



UFR SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR

Licence Sciences de la Vie et de la Terre

3^e année

Parcours Biologie Générale

Année universitaire 2023-2024

ETUDE DE LA FAUNE CAVERNICOLE DE L'ENTRE-DEUX-MERS

Erim KOC

Mémoire présenté le 07/06/2024

Structure d'accueil : Club de Recherches et d'Explorations Souterraines

132 avenue Aristide Briand, 33700 MERIGNAC

Directeur de stage : Gabriel Balloux

Remerciements :

J'aimerais avant tout remercier mon maître de stage Gabriel BALLOUX, qui m'a accompagné durant ces deux mois enrichissants en matière de connaissances et compétences en lecture de paysage, karstologie, botanique et ornithologie. J'ai pu découvrir un tout autre univers que celui auquel je suis habitué en Bretagne ; un univers hypogé complexe, fragile et inconnu pour beaucoup.

Je remercie aussi le président actuel du Club de Recherches et d'Explorations Souterraines, Gérard BOUSQUET pour l'accueil au sein de l'association.

Mes remerciements vont également à mon binôme sur cette étude, Charline CHARBONNIER, avec qui j'ai effectué tous les prélèvements et l'identification de la faune des grottes échantillonnées. Je la remercie pour sa patience, sa motivation et son ingéniosité pour nous sortir de diverses situations complexes, en souterrain comme en surface.

Je tiens aussi à remercier l'association de La Huppe Verte pour la formation sur les chiroptères, et la Société Linnéenne de Bordeaux pour les journées naturalistes passées aux côtés de professionnels et amateurs de mycologie, entomologie, et botanique.

Je remercie Francis CARLES, pour nous avoir accompagné dans plusieurs grottes et pour nous avoir partagé son expérience et ses connaissances.

Pour finir, je remercie Jean-Luc COUNILH et sa famille pour nous avoir accueillis sur sa propriété et pour avoir aidé l'équipe à sortir du gouffre de 6 mètres de La Fricassée.

Et un grand merci à l'équipe entière de stagiaires de biospéléologie de l'année 2024, Charline CHARBONNIER, Lenny GIRAUD, et Bastien FROMENT !



Photographie 1 : L'équipe de stagiaires biospéléologie au grand complet devant la grotte du Grand Antoine

Table des matières

I. Introduction	4
II. Matériel et méthodes	5
II.1 Choix des cavités	5
II.2 Echantillonnage	6
II.3 Analyse des données	6
III. Résultats et discussion	7
III.1 La richesse spécifique totale	7
III.2 La richesse spécifique en fonction de la distance à l'entrée	8
III.3 La faune cavernicole et les polluants anthropiques	9
III.4 Limites de l'étude	10
IV. Conclusion	11
V. Bilan personnel	11
VI. Bibliographie	12

Liste des figures et des tableaux

Figure 1 : Carte de la localisation des grottes échantillonnées	6
Figure 2 : Boîte à moustaches de la richesse spécifique en fonction de la cavité	9
Figure 3 : Histogramme de la richesse spécifique en fonction du point de prélèvement dans chaque cavité	10
Figure 4 : Histogramme de la richesse spécifique des grottes en fonction de la pollution	11
Tableau 1 : Tableau récapitulatif de l'ensemble des grottes échantillonnées	8

I. Introduction

J'ai réalisé mon stage au sein du Club de Recherches et d'Explorations Souterraines (CRES), qui est une association loi 1901, sans but lucratif, fondée en 1978. Elle est agréée Sport et affiliée à la Fédération Française de Spéléologie (FFS) via le Comité Départemental de Spéléologie de la Gironde (CDS33). Cette association organise ses activités autour de la spéléologie mais aussi de l'environnement, grâce à la section du Groupe d'Etudes et de Recherche en Ecologie – Valorisation de l'Environnement et du Patrimoine (GEREVEP), qui dirige, entre autres, les stages de biospéléologie. Le GEREVEP a été créé dans le but d'ajouter une dimension écologique à l'association et de mener des études scientifiques en Gironde. Dans ce cadre, j'ai réalisé un stage de deux mois d'analyse de la faune souterraine de 10 cavités de la région de l'Entre-deux-Mers.

La biospéléologie a pour but d'étudier la faune cavernicole. Celle-ci se compose en trois catégories (troglaxènes, troglaphiles et troglobies), déterminées en fonction de leur capacité à vivre exclusivement ou non en zone hypogée (De Broyer, s. d.). Les organismes troglaxènes (i. e. *Rhinolophus ferrumequinum*) vivent temporairement dans les grottes car elles leur apportent des conditions favorables à leur survie (température peu changeante, humidité élevée, absence de prédateurs). Les troglaphiles (i. e. *Oxychilus cellarius*) accomplissent leur cycle biologique en domaine hypogé mais peuvent aussi vivre dans le milieu extérieur. Enfin, les troglobies (i. e. *Niphargus sp*) sont des organismes inféodés aux cavernes et ne supportent pas les conditions extérieures.

Cette faune est principalement constituée d'invertébrés (insectes, arachnides, crustacés) mais aussi de quelques vertébrés (chiroptères, amphibiens). Malgré un faible nombre d'études scientifiques sur le milieu hypogé, cet environnement spécifique abrite une diversité spécifique importante, supposée à l'aide de taxons indicateurs de biodiversité (Briers et Biggs, 2003 ; Stoch *et al.*, 2009). Cependant, les modèles sont éloignés de la réalité du fait des difficultés d'accès au milieu karstique et à son étude complète (Sket, 1999). Pour illustrer cette diversité, l'ordre le plus échantillonné dans cette étude est celui des Araneae avec 14 espèces sur plus de 486 espèces retrouvées dans les cavernes d'Europe (Mammola, 2017). Cette spéciation hors du commun s'est développée pour la plupart des espèces connues pendant le Tertiaire (Alonso, 2020) lorsque le climat extérieur était instable et moins favorable à leur survie. La stabilité du milieu souterrain leur a permis de s'abriter et quelques organismes se sont adaptés aux conditions de vie des grottes, devenant totalement spécialistes de ce type d'écosystème. Les caractéristiques morphologiques propres aux troglobies ont été mises en évidence à plusieurs reprises (Protas et Jeffery, 2012 ; Culver *et al.*, 1994) : une perte de la protection cutanée étanche, une dépigmentation, une réduction voire une disparition des yeux, etc. De plus, les organismes cavernicoles organisent leur distribution en fonction de contraintes écologiques comprises dans deux principales zones : l'entrée, avec de la lumière, une température et humidité variable et une zone plus profonde, sans lumière, avec une température et humidité stable (De Broyer, s. d.). Ajouté à cela, il sera distingué les organismes pariétaux (vivant sur les parois) des autres associés aux sédiments ou aux matières organiques diverses (cadavres, bois, etc).

Etant donné leurs adaptations très spécialisées, les troglobies sont particulièrement sensibles aux changements des caractéristiques du milieu hypogé, telle que la température, censée être stable (autour de 13°C). Ainsi, des variations, même faibles, de température serait à l'origine de changements de la circulation de l'air, des processus de corrosion et de condensation (Domínguez-Villar *et al.*, 2015). Ces effets cumulés sur la faune hypogée ont déjà été étudiés sur les araignées (Mammola *et al.*, 2018) et les carabes (Brandmayr *et al.*, 2013) cavernicoles, mettant en lumière leur fragilité, mais aussi leurs rôles primordiaux d'indicateurs du réchauffement climatique.

De ce fait, les objectifs de l'étude sont multiples. Tout d'abord, la faune cavernicole est méconnue, rendant cet inventaire utile pour sensibiliser les non-initiés à la biodiversité animale des grottes. De plus, les milieux souterrains sont parcourus par des cours d'eau hypogés, dont le fonctionnement

hydrologique influe le biotope souterrain et qui peuvent être pollués par des polluants d'origine anthropique (Hubart et Dethier, 1999). Dans ce contexte particulier, cette étude a pour but de mettre en lumière un impact de la pollution anthropique sur la richesse spécifique cavernicole. Par ailleurs, d'autres éléments (comme la distance par rapport à l'entrée) seront comparés avec la richesse spécifique pour déterminer lesquels influent sur la composition et l'abondance de la diversité spécifique cavernicole.

Pour effectuer des prélèvements en milieu souterrain, une formation en spéléologie, en descente en rappel, en karstologie et en lecture de paysage a été nécessaire pour explorer les cavités en toute sécurité, comprendre leur fonctionnement et repérer des sources, indices de la présence de structures karstiques.

II. Matériel et méthodes

II.1 Choix des cavités

Les grottes à échantillonner ont été sélectionnées en fonction de leur topographie. Les cavités avec un faible développement, une accessibilité difficile (étroitures, passage aquatique) ou supposées dangereuses, ont été exclues des prélèvements. 10 cavités se situent dans l'Entre-deux-Mers et la dernière se situe en Dordogne. Elles possèdent toutes un développement horizontal supérieur à 50 mètres. La récolte des informations sur chaque grotte a été réalisée à l'aide de la base de données Karsteau (version 5.1.2), recensant plusieurs milliers de cavités dans le monde. A partir des points GPS de chaque grotte, une carte a été réalisée sur QGIS (version 3.22), renseignant sur leur répartition dans la région.

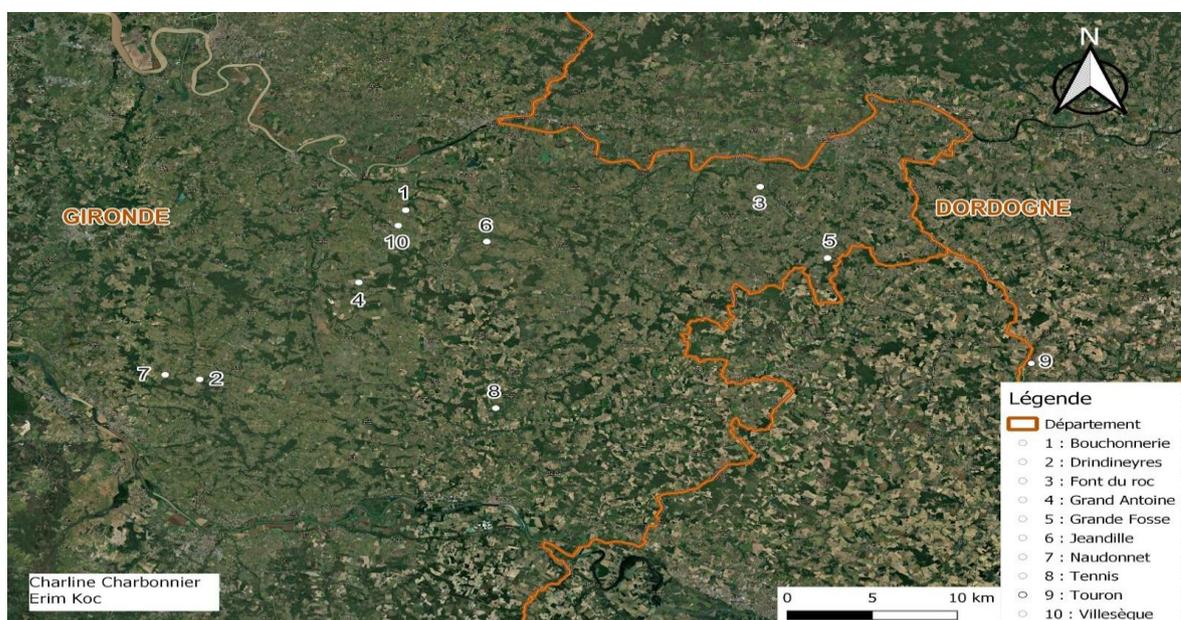


Figure 1 : Carte de la localisation des grottes échantillonnées (source : carte personnelle, QGIS)

II.2 Echantillonnage

Avant d'entrer dans la grotte, deux points de prélèvements sont déterminés en fonction du développement de la grotte. Un des points représente l'entrée de la grotte, correspondant à la zone sous le plafond de la cavité, la plus proche de l'entrée, dépourvue d'aménagements anthropiques. Le

point restant doit être situé dans une zone entièrement souterraine, en absence de lumière du jour, à au moins 20 mètres de l'entrée. La position des zones d'échantillonnage par rapport à l'entrée stricte de la grotte est mesurée à l'aide d'un laser mètre (Vevor) et de la topographie de la grotte.

Un périmètre d'échantillonnage d'environ 4m² est déterminé et comprend le milieu aquatique (dont le cours d'eau principal, les flaques alentours et sous les roches immergées déplaçables) et terrestre (dont les parois, le sol, le plafond, les anfractuosités et sous les roches déplaçables). Une mesure des paramètres abiotiques (température ambiante en °C, humidité en % et concentration en CO₂ en ppm) est effectuée au milieu de la zone à l'aide d'un détecteur de la qualité de l'air et d'un thermohygromètre.

Chaque espèce repérée à l'œil nu est prélevée avec des pinces, en deux exemplaires maximums. Les individus sont ensuite disposés dans des flacons contenant de l'alcool à 90° et entreposés à l'abri de la lumière et de l'humidité.

II.3 Analyse des données

L'identification est effectuée 24 à 48h après les prélèvements à l'aide de guides Delachaux et de clés de détermination trouvées au fil de recherches bibliographiques. Une loupe binoculaire (grossissement max x400) et du matériel de dissection ont été nécessaires à la réalisation des clés d'identification.

Les données récoltées ont été analysées à l'aide de tests statistiques sur le logiciel Rstudio (version 4.3.2). Le test de normalité de Shapiro-Wilk et les tests de comparaison non paramétrique de Wilcoxon-Mann Whitney et de Kruskal-Wallis ont été effectués pour vérifier des potentielles différences significatives.

III. Résultats et discussion

III.1 La richesse spécifique totale

Tableau 1 : Tableau récapitulatif de l'ensemble des grottes échantillonnées

Grottes	Développement (m)	Météo extérieure	Distance à l'entrée (m)/type des points de prélèvements	Pollution	Débit d'eau/profondeur	Humidité (%) et Temp (°C)	Richesse spécifique
Bouchonnerie	415	Nuages	5 (galerie)	Aucune	Moyen/moyenne	94 ; 14	7
			20 (galerie)	Faible	Faible/faible	100 ; 15	2
Drindineyres	237	Nuages	5 (laminoir)	Faible	Moyen/faible	97 ; 13	14
			107 (salle)	Aucune	Moyen/faible	100 ; 15	9
Font du Roc	2737	Pluie	3 (salle)	Aucune	NA	98 ; 13	6
			52 (salle)	Aucune	Moyen/moyenne	100 ; 15	3
Grand Antoine	8577	Pluie	5 (galerie)	Faible	NA	100 ; 13	13
			44 (galerie)	Aucune	Moyen/moyenne	100 ; 15	1
Grande Fosse	1307	Orage/pluie	3 (galerie)	Aucune	Fort/élevée	85 ; 17	8
			70 (galerie)	Aucune	Fort/élevée	96 ; 15	2
Jeandille	60	Nuages	3 (laminoir)	Aucune	Moyen/moyenne	81 ; 14	8
			30 (salle)	Aucune	Moyen/faible	100 ; 15	7
Naudonnet	840	Nuages	5 (galerie)	Forte	Fort/moyenne	99 ; 13	5
			50 (salle)	Pollué	Faible/moyen	100 ; 14	3
Tennis	400	Soleil/pluie	2 (galerie)	Forte	NA	87 ; 18	9
			45 (galerie)	Pollué	faible/faible	100 ; 15	10
Touren	380	Soleil	8 (galerie)	Aucune	Moyen/moyenne	75 ; 16	10
			40 (salle)	Aucune	Faible/faible	65 ; 22	12
Villesèque	2300	Nuages	11 (salle)	Pollué	NA	88 ; 16	6
			177 (galerie)	Aucune	Moyen/élevée	100 ; 15	2

Une richesse spécifique totale de 55 espèces a été échantillonnée sur les 9 jours de prélèvements dans les 10 grottes de la liste.

Certaines différences d'abondance d'individus et d'espèces observées sur le terrain ont été supposées liées à trois principaux éléments :

- Les caractéristiques abiotiques du milieu dont, entre autres, la température souterraine (Brandmayr *et al.*, 2013 ; Brandmayr et Pizzolotto, 2016 ; Mammola, 2018) la météo extérieure (Grenier *et al.*, 2019), l'humidité (Bourne, 1977) et la profondeur de la grotte, influant sur la présence de troglobies.
- La présence de compétiteurs opportunistes, favorisée par les polluants anthropiques (Turquin, 2010).
- La présence de prédateurs (chiroptères et carabes de la sous-famille des Trechinae).

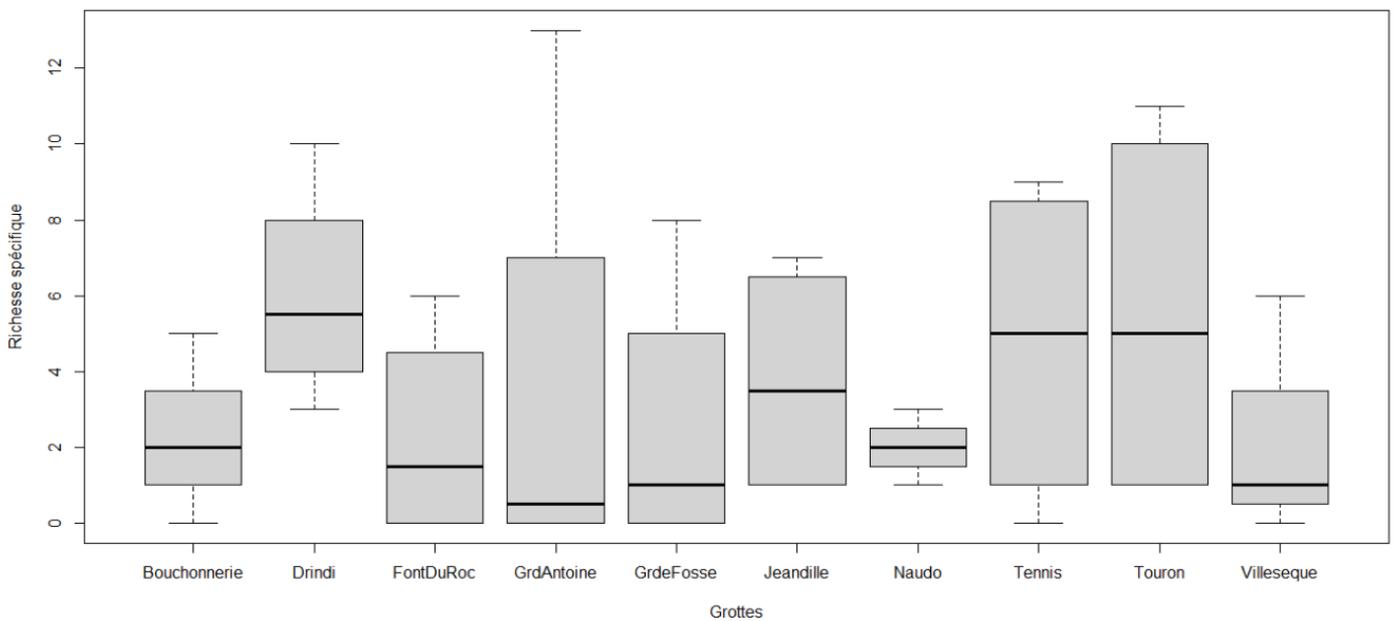


Figure 2 : Boîte à moustaches de la richesse spécifique en fonction de la cavité

Cependant, aucune différence significative de richesse spécifique n'a été mise en lumière entre toutes les grottes échantillonnées. Cette absence de différence peut s'expliquer par la forte variabilité d'arrivée d'espèces liée au Milieu Souterrain Superficiel (Juberthie *et al.*, 1980), qui accroît la complexité de l'habitat souterrain.

III.2 La richesse spécifique en fonction de la distance à l'entrée

Une variation de la richesse spécifique en fonction de la distance par rapport à l'entrée de la grotte a déjà été prouvé (Prous *et al.*, 2015 ; Zimmermann, 2023) et est explicable par la présence de troglobies seulement en profondeur. Cette variation dépendrait de trois principaux facteurs : la latitude, le pourcentage karstique et la déviation standard de l'index de position topographique (Christman *et al.*, 2016). Par ailleurs, l'ouverture des cavités a également un impact sur la structure de la faune cavernicole étant donné que la survie des organismes dépend de l'apport extérieur de matière organique (Culver *et al.*, 2006 ; De Broyer, s. d. ; Souza-Silva, 2012).

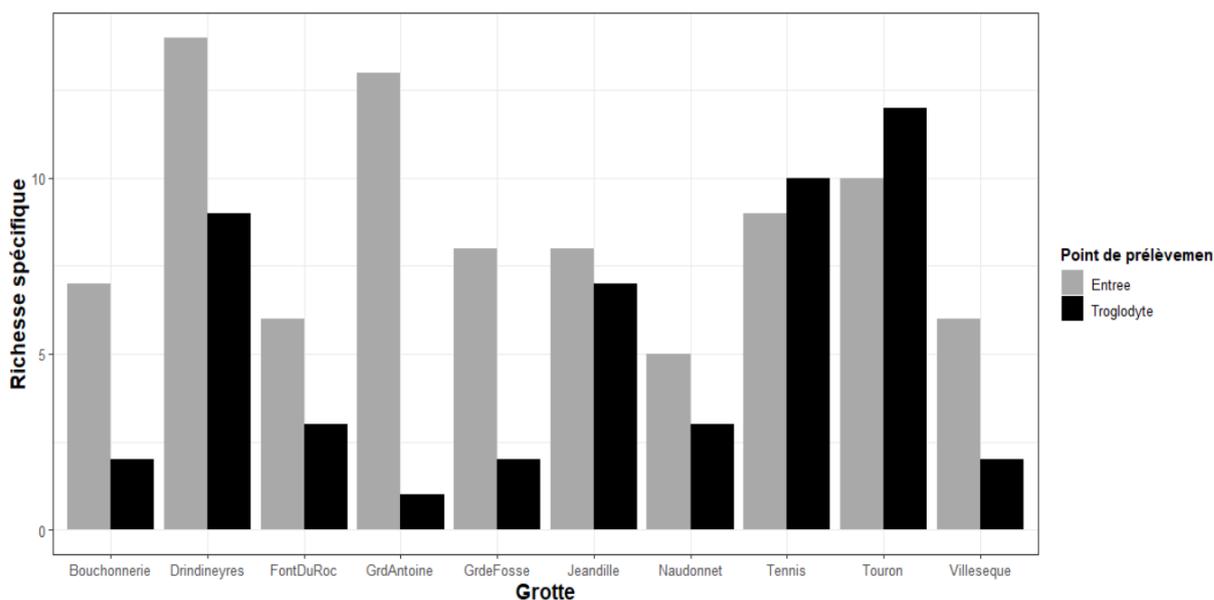


Figure 3 : Histogramme de la richesse spécifique en fonction du point de prélèvement dans chaque cavité

Pourtant, aucune différence significative n'a été trouvée entre les richesses selon la distance par rapport à l'entrée où elles ont été mesurées. L'entrée des grottes et la partie troglodyte ont pourtant été décrite comme faisant partie d'un écotone (Prous *et al.*, 2015), étant donné les différences de conditions environnementales et d'abondance en matière organique.

Cette absence de différence significative est supposée provenir de la quantité insuffisante de données pour cette étude.

III.3 La faune cavernicole et les polluants anthropiques

La grotte avec le plus d'espèces prélevées (19) est Drindineyres, caractérisée par une faible pollution et un courant moyen stable. La grotte avec le moins d'espèces prélevées (6) est Naudonnet, caractérisée par une forte pollution et un courant variable selon la distance par rapport à l'entrée. Au vu de ces observations, l'hypothèse de départ sur l'impact de la pollution sur la richesse spécifique semble probable.

Cependant, les tests statistiques de comparaison de richesse spécifique en fonction du degré de pollution n'ont montré aucune différence significative entre les grottes. Cette absence de différence pourrait être due au nombre insuffisant de données. En effet, 22 grottes étaient en premier lieu prévues pour être échantillonnées avec jusqu'à 3 prélèvements par cavité.

Il semblerait que la pollution ne soit pas un facteur de réduction de diversité spécifique, ni même d'abondance. De plus, lors de l'exploration de la cavité la plus polluée (Tennis), une étonnante abondance d'individus (salamandre, Trechinae, Limonia) a été observée tout le long de la grotte, hors zones de prélèvements. Par ailleurs, des indicateurs de biodiversité ont été déterminés par Briers et Biggs (2003) et l'un d'eux (les Limnephilidae, de l'ordre Trichoptera) a été retrouvé dans la grotte la plus polluée (Naudonnet), indiquant que les pollutions anthropiques sont potentiellement facteurs d'augmentation de la richesse spécifique.

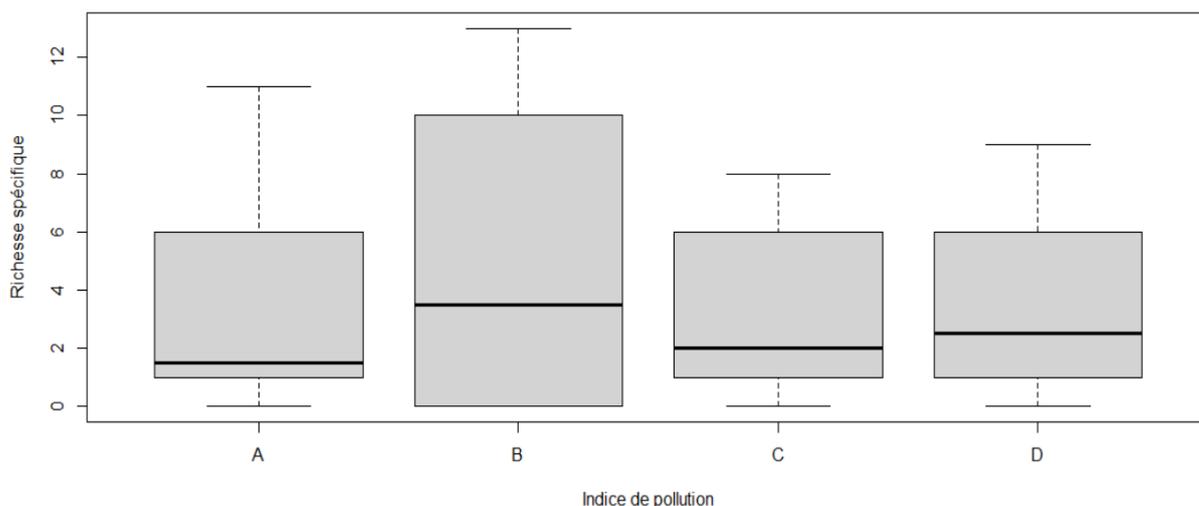


Figure 4 : Histogramme de la richesse spécifique des grottes en fonction de la pollution

Enfin, Turquin a indiqué en 2010 que la pollution de surface et l'eutrophisation des grottes favorisaient l'augmentation de la diversité spécifique. En effet, les organismes spécialistes des grottes seraient impactés négativement par les intrants anthropiques, réduisant la compétition interspécifique entre spécialistes et généralistes. Les taxons opportunistes généralistes troglaphiles et troglaxènes se développeraient donc plus facilement dans cet environnement moins sélectif. Ainsi, une faible diversité spécifique serait un gage de qualité du milieu dans le cas où le peu d'espèces présentes soient troglabies.

Du fait de l'absence de différences significatives, liée potentiellement à la faible quantité de données, aucune hypothèse ne peut être validée. Cependant, au vu de la quantité de facteurs biotiques et abiotiques influant la composition de la faune cavernicole (Brandmayr *et al.*, 2013 ; Brandmayr et Pizzolotto, 2016 ; Mammola, 2018 ; Turquin, 2010) et de la variabilité de la structure karstique, cette étude n'atteint que la surface du sujet et devrait être plus poussée pour permettre de vérifier des conjectures sur l'écologie des organismes souterrains.

III.4 Limites de l'étude

Plusieurs limites ont été rencontrées lors de cette étude. Tout d'abord, au niveau du protocole, il est possible que l'effort d'échantillonnage (soit le nombre de prélèvements) ait influencé les résultats. En étant plus important, des données suffisantes auraient permis une meilleure fiabilité des résultats. De plus, échantillonner plus loin de l'entrée dans les grottes ou sur une surface plus grande aurait sûrement pu permettre l'observation d'un changement dans la composition spécifique cavernicole.

Par ailleurs, le matériel utilisé n'était pas forcément adapté pour ce genre d'échantillonnage. Par exemple, le prélèvement à la pince a altéré la morphologie de certains individus de petite taille. Plusieurs autres méthodes plus appropriées auraient pu être couplées à la chasse à vue effectuée : certaines études utilisent un tamis (Zimmermann, 2023), d'autres des pièges sous forme d'appâts (Aberlenc *et al.*, 2022) ou encore un berlèse et un filet (Alezine *et al.*, 2020), permettant des prélèvements plus précis et efficaces. Le prélèvement d'organismes aquatiques est particulièrement complexe (Malard *et al.*, 2002) car le milieu est très ouvert et est soumis à un courant et à une profondeur

variable et imprévisible. L'eau étant parfois trouble, la chasse à vue n'était potentiellement pas la méthode la plus adéquate pour collecter les organismes aquatiques, surtout par temps de pluie.

Par rapport à la partie identification, l'utilisation de l'alcool à 90° a décoloré certains individus prélevés, en particulier les motifs de l'abdomen des arachnides. La détermination n'a parfois pas été effectuée jusqu'au niveau spécifique, mais seulement jusqu'à la famille, voire jusqu'à l'ordre dans les pires des cas. De plus, n'étant pas experts en arachnides ou en diptères, l'équipe a rencontré des difficultés d'identification. Enfin, certaines familles se différencient par des détails morphologiques difficilement observables à la loupe binoculaire (pores coxaux chez les chilopodes ou mésotome en V chez les diptères), ou même parfois par des critères génétiques.

IV. Conclusion

Cette étude a eu pour but de faire connaître la faune cavernicole au grand public et de vérifier un potentiel impact de la pollution sur ces organismes. Il a été mis en lumière que la pollution permet l'augmentation de la richesse spécifique en favorisant les taxons opportunistes généralistes au détriment des troglobies spécialistes. Les preuves de pollution rencontrées à l'entrée et à l'intérieur des grottes sembleraient avoir seulement un impact sur les organismes inféodés aux cavernes et sur la composition chimique et bactériologique des cours d'eau.

En dépit de la faible quantité de connaissances sur les cavités karstiques, il est évident que ces environnements représentent un enjeu important en matière de biodiversité, de suivi des ressources en eau, et de patrimoine préhistorique. Les organismes cavernicoles sont présents non seulement dans les grottes naturelles mais aussi dans d'autres milieux souterrains artificiels comme les carrières où une diversité méconnue s'est développée (Geoffroy, 1991 ; Skubala *et al.*, 2013). Cette biocénose fragile compose ainsi une partie non négligeable de la biodiversité faunistique mondiale (Ercoli *et al.*, 2019), continuellement alimenté par de nombreuses nouvelles espèces souterraines découvertes (Deharveng, 2009 ; Mammola, 2017 ; Skubala *et al.*, 2013). De plus, la faune cavernicole possède un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes souterrains. Dans ce contexte particulier, l'environnement souterrain subit malheureusement de nombreuses atteintes à son bon fonctionnement, dont l'apport de déchets en tout genre par l'eau lors de fortes précipitations, menaçant tout un écosystème. Ajouté à cela le danger du réchauffement climatique, la zone karstique et son écologie est de plus en plus proche de changements irréversibles sur sa structure tout entière.

V. Bilan personnel

Au cours de ces deux mois, j'ai acquis de nouvelles compétences et connaissances, en lecture de paysage, reconnaissance d'espèces souterraines, karstologie et techniques de progression horizontale et verticale en spéléologie. J'ai découvert un domaine inconnu de la biologie (la biospéléologie) et un sport d'exploration, qui m'a beaucoup apporté dans ma recherche de nouveauté.

J'ai pu adhérer à une association, expérimenter le travail en son sein et découvrir les inévitables difficultés liées au budget et au matériel. Par-dessus tout, j'ai été témoin de la passion et de la pédagogie des bénévoles et professionnels rencontrés, qui m'a fortement motivé à étudier le milieu particulier qu'est l'environnement karstique. Ces deux mois ont été pour moi des moments enrichissants et utiles pour me préparer aux réalités du monde du travail après la licence.

VI. Bibliographie

Aberlenc, Henri-Pierre, *et al.* 2022. « La faune contemporaine de la grotte Chauvet-Pont-d'Arc ». *Karstologia* 80: 1-12.

Alezine, Thierry, Francois Lefebvre, et Sepanso Aquitaine. 2020. « Inventaire de la faune aquatique souterraine & Qualité des milieux en Nouvelle-Aquitaine ». [Rapport de recherche]. SEPANSO (Bordeaux) pour France Nature Environnement en Nouvelle-Aquitaine. <https://hal.science/hal-02974506>.

Alonso, Cédric. 2020. « Plongée sous la surface de la terre : la formidable adaptation du vivant ». *Passion Entomologie*. <https://passion-entomologie.fr/coleopteres-cavernicoles/>.

Bellmann, Heiko. 2014. *Guide photo des araignées et arachnides d'Europe : plus de 400 espèces illustrées*. Paris: Delachaux et Niestlé, 430p.

Bourne, John D. 1977. « Mise en évidence de groupements temporaires de la faune pariétale dans un tunnel artificiel en fonction de l'humidité et des mouvements d'air ». *Revue suisse de zoologie* 84: 527-39. <https://doi.org/10.5962/bhl.part.91405>.

Brandmayr, Pietro, *et al.* 2013. « Hypogean carabid beetles as indicators of global warming? » *Environmental Research Letters* 8 (4): 11. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/4/044047>.

Brandmayr, Pietro, et Roberto Pizzolotto. 2016. « Climate change and its impact on epigean and hypogean carabid beetles ». *Periodicum Biologorum* 118 (3): 147-62. <https://doi.org/10.18054/pb.v118i3.4062>.

Briers, Robert A., et Jeremy Biggs. 2003. « Indicator taxa for the conservation of pond invertebrate diversity ». *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13 (4). <https://doi.org/10.1002/aqc.576>.

Christman, Mary, *et al.* 2016. « Predicting the Occurrence of Cave-Inhabiting Fauna Based on Features of the Earth Surface Environment ». *PLOS ONE* 11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160408>.

Claivaz, Lucien. s. d. « Une clé pour déterminer les Isopodes terrestres d'Île-de-France ». *Geo-Nat'idF Base de données naturalistes*. Consulté le 30 avril 2024. <https://geonature.arb-idf.fr/nouvelles/une-cle-pour-determiner-les-isopodes-terrestres-dile-de-france>.

Culver, David C., *et al.* 1994. « The geometry of natural selection in cave and spring populations of the amphipod *Gammarus minus* Say (Crustacea: Amphipoda) ». *Biological Journal of the Linnean Society* 52 (1): 49-67. <https://doi.org/10.1006/bijl.1994.1038>.

Culver, David C., *et al.* 2006. « The Mid-Latitude Biodiversity Ridge in Terrestrial Cave Fauna ». *Ecography* 29 (1): 120-28.

De Broyer, Claude. s. d. « Le fonctionnement de l'écosystème d'une grotte ». *La Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains*. Consulté le 10 avril 2024. <https://www.cwepss.org/fonctionnementEcosysteme.htm>.

Decker, Peter, et Robert Pfeifle. s. d. « Diplopoda.de - Die Tausendfüßer-Seite ». *diplopoda.de*. Consulté le 30 avril 2024. <http://www.diplopoda.de/html/bestimmung.php#5>.

Deharveng, Louis, *et al.* 2009. « Groundwater Biodiversity in Europe ». *Freshwater Biology* 54 (4): 709-26. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.01972.x>.

Domínguez-Villar, David, *et al.* 2015. « Is Global Warming Affecting Cave Temperatures? Experimental and Model Data from a Paradigmatic Case Study ». *Climate Dynamics* 45 (3): 569-81. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2226-1>.

Dynafor. 2021. « Cle XPER3 ». CarabAgri. Consulté le 30 avril 2024. <https://dynafor.toulouse.inra.fr/carabagri/index.php? sujet=cle>.

Ercoli, Fabio, *et al.* 2019. « Differing trophic niches of three French stygobionts and their implications for conservation of endemic stygofauna ». *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 29 (12): 2193-2203. <https://doi.org/10.1002/aqc.3227>.

Farlund, Magne. 2009. « Theridiidae ». mine edderkopper (blog). Consulté le 13 mai 2024. <https://crocea.wordpress.com/theridiidae/>.

Geoffroy, J-J. 1991. « Les cavités artificielles et la répartition des Diplopodes endogés et souterrains: intérêt biogéographique ». *Revue suisse de zoologie* 98 (1): 93-106. <https://doi.org/10.5962/bhl.part.79780>.

Groupe d'Etude de Biospéléologie - Commission Scientifique de la Fédération Française de Spéléologie. s. d. « Araignées - GROUPE D'ÉTUDE DE BIOSPÉOLOGIE ». GEB. Consulté le 23 avril 2024. <https://geb.ffspeleo.fr/spip.php?rubrique60>.

Hubart, Jean-Marie, et Michel Dethier. 1999. « La faune troglobie de Belgique : état actuel des connaissances et perspectives ». *Bulletin de la Société Royale Belge d'Entomologie* 135: 164-78.

Iorio, Etienne. 2007. « Le Monde des insectes - Chilopoda - clé illustrée ». *Le Monde des insectes*. Consulté le 30 avril 2024. <https://www.insecte.org/spip.php?article14#lithobio>.

Juberthie, Christian, *et al.* 1981. « Sur l'existence Du Milieu Souterrain Superficiel En Zone Calcaire ». *Mémoires de Biospéléologie* 8: 77-93.

Leraut, Patrice et Blanchot, Philippe. 2003. *Le guide entomologique*. Paris: Delachaux et Niestlé, 527p.

Malard, Florian, *et al.* 2002. *Sampling Manual for the Assessment of Regional Groundwater Biodiversity*. European Project PASCALIS.

Mammola, Stefano. 2017. « A synthesis on cave-dwelling spiders in Europe ». *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 56 (3): 301-16. <https://doi.org/10.1111/jzs.12201>.

Mammola, Stefano, *et al.* 2018. « Climate Change May Drive Cave Spiders to Extinction ». *Ecography* 41 (1): 233-43. <https://doi.org/10.1111/ecog.02902>.

Nentwig, Wolfgang, Daniel Gloor, Theo Blick, Christian Kropf, et Ambros Hänggi. 2010. « Spiders of Europe ». *Araneae*. Consulté le 23 avril 2024. <https://araneae.nmbe.ch/>.

Oger, Pierre. s. d. « Les araignées de Belgique et de France ». *Arachno*. Consulté le 23 avril 2024. <https://arachno.piwigo.com/>.

Protas, Meredith, et Jeffery, William R. 2012. « Evolution and Development in Cave Animals: From Fish to Crustaceans ». *WIREs Developmental Biology* 1 (6): 823-45. <https://doi.org/10.1002/wdev.61>.

Prous, Xavier, *et al.* 2015. « The entrance as a complex ecotone in a Neotropical cave ». *International Journal of Speleology* 44 (2): 177-89. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.44.2.7>.

Roberts, Michael J. 2009. *Guide des araignées de France et d'Europe : plus de 450 espèces décrites et illustrées*. Paris: Delachaux et Niestlé, 383p.

Sket, Boris. 1999. « The Nature of Biodiversity in Hypogean Waters and How it is Endangered ». *Biodiversity and Conservation* 8: 1319-38. <https://doi.org/10.1023/A:1008916601121>.

Skubala, Piotr, *et al.* 2013. « How many mite species dwell in subterranean habitats? A survey of Acari in Belgium ». *Zoologischer Anzeiger - A Journal of Comparative Zoology* 252 (3): 307-18. <https://doi.org/10.1016/j.jcz.2012.09.001>.

Société Limousine d'étude des Mollusques. s. d. « Atlas des mollusques de la région Nouvelle-Aquitaine - Société Limousine d'étude des Mollusques ». Atlas des mollusques de la région Nouvelle-Aquitaine. Consulté le 30 avril 2024. <https://mollusques-nouvelle-aquitaine.fr/>.

Souza-Silva, Marconi, *et al.* 2012. « Transport and Consumption of Organic Detritus in a Neotropical Limestone Cave ». *Acta Carstologica* 41 (1): 139-50. <https://doi.org/10.3986/ac.v41i1.54>.

Stoch, Fabio, *et al.* 2009. « Biodiversity Indicators in European Ground Waters: Towards a Predictive Model of Stygobiotic Species Richness ». *Freshwater Biology* 54 (4): 745-55. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02143.x>.

Turquin, Marie-José. 2010. « Le paradoxe de la biodiversité du milieu souterrain ». *Bulletin mensuel de la Société Linnéenne de Lyon* 2 (1): 77-85. <https://doi.org/10.3406/linly.2010.13751>.

Zimmermann, Camille. 2023. « Etude de la faune souterraine dans l'Entre-Deux-Mers ». Mémoire de master. Bordeaux : Université de Bordeaux, 24p.

Résumé

L'écosystème souterrain est méconnu mais regorge pourtant d'une biodiversité abondante et spécifique aux caractéristiques hypogées. Dans ce cadre, cette étude a été effectuée dans le but de faire connaître les organismes cavernicoles et de tester des potentiels impacts négatifs de la pollution anthropique sur la richesse spécifique de 10 cavités de l'Entre-Deux-Mers. Une liste de 55 espèces troglaxènes, troglaphiles et troglabies a été mise en place après des prélèvements à l'entrée et en zone troglabie dans chaque grotte. Il a été mis en évidence que la pollution anthropique n'a pas d'influences sur la richesse spécifique totale des grottes mais semblerait impacter seulement les organismes troglabies, permettant à la faune opportuniste généraliste de se développer avec moins de contraintes de compétitions, augmentant la richesse spécifique des grottes polluées.

Abstract

The subterranean ecosystem is little-known, yet possess abundant biodiversity, specific to hypogean characteristics. The aim of this study was to find out more about cave-dwelling organisms and to test the potential negative impact of anthropogenic pollution on the species richness of 10 caves in the Entre-Deux-Mers region. A list of 55 troglaxenic, troglaphilic and troglabitic species was made after sampling at the entrance and in the troglabitic zone of each cave. It has been shown that anthropogenic pollution has no influence on the total species richness of caves, but only seems to have an impact on troglabitic organisms, allowing generalist opportunist fauna to develop with less competitive constraints, thus increasing the species richness of polluted caves.

Annexe

Tableau 2 : Tableau récapitulatif de l'ensemble des espèces échantillonnées

Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire	Statut IUCN	Statut de protection
Agnaridae	<i>Orthometopon planum</i>	-	NE	Non protégé
Amaurobiidae	<i>Amaurobius sp.</i>	-	-	Non protégé
Bolitophilidae	<i>Bolitophila cinerea</i>	-	NE	Non protégé
Cantharidae	<i>Cantharis sp.</i>	-	-	Non protégé
Carabidae	<i>Nebria brevicollis</i>	Nébrie à cou bref	NE	Non protégé
Carabidae	<i>Paranchus albipes</i>	-	NE	Non protégé
Cecidomyiidae	<i>Cecidomyidae sp.</i>	-	-	Non protégé
Cheiracanthiidae	<i>Cheiracanthium mildei</i>	-	LC	Non protégé
Chiroptera	<i>Chiroptera sp.</i>	-	-	Non protégé
Chiroptera	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Grand rhinolophe	LC	Protégée (espèce déterminante ZNIEFF)
Clausiliidae	<i>Clausilia bidentata</i>	Clausilie commune	LC	Non protégé
Cordulegastridae	<i>Cordulegaster boltonii</i> (larve)	Cordulégastre annelé	LC	Protégée (espèce déterminante ZNIEFF)
Diptera	<i>Diptera sp.</i>	-	-	Non protégé
Ephemeroptera	<i>Ephemeroptera sp.</i> (larve)	-	-	Non protégé
Gammaridae	<i>Gammarus sp.</i>	-	-	Non protégé
Ixodidae	<i>Ixodes ricinus</i>	-	-	Non protégé
Ixodidae	<i>Ixodes vespertilionis</i>	-	-	Non protégé
Julidae	<i>Cylindroiulus caeruleocinctus</i>	-	-	Non protégé
Julidae	<i>Julus scandinavicus</i>	-	-	Non protégé
Limacidae	<i>Limax maximus</i>	Limace léopard	LC	Non protégé
Limnephilidae	<i>Drusus sp.</i>	-	-	Non protégé
Limnephilidae	<i>Glyphotaelius sp.</i>	-	-	Non protégé
Limoniidae	<i>Limonia nubeculosa</i>	-	-	Non protégé
Lithobiidae	<i>Lithobius forficatus</i>	Lithobie à pinces	NE	Non protégé
Lithobiidae	<i>Eupolybothrus nudicornis</i>	Eupolybothre à antennes glabres	NE	Non protégé
Machilidae	<i>Machilidae sp.</i>	-	-	Non protégé
Mycetophilidae	<i>Mycetophilidae sp. 1</i>	-	-	Non protégé
Mycetophilidae	<i>Mycetophilidae sp. 2</i>	-	-	Non protégé
Nesticidea	<i>Nesticidae sp. 1</i>	-	-	Non protégé
Nesticidea	<i>Nesticus cellulanus</i>	Nestique alvéolé	LC	Non protégé
Niphargidae	<i>Niphargus sp.</i>	-	-	Non protégé
Oniscidae	<i>Oniscus asellus</i>	Cloporte commun	NE	Non protégé

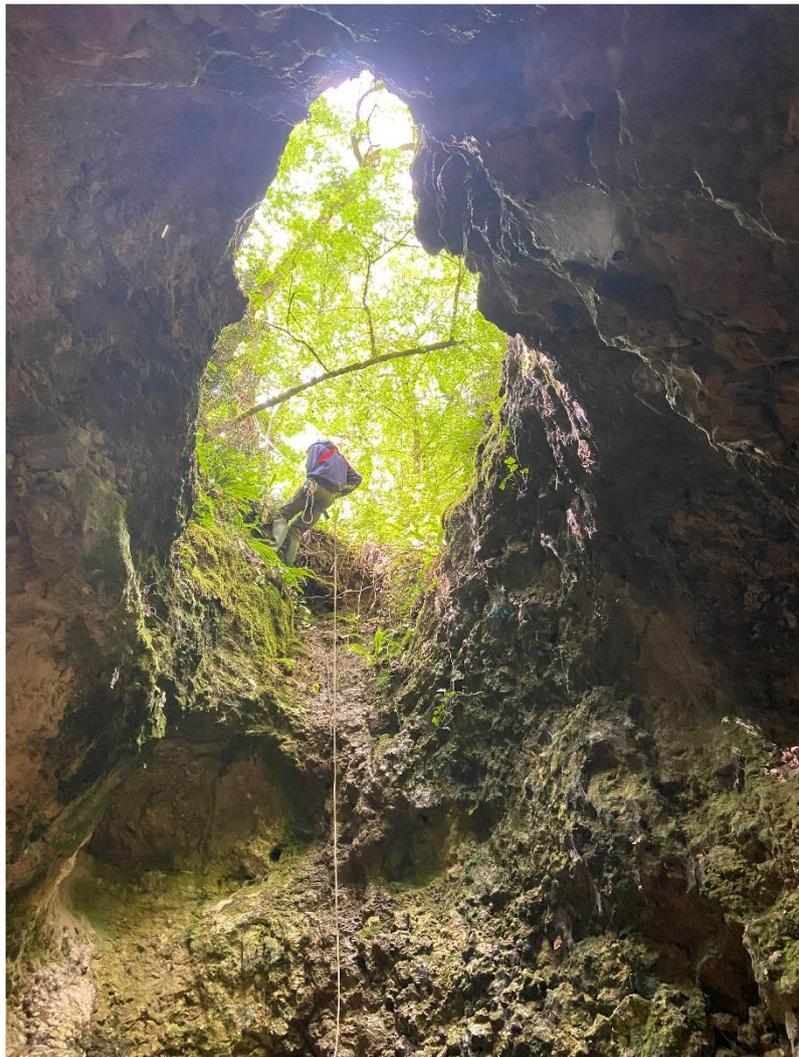
Opiliones	<i>Phalangioidea sp.</i>	-	-	Non protégé
Oxychilidae	<i>Oxychilus draparnaudi</i>	Grand luisant	LC	Non protégé
Oxychilidae	<i>Oxychilus navarricus</i>	Luisant des Pyrénées	LC	Non protégé
Pholcidae	<i>Pholcus phalangioides</i>	Pholque phalangiste	LC	Non protégé
Phoridae	<i>Phoridae sp.</i>	-	-	Non protégé
Pisauridae	<i>Pisaura mirabilis</i>	Pisaure admirable	LC	Non protégé
Polydesmidae	<i>Polydesmus angustus</i>	-	-	Non protégé
Psychodidae	<i>Psychodidae sp.</i>	-	-	Non protégé
Rhinophorinae	<i>Rhinophorinae sp.</i>	-	-	Non protégé
Salamandridae	<i>Salamandra salamandra</i>	Salamandre tachetée	LC	Protégée (espèce déterminante ZNIEFF)
Sciaridae	<i>Sciaridae sp.</i>	-	-	Non protégé
Scirtidae	<i>Elodes minuta</i>	-	NE	Non protégé
Sphaeroceridae	<i>Sphaeroceridae sp. 1</i>	-	-	Non protégé
Sphaeroceridae	<i>Sphaeroceridae sp. 2</i>	-	-	Non protégé
Staphylinidae	<i>Tasgius morsitans</i>	-	NE	Non protégé
Tetragnathidae	<i>Meta bournetii</i>	-	LC	Espèce déterminante ZNIEFF
Tetragnathidae	<i>Metellina merianae</i>	-	LC	Non protégé
Theridiidae	<i>Platnickina tincta</i>	-	-	Non protégé
Theridiidae	<i>Steatoda grossa</i>	Stéatode domestique	LC	Non protégé
Theridiidae	<i>Theridiidae sp. 1</i>	-	-	Non protégé
Theridiidae	<i>Theridiidae sp. 2</i>	-	-	Non protégé
Theridiidae	<i>Theridion varians</i>	-	LC	Non protégé
Trachelipodidae	<i>Trachelipus rathkii</i>	-	NE	Non protégé



Photographie 2 : Rencontre avec un chiroptère dans la grotte de Drindineyres



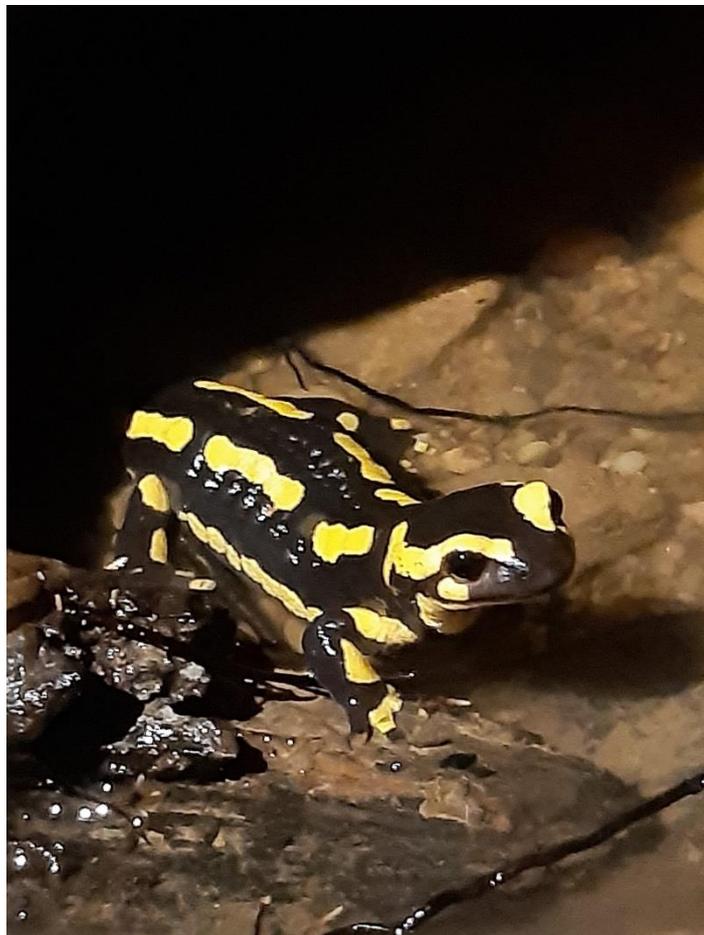
Photographie 3 : Initiation à la spéléologie dans la grotte de La Chèvre



Photographie 4 : Descente de l'aven de la grotte Font du Roc



Photographie 5 : Observation d'un travertin devant la grotte de Jeandille



Photographie 6 : Salamandra salamandra dans la grotte de Drindineyres