0,61	4	23,53
<i>Vitrea crystallina</i> (Müller, 1774)	131	1,39	4	23,53
<i>Bathyomphalus contorus</i> (Linnaeus, 1758)	7	0,07	3	17,65
<i>Euglesa subtruncata</i> (Malm, 1855)	9	0,1	3	17,65
<i>Arianta arbustorum</i> (Linnaeus, 1758)	5	0,05	2	11,76
<i>Columella edentula</i> (Draparnaud, 1805)	37	0,39	2	11,76
<i>Succinea putris</i> (Linnaeus, 1758)	14	0,15	2	11,76
<i>Succinella oblonga</i> (Draparnaud, 1801)	10	0,11	2	11,76
<i>Vertigo genesii</i> (Gredler, 1856)	77	0,81	2	11,76
<i>Bithynia tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)	1	0,01	1	5,88
<i>Columella</i> cf. <i>columella</i> (G. von Martens, 1830)	1	0,01	1	5,88
<i>Eucobresia diaphana</i> (Draparnaud, 1805)	2	0,02	1	5,88
<i>Euglesa globularis</i> (Clessin, 1873)	12	0,13	1	5,88
<i>Pupilla alpicola</i> (Charpentier, 1837)	35	0,37	1	5,88
<i>Quickella arenaria</i> (Potiez & Michaud, 1838)	10	0,11	1	5,88
<i>Radix labiata</i> (Rossmässler, 1835)	1	0,01	1	5,88
<i>Vallonia costata</i> (Müller, 1774)	1	0,01	1	5,88
<i>Vallonia enniensis</i> (Gredler, 1856)	244	2,58	1	5,88
<i>Vertigo angustior</i> (Jeffreys, 1830)	12	0,13	1	5,88