



MASTER SCIENCES, TECHNOLOGIES, SANTÉ
Mention Biodiversité, Écologie & Évolution
1^{ère} année

Année universitaire 2024–2025

RAPPORT DE STAGE

Stella SARRAZIN

Influence des conditions environnementales et hydrologiques sur la répartition de la faune cavernicole dans la région de l'Entre-deux-Mers

Stage effectué du 3 mai au 29 juin 2025

Structure d'accueil : Club de Recherches et d'Explorations Souterraines (CRES)

132 avenue Aristide Briand, 33700 MÉRIGNAC 06 70 10 82 49 ; gerard.bousquet3@orange.fr

Directeur de stage : Gabriel BALLOUX

Remerciements

Avant tout, j'exprime ma profonde gratitude à mon maître de stage, M. Gabriel BALLOUX, pour son accueil et son accompagnement au sein du GEREVEP (Groupe d'Études et de Recherche en Écologie – Valorisation de l'Environnement et du Patrimoine), section naturaliste du CRES. Grâce à lui, j'ai découvert la spéléologie, et j'ai pu approfondir mes connaissances en lecture de paysage, karstologie, botanique et ornithologie. Ma gratitude s'adresse également au président actuel du Club de Recherches et d'Explorations Souterraines, Gérard BOUSQUET pour l'accueil au sein de l'association.

Ma reconnaissance va aussi à Bernard LEBRETON, biospéléologue passionné et membre actif du CDS24, pour son accompagnement sur le terrain et son expertise, qui ont grandement contribué à la qualité scientifique de ce travail.

Un grand merci aux stagiaires du CRES de cette année : Auréliane GAY, Élise BARRIER et Alicia LE STRAT, avec qui j'ai effectué tous les prélèvements et l'identification de la faune des grottes échantillonnées, ainsi qu'à Jason ROCHE qui nous a accompagnées lors de certaines sorties terrain. Leur collaboration, la bonne ambiance de travail et les connaissances partagées ont grandement enrichi cette expérience.

Mes remerciements s'adressent également à Charline CHARBONNIER, responsable de la commission de biospéléologie, et Erim KOC, référent entomologique, pour leur aide précieuse dans l'identification des espèces et leurs conseils pertinents.

Ma reconnaissance va également à Thibault STENGER, président de La Huppe Verte, et Suzanne DELUDE pour la formation sur les chiroptères et les inventaires odonates, ainsi qu'à la Société Linnéenne de Bordeaux qui nous a permis de développer nos compétences en botanique.

Je remercie la commune de Saint-Quentin-de-Caplong, son maire M. Jean-Pierre ROUBINEAU, ainsi que M. Jean-Christophe MAURO, propriétaire de la grotte de Bois Madame pour leur collaboration.

Enfin, je remercie l'Université de Bordeaux pour le prêt des loupes binoculaires et des guides d'identification, qui ont facilité le travail de détermination des espèces.

Liste des figures

Figure 1 : Carte des cavités échantillonnées dans l'Entre-deux-Mers

Figure 2 : Corrélations entre la richesse spécifique, les variables environnementales (profondeur de l'eau, l'humidité relative et la température) et la distance.

Figure 3 A et B : Détection d'une rupture de pente dans la variation de la richesse spécifique et de l'humidité en fonction de la distance de l'entrée.

Présentation de la structure d'accueil

Le Club de Recherches et d'Explorations Souterraines (CRES), fondé le 14 juillet 1978 à Mérignac, est une association loi 1901 à but non lucratif, reconnue pour son engagement dans la spéléologie et les disciplines liées au monde souterrain. Le club se caractérise par la variété de ses activités, englobant la spéléologie et la plongée souterraine, ainsi que plusieurs disciplines scientifiques associées telles que la géologie, la karstologie, la topographie, la mise en valeur du patrimoine naturel, ainsi que l'histoire/préhistoire. Affiliée à la Fédération Française de Spéléologie (FFS) via le Comité Départemental de Spéléologie de la Gironde (CDS33), cette structure promeut aussi la dimension écologique de ses activités grâce à sa section naturaliste, le Groupe d'Études et de Recherche en Écologie – Valorisation de l'Environnement et du Patrimoine (GEREVEP). Ce dernier enrichit les pratiques sportives par une approche scientifique, en conduisant des inventaires et des études biospéléologiques qui contribuent à une meilleure connaissance des espèces cavernicoles, notamment dans les grottes de l'Entre-deux-Mers. Ainsi, le CRES allie exploration, conservation et recherche pour valoriser et protéger les milieux souterrains.

Table des matières

Remerciements

Liste des figures

Présentation de la structure d'accueil

Table des matières

| | |
|---|----|
| I- Introduction | 1 |
| II- Matériels et méthodes | 2 |
| A- Choix et détermination des cavités souterraines étudiées | 2 |
| B- Protocole d'échantillonnage de la faune souterraine | 3 |
| C- Analyse et traitement de données | 4 |
| III- Résultats | 5 |
| A) Identification d'un gradient environnemental au sein des grottes | 5 |
| B) Structuration des communautés le long du gradient entrée-fond | 7 |
| C) Répartition écologique, trophique et des paramètres environnementaux après le gradient (entre 150 et 400 mètres) | 7 |
| D) Influence de l'hydrologie sur la distribution écologique et trophique des espèces | 8 |
| IV- Discussion | 8 |
| V- Conclusion | 10 |
| Bibliographie | |
| Annexe 1 | |
| Résumé de l'étude | |

I- Introduction

Le territoire de l'Entre-deux-Mers se situe dans la partie orientale du département de la Gironde, compris entre la Dordogne et la Garonne (P. Audra, 2010). Ce plateau repose sur un karst développé, constitué de calcaires oligocènes connus sous le nom de « Calcaires à Astéries » (calcaire riche en fossiles marins) (P. Audra, 2010), mais aussi localement d'un calcaire lacustre plus ancien appelé « Calcaire de Castillon ». Ce socle calcaire est surmonté de formations meubles, notamment les molasses de l'Agenais, constituées de sédiments argilo-sableux. On parle alors de karst sous couverture, car les cavités karstiques se forment sous une couche de sédiments plus ou moins imperméables. Un karst est un paysage formé par la dissolution de roches solubles riches en carbonate de calcium (CaCO_3), comme le calcaire. Le développement des cavités karstiques est également favorisé par la fantômisiation (altération précoce du calcaire), ainsi que par la présence de fractures tectoniques facilitant la circulation des eaux souterraines (Dubois *et al.*, 2011). Dans l'Entre-deux-Mers, les grottes se présentent sous la forme de galeries horizontales et peu profondes (Dubois *et al.*, 2011).

Le milieu souterrain présente des caractéristiques écologiques uniques qui façonnent la structure et le fonctionnement des communautés qui y résident (Perry, 2013). La biodiversité souterraine, bien que souvent méconnue, est d'une richesse remarquable. Les grottes contiennent des niveaux élevés de biodiversité, des champignons aux invertébrés en passant par les vertébrés (Medellin *et al.*, 2017). La faune souterraine est majoritairement composée d'invertébrés, en particulier d'arthropodes (insectes, arachnides, crustacés), auxquels s'ajoutent quelques vertébrés adaptés à ces milieux, notamment des chiroptères et certains amphibiens tels que *Salamandra salamandra*.

Parmi les organismes du domaine souterrain, on distingue classiquement trois catégories, en fonction de leur degré de dépendance au milieu : les troglonectes, les troglodites et les troglodytes. Les troglonectes sont des animaux vivant dans le milieu extérieur mais pouvant pénétrer et séjourner temporairement dans les grottes (De Broyer, s. d.). Les troglodites sont des organismes cavernicoles dont les populations vivent également dans le milieu extérieur (De Broyer, s. d.). Certaines de leurs potentialités les prédisposent à vivre dans le milieu souterrain où ils sont actifs en permanence, se reproduisent et effectuent leur cycle de développement complet (De Broyer, s. d.). Enfin les troglodytes vivent uniquement dans le milieu souterrain et sont strictement inféodés au milieu cavernicole (De Broyer, s. d.). Ils présentent des adaptations spécifiques (morphologiques,

physiologiques ou comportementales) en réponse à l'obscurité permanente et aux conditions particulières des grottes telles qu'une anophtalmie (réduction ou perte totale des yeux) et une dépigmentation des téguments (Hubart et Dethier, 1999). La faune vivant dans le milieu aquatique souterrain, appelée stygofaune peut également être classée en trois catégories : les stygoxènes, les stygophiles et les stygobies (par exemple : *Niphargus sp.*) (Ferreira *et al.*, 2003).

Ainsi, la biospéléologie, en tant que discipline dédiée à l'étude de la biodiversité souterraine, permet de documenter et de comprendre la richesse et la spécificité du milieu souterrain (Ferreira *et al.*, 2003). La biospéléologie est une science récente qui s'est développée à partir du milieu de XIX^e siècle après que de multiples observations aient progressivement révélé l'existence d'une faune typiquement souterraine (Ferreira *et al.*, 2003). Bien que la faune souterraine ait fait l'objet de nombreuses études à l'échelle nationale, celle de l'Entre-deux-Mers demeure peu documentée.

Ainsi, l'objectif de cette étude est de contribuer à l'enrichissement des inventaires faunistiques cavernicoles de l'Entre-deux-Mers. Plus précisément, il s'agit d'identifier un éventuel gradient environnemental le long de la progression dans les grottes et d'évaluer son influence sur la répartition écologique et trophique des espèces. L'étude examinera également l'impact de l'hydrologie souterraine sur leur distribution.

II- Matériels et méthodes

A- Choix et détermination des cavités souterraines étudiées

La sélection des cavités étudiées dans l'Entre-deux-Mers s'est appuyée sur l'analyse topographique des grottes avec le logiciel Karsteau (version 5.1.4), ainsi que sur les recommandations de M. Gabriel BALLOUX. Plusieurs critères ont été pris en compte, notamment la longueur des cavités (d'au moins 400 mètres), leur localisation géographique au sein de l'Entre-deux-Mers, ainsi que leur typologie, privilégiant les configurations horizontales. Certaines cavités horizontales ont été exclues du protocole en raison de contraintes d'accès (passages étroits), d'une forte présence aquatique ou de risques considérés comme trop élevés pour garantir la sécurité et la réalisation de l'échantillonnage. Dans le cadre de cette étude, cinq cavités ont été sélectionnées pour l'échantillonnage : Grand Antoine (Entrée Grande Fosse), Villesèque (Entrée Nord), Grand Pont (Entrée Ouest), Bois de Madame et Font du Roc. Leur localisation a été cartographiée à l'aide du logiciel QGIS (version 3.42) (Figure 1).

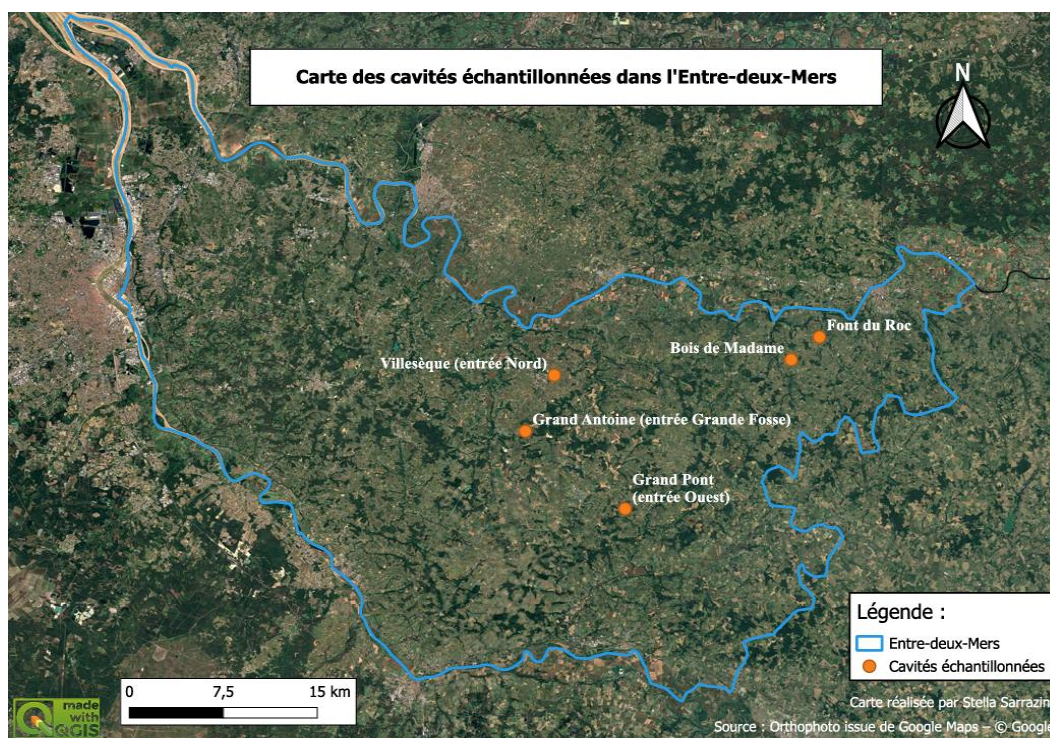


Figure 1 : Carte présentant la localisation des cavités échantillonnées

B- Protocole d'échantillonnage de la faune souterraine

L'entrée dans les réseaux souterrains s'est effectuée par les pertes, c'est-à-dire les zones d'infiltration de surface vers le milieu souterrain. Seule l'entrée dans la grotte de Font du Roc s'est effectuée par une résurgence, c'est-à-dire un point de sortie d'une rivière souterraine.

Le protocole d'échantillonnage mis en place repose sur un échantillonnage réalisé tous les 50 mètres le long d'un transect de 400 mètres depuis l'entrée. À chaque point d'échantillonnage, une zone d'environ 4 m³ est définie, comprenant le milieu aquatique ainsi que le milieu terrestre. La position des zones d'échantillonnage par rapport à l'entrée de la grotte est déterminée à l'aide d'un laser mètre (Vevor) et en se référant à la topographie de la grotte obtenue grâce au logiciel Karsteau. Pour chaque zone d'échantillonnage, les paramètres environnementaux (lumière, morphologie de la grotte, courant, profondeur d'eau, type de substrat) sont renseignés. De plus, une mesure des paramètres abiotiques (température ambiante en °C, humidité relative en %, et concentration en CO₂ en ppm) est effectuée à l'aide d'un détecteur de la qualité de l'air et d'un thermohygromètre.

La technique de la chasse à vue est utilisée en raison de sa facilité d'application. Elle consiste à rechercher toutes les espèces présentes dans le périmètre d'échantillonnage, avec prélèvement des individus non identifiables sur place. La recherche des individus a été effectuée par trois personnes, avec une durée de prospection fixée à dix minutes par point. Les individus repérés à l'œil nu sont prélevés à l'aide de pinces et de pinceaux, puis mis dans des tubes contenant de l'alcool à 70° afin d'éviter toute détérioration pouvant impacter leur identification. Un tamis à maille de 0,5 mm a été utilisé pour capturer les espèces aquatiques. Chaque flacon est annoté avec un code défini au préalable, inscrit au marqueur, indiquant le nom de la grotte échantillonnée, le point d'entrée, et le point d'échantillonnage. Ces annotations facilitent une meilleure organisation des échantillons. Cependant, aucun prélèvement n'a été réalisé sur les organismes vertébrés car certains peuvent appartenir à des espèces protégées. Ils ont donc été soit identifiés directement sur le site d'échantillonnage, soit photographiés à l'aide d'un smartphone en vue d'une identification ultérieure. Au total, 43 espèces ont été échantillonnées dans les 5 grottes (Annexe 1).

C- Analyse et traitement de données

Les échantillons ont été conservés à l'abri de la lumière, de la chaleur et de l'humidité afin d'être le mieux conservés possible pour l'identification. L'identification des échantillons a eu lieu au laboratoire dans les jours suivants. Pour cela, une loupe binoculaire (grossissement x40), des guides d'identification Delachaux ainsi que des clés de détermination issues de ressources bibliographiques et numériques ont été nécessaires afin de déterminer les espèces récoltées. Le niveau d'adaptation des espèces au milieu karstique ainsi que le régime alimentaire ont également été renseignés à l'aide de la bibliographie.

Les analyses statistiques ont été effectuées sur nos données à l'aide du logiciel R Studio (version 4.4.2). La significativité statistique (α) a été fixée à 5%. Elles ont été réalisées à l'aide de tests non paramétriques adaptés à la nature des données et à l'absence de normalité. Les corrélations entre variables quantitatives (richesse spécifique, distance, profondeur de l'eau, température, humidité, CO₂) ont été évaluées à l'aide du test de Spearman. Les comparaisons de richesse spécifique entre groupes (entrée/fond, types de courant (faible/stagnant)) ont été réalisées grâce au test de Wilcoxon-Mann-Whitney. Pour examiner l'association entre variables qualitatives telles que les régimes alimentaires, les types écologiques et la profondeur de l'eau (divisée en classes de profondeur), le

test de khi-deux d'indépendance a été utilisé, alors que pour le courant, le test exact de Fisher a été privilégié en raison d'effectifs inférieurs à 5. Un test de Kruskal-Wallis a été utilisé afin d'évaluer les différences de richesse spécifique entre les différentes classes de profondeur. Enfin, le test de Pettitt a permis de détecter des ruptures significatives dans les séries de données continues en fonction de la distance de l'entrée (package trend). L'ensemble des graphiques a été réalisé à l'aide du package ggplot2.

III- Résultats

A) Identification d'un gradient environnemental au sein des grottes

Une analyse de la variation de la richesse spécifique en fonction de la distance de l'entrée de la grotte a été réalisée afin de prouver la présence d'un potentiel gradient environnemental. Cette analyse permet de révéler une zone de transition marquant le passage des conditions instables de l'entrée vers un environnement plus stable en profondeur.

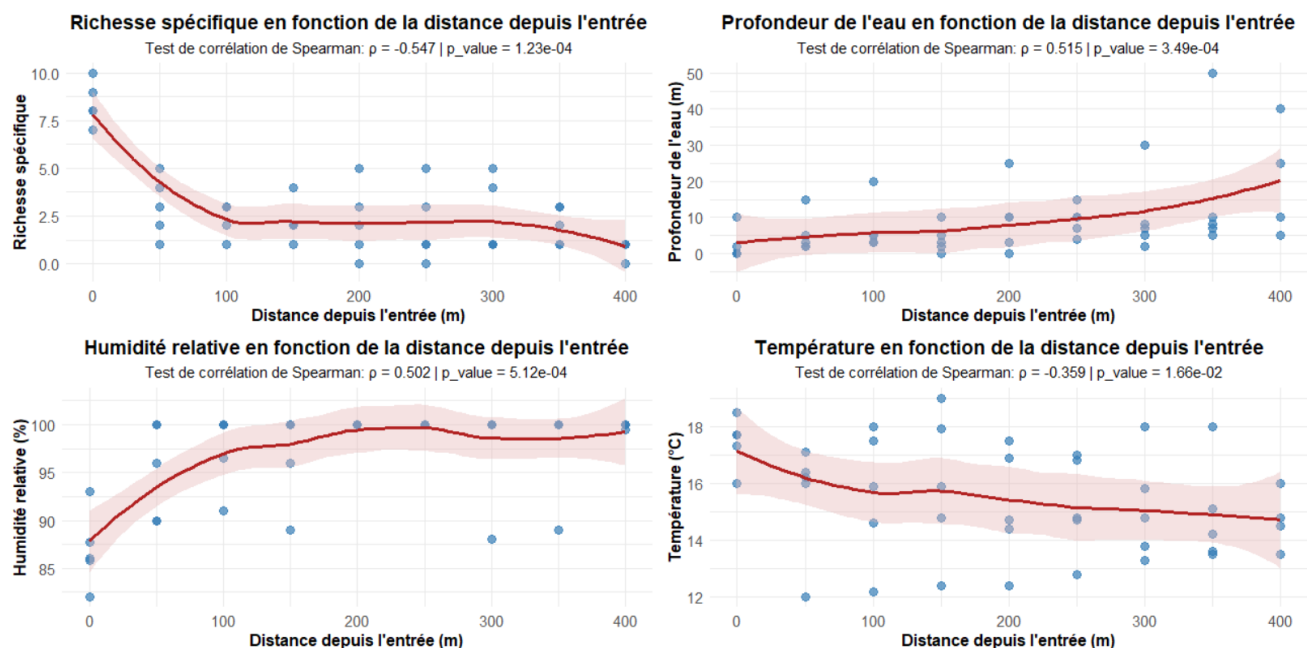


Figure 2 : Influence de la distance sur la richesse spécifique et sur les variables environnementales : profondeur de l'eau, l'humidité relative et la température. Courbe rouge : courbe de tendance. Zone rose pâle : intervalle de confiance à 95 %, représentant l'incertitude autour de la tendance.

Une corrélation significative négative entre la richesse spécifique et la distance depuis l'entrée a été révélée (test de Spearman, $\rho = -0,547$; $p < 0,001$), montrant une diminution de la richesse spécifique au fur et à mesure que la distance augmente (Figure 2).

Pour comprendre les facteurs influençant la variation de la richesse spécifique, l'effet de la distance de l'entrée a été testé sur plusieurs paramètres abiotiques mesurés, notamment la température de l'air, le taux de CO₂, l'humidité relative et la profondeur de l'eau. La lumière n'a pas été intégrée à l'analyse en raison de sa disparition progressive et rapide au sein des premiers mètres de la grotte. Seuls les résultats significatifs ont été représentés dans la Figure 2.

Les analyses statistiques, réalisées à partir du test de Spearman, ont révélé une corrélation significative positive entre l'humidité relative et la distance ($\rho = 0,502$; $p < 0,001$) ainsi qu'entre la profondeur de l'eau et la distance depuis l'entrée ($\rho = 0,515$; $p < 0,001$). Une corrélation significative négative a été trouvée entre la température et la distance depuis l'entrée ($\rho = -0,359$; $p = 0,016$). En revanche, aucune corrélation significative n'a été trouvée entre le taux de CO₂ et la distance ($p > 0,05$).

L'analyse graphique des corrélations entre la richesse spécifique et la distance de l'entrée semble montrer une rupture de pente à 100 mètres alors que pour les variables abiotiques telles que l'humidité et la température, elle se situe à 150 mètres (Figure 2). Cependant aucune rupture similaire n'est observée pour la profondeur de l'eau.

Le test de Pettitt appliqué aux relations entre la distance de l'entrée et trois variables (richesse spécifique, humidité relative, température) a mis en évidence des ruptures significatives pour la richesse spécifique à 100 mètres (Figure 3A) et pour l'humidité à 150 mètres (Figure 3B). En revanche, aucune rupture n'a été détectée pour la température ($K = 196$; $p = 0,142$), suggérant une relative stabilité thermique sur l'ensemble des grottes.

Figure 3A

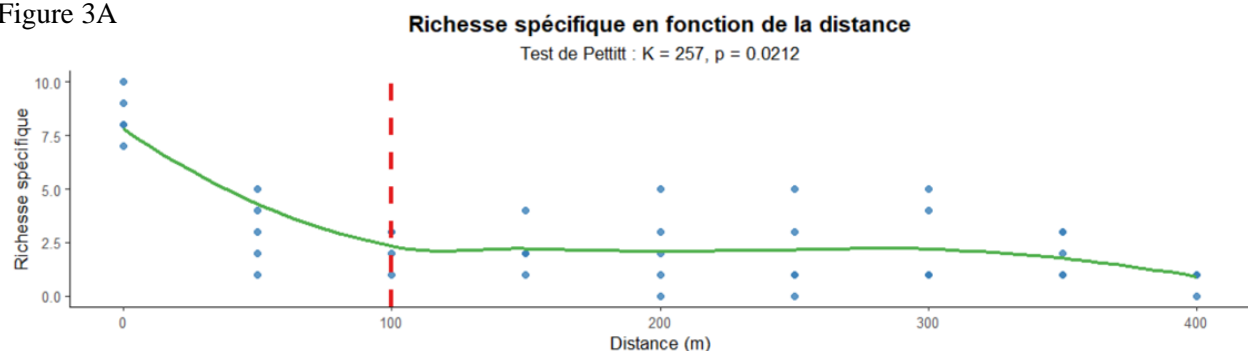


Figure 3B

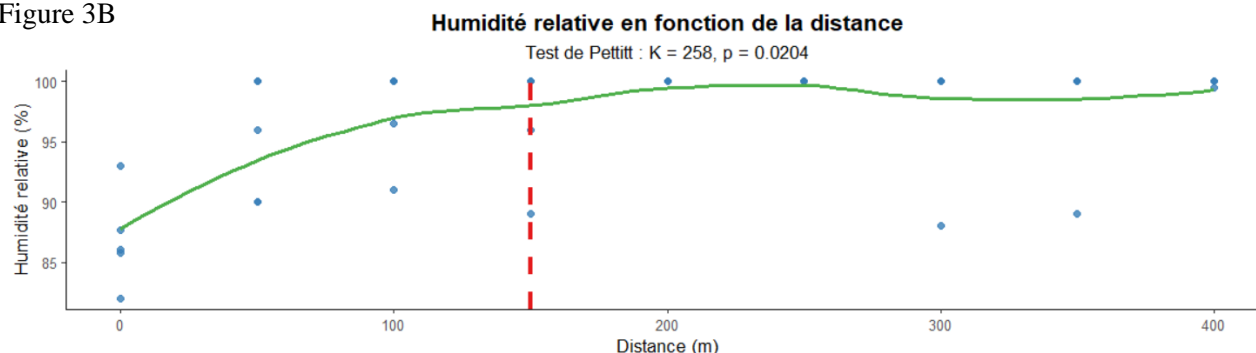


Figure 3A et 3B: Détection d'une rupture dans la variation de la richesse spécifique et de l'humidité en fonction de la distance de l'entrée (Test de Pettitt). Courbe verte : courbe de tendance. Ligne en pointillés rouges : rupture de pente.

B) Structuration des communautés le long du gradient entrée-fond

Dans le but de mieux comprendre la structuration des communautés au sein de la grotte, les variations des régimes alimentaires, des types écologiques (trogloxène, troglophile et troglobie) ainsi que de la richesse spécifique ont été analysées en fonction de la position, entre l'entrée (0 – 150 mètres) et le fond (150 – 400 mètres). Cette approche vise à mettre en évidence l'influence du gradient environnemental sur la composition et l'organisation des communautés.

Les analyses statistiques ont révélé des différences significatives en fonction de la position dans la grotte se traduisant par une variation de la richesse spécifique (test de Wilcoxon-Mann Whitney, $p = 0,0054$), de la composition des régimes alimentaires (test exact de Fisher, $p = 0,0005$) ainsi que de la distribution des types écologiques (trogloxènes, troglophiles et troglobies) ($p = 0,0028$). Ces résultats montrent une influence marquée du gradient environnemental sur la structuration écologique et trophique des espèces au sein des grottes.

C) Répartition écologique, trophique et des paramètres environnementaux après le gradient (entre 150 et 400 mètres)

Dans cette partie, l'analyse est limitée uniquement à la zone comprise entre 150 et 400 mètres afin de mieux isoler l'impact des paramètres abiotiques stables, en excluant les variations importantes propres à la zone d'entrée qui pourraient fausser l'interprétation des résultats. L'objectif est d'identifier les facteurs environnementaux susceptibles d'expliquer la potentielle structuration écologique dans la partie fond.

Les analyses par test de corrélation de Spearman n'ont pas révélé de corrélations significatives entre l'humidité, la température, le taux de CO₂, la richesse spécifique et la distance entre 150–400 mètres, montrant ainsi une certaine stabilité de ces paramètres. Le test exact de Fisher a également révélé l'absence de variation significative du régime alimentaire et du type écologique en fonction de la distance. En revanche, seule la profondeur de l'eau présente une corrélation positive significative avec la distance ($\rho = 0,394$, $p = 0,0339$), indiquant que la profondeur de l'eau augmente avec la distance après 150 mètres. Cette observation souligne l'importance des facteurs hydrologiques dans la dynamique écologique des grottes.

D) Influence de l'hydrologie sur la distribution écologique et trophique des espèces

L'analyse des paramètres hydrologiques, notamment la profondeur et le courant de l'eau (faible ou stagnant), a permis d'évaluer leur influence sur la richesse spécifique, les régimes alimentaires et les types écologiques au sein de la zone profonde de la grotte.

La richesse spécifique est significativement plus élevée dans les zones à faible courant comparées aux zones stagnantes (test de Wilcoxon-Mann-Whitney, $p = 0,025$). En revanche, aucune variation significative de la richesse spécifique n'a été détectée en fonction de la profondeur (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). De plus, les régimes alimentaires ainsi que les types écologiques ne varient pas significativement selon la profondeur (test du khi-deux d'indépendance, $p > 0,05$) ni selon le courant (test exact de Fisher, $p > 0,05$).

IV- Discussion

Le gradient environnemental des grottes met en évidence des conditions abiotiques contrastées entre l'entrée et le fond. Les entrées des grottes sont des zones de transition présentant des caractéristiques intermédiaires entre les environnements épigés (surface) et hypogés (souterrain). Les milieux de surface subissent les variations climatiques extérieures (Prous *et al.*, 2015), tandis que les milieux souterrains bénéficient de microclimats plus stables, marqués par une température constante basée sur les moyennes annuelles, une humidité relative élevée, une composition de l'air relativement stable et une obscurité totale (Poulson et White, 1969). Toutefois, cette stabilité n'apparaît qu'au-delà d'une zone appelée « écotone », définie comme une zone de transition environnementale abrupte le long d'un gradient où l'environnement passe rapidement d'un type à un autre en fonction de facteurs abiotiques et/ou biotiques, comme le décrivent Kark et van Rensburg

(2006). Bien que ces analyses portent uniquement sur cinq grottes de l'Entre-deux-Mers, elles permettent de dégager une tendance générale pour la région de l'Entre-deux-Mers, tout en laissant apparaître que chaque grotte puisse présenter des écotones différents (Prous *et al.*, 2015).

La richesse spécifique diminue de l'entrée jusqu'au fond, étant donné que la présence de lumière à l'entrée des grottes est un facteur majeur pour la présence et la distribution de nombreux organismes (Serena et Meluzzi, 1997 ; Pentecost et Zhaohui, 2001). La diversité globale des communautés des grottes est notoirement faible par rapport à celle observée dans les environnements épigés (Prous *et al.*, 2015). Elle peut être expliquée par une faible disponibilité des ressources alimentaires par l'absence de producteurs primaires et une homogénéité de l'habitat (Prous *et al.*, 2015). L'absence de lumière dans les zones profondes empêche toute production primaire par photosynthèse, rendant la faune souterraine dépendante des apports de matière organique provenant de l'environnement de surface (Schneider *et al.* 2011 ; Silva *et al.*, 2011 ; Smrž *et al.*, 2015 ; Venarsky et Huntsman, 2018).

Néanmoins, ces espèces ne se trouvent pas par hasard dans les environnements souterrains, elles occupent préférentiellement des zones où les conditions microclimatiques répondent à leurs exigences physiologiques et écologiques (Lunghi *et al.*, 2014). Ainsi, les types écologiques se répartissent progressivement le long de ce gradient, reflétant le degré de spéciation et d'adaptation des espèces cavernicoles. A l'entrée, la faune est surtout composée de troglonexes, des espèces accidentelles (Nyssen *et al.*, 2024) tandis qu'en profondeur se trouvent les troglobies et stygobies, strictement adaptés au milieu souterrain (Hubart et Dethier, 1999). Quant aux troglaphiles, ils colonisent les zones intermédiaires et parfois les zones d'entrée, bénéficiant de la stabilité du milieu tout en restant dépendants des apports de la surface (Bryson *et al.*, 2014). Il en est de même pour les régimes alimentaires qui varient selon la position dans la grotte. Plusieurs espèces de prédateurs (carnivores) et d'herbivores colonisent l'écotone grâce à la présence de lumière permettant la prédation visuelle et la présence d'organismes photosynthétiques (Prous *et al.*, 2015). Alors qu'en profondeur, la composition des régimes trophiques semble se simplifier, la proportion de détritivore (par exemple : *Gammarus sp.*) devient plus importante, indiquant une adaptation au milieu oligotrophe (Silva *et al.*, 2012 ; Mammola *et al.*, 2019).

L'hydrologie souterraine, en particulier la profondeur de l'eau et la dynamique du courant, constitue un facteur déterminant dans la structuration et la distribution des communautés

cavernicoles. Au-delà de 150 mètres, seule la profondeur de l'eau varie significativement, celle-ci pouvant être faussée par la diversité morphologique des grottes (Klanica *et al.*, 2020). Les résultats obtenus indiquent que la richesse spécifique ne varie pas en fonction de la profondeur de l'eau, contrairement à Brancelj *et al.* (2016) qui ont rapporté une diminution de la richesse spécifique avec l'augmentation de la profondeur de l'eau. Ce biais pourrait être expliqué par un échantillonnage limité, tant en termes du nombre de grottes étudiées que de la saison d'échantillonnage, cette dernière pouvant induire des variations saisonnières de la richesse spécifique. En effet, la stygofaune se concentrerait principalement dans les zones proches de la surface, où les ressources trophiques sont plus abondantes (Brancelj *et al.*, 2016). À l'inverse, la richesse spécifique augmente dans les zones où il y a du courant. Ce dernier permet le transport de nutriments dans les profondeurs des grottes. Les eaux courantes issues de la surface acheminent vers les grottes des éléments en suspension, des substances dissoutes et de la matière organique d'origine végétale et animale, provenant principalement de l'environnement épigé environnant, constituant ainsi une ressource alimentaire essentielle, notamment en période de crue (Nyssen *et al.*, 2024). Les déjections (guano) des chauves-souris peuvent constituer la base de toute une chaîne trophique (Nyssen *et al.*, 2024). De plus, les stalagmites, planchers et gours sont alimentés par l'eau de percolation s'infiltrant depuis la surface, amenant avec elle des microorganismes, des acides humiques et autres nutriments (Nyssen *et al.*, 2024).

V- Conclusion

Pour conclure, cette étude a permis d'approfondir la connaissance de la répartition de la faune cavernicole de l'Entre-deux-Mers, ainsi que d'évaluer l'influence des facteurs environnementaux et hydrologiques sur sa distribution. Elle a également contribué à l'enrichissement des inventaires faunistiques régionaux. Même si cette faune reste encore peu connue du grand public, elle joue un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes souterrains. La présence d'espèces protégées, comme la salamandre tachetée, souligne l'importance de ces milieux pour la conservation de la biodiversité locale. Les résultats ont montré la présence d'un gradient environnemental dans les grottes de Gironde influençant les paramètres abiotiques, la richesse spécifique, les régimes alimentaires et les types écologiques. La dynamique du courant et la faible profondeur de l'eau apparaissent comme des facteurs favorisant une plus grande abondance et diversité d'espèces.

Bibliographie

Audra, P. (2010). *Inventaire des cavités de l'Entre-deux-Mers* (106 p.). Auto-édition. Carros.

Brancelj, A., Žibrat, U., & Jamnik, B. (2016). Differences between groundwater fauna in shallow and in deep intergranular aquifers as an indication of different characteristics of habitats and hydraulic connections. *Journal of limnology*, 75(2).

Bryson, R. W., Prendini, L., Savary, W. E., & Pearman, P. B. (2014). Caves as microrefugia: Pleistocene phylogeography of the troglophilic North American scorpion *Pseudouroctonus reddelli*. *BMC evolutionary biology*, 14, 1-17.

De Broyer, C. Le fonctionnement de l'écosystème d'une grotte. La Commission Wallonne D'Etude et de Protection des Sites Souterrains. Disponible sur : <https://www.cwepss.org/fonctionnementEcosysteme.htm>. Last accessed 21 juin 2025.

Dierl, W., et Ring, W. (1992, 2009). Guide des insectes : La description, l'habitat, les mœurs. Delachaux et Niestlé.

Dubois, C., Lans, B., Kaufmann, O., Maire, R., & Quinif, Y. (2011). Karstification de type fantômes de roche en Entre-deux-Mers (Gironde, France): implications en karstogenèse et morphologie karstique. *Karstologia*, 57(1), 19-27.

Ferreira, D., Dole Olivier, M. J., Malard, F., Deharveng, L., Gibert, J., Bou, C., et al. (2003). Faune aquatique souterraine de France: base de données et éléments de biogéographie. *Karstologia*, 42(1), 15-22.

Hubart, J. M., et Dethier, M. (1999). La faune troglobie de Belgique: état actuel des connaissances et perspectives. *Bulletin de la Société royale belge d'Entomologie*, 135, 164-178.

Kark, S., et Van Rensburg, B. J. (2006). Ecotones: marginal or central areas of transition?. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 52(1), 29-53.

Klanica, R., Kadlec, J., Tábořík, P., Mrlina, J., Valenta, J., Kováčiková, S., et al. (2020). Hypogenic versus epigenic origin of deep underwater caves illustrated by the Hranice Abyss (Czech Republic) - The world's deepest freshwater cave. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 125(9), e2020JF005663.

Lunghi, E., Manenti, R., & Ficetola, G. F. (2014). Do cave features affect underground habitat exploitation by non-troglobite species?. *Acta Oecologica*, 55, 29-35.

Mammola, S., Piano, E., Cardoso, P., Vernon, P., Domínguez-Villar, D., Culver, D. C., et al. (2019). Climate change going deep: The effects of global climatic alterations on cave ecosystems. *The Anthropocene Review*, 6(1-2), 98-116.

Medellin, R. A., Wiederholt, R., & Lopez-Hoffman, L. (2017). Conservation relevance of bat caves for biodiversity and ecosystem services. *Biological conservation*, 211, 45-50.

Nyssen, P., Godeau, J.-F., Michel, G., Haesen, L., & Goffioul, N. (2024). Synthèses bibliographiques réalisées dans le cadre du développement d'une méthode de détermination de l'état de conservation de l'habitat Natura 2000 « 8310 – Cavités souterraines naturelles ».

Pentecost, A., et Zhaohui, Z. (2001). The distribution of plants in Scoska Cave, North Yorkshire, and their relationship to light intensity. *International Journal of Speleology*, 30(1), 27-37.

Perry, R. W. (2013). A review of factors affecting cave climates for hibernating bats in temperate North America. *Environmental Reviews*, 21(1), 28-39.

Poulson, T. L., et White, W. B. (1969). The Cave Environment: Limestone caves provide unique natural laboratories for studying biological and geological processes. *Science*, 165(3897), 971-981.

Prous, X., Ferreira, R. L., & Jacobi, C. M. (2015). The entrance as a complex ecotone in a Neotropical cave. *International Journal of Speleology*, 44(2), 177-189.

Schneider, K., Christman, M. C., & Fagan, W. F. (2011). The influence of resource subsidies on cave invertebrates: results from an ecosystem-level manipulation experiment. *Ecology*, 92(3), 765-776.

Serena, F., et Meluzzi, C. (1997). Species assemblages and light trend in the zoning of Tana di Casteltendine (Lucca-Italy) entrance. *Mémoires de biospéologie*, 24, 183-190.

Silva, M. S., Martins, R. P., & Ferreira, R. L. (2011). Trophic dynamics in a neotropical limestone cave. *Subterranean Biology*, 9, 127-138.

Silva, M. S., de Oliveira Bernardi, L. F., Martins, R. P., & Ferreira, R. L. (2012). Transport and consumption of organic detritus in a neotropical limestone cave. *Acta Carsologica*, 41(1).

Smrž, J., Kováč, L., Mikeš, J., Šustr, V., Lukešová, A., Tajovsky, K., et al. (2015). Food sources of selected terrestrial cave arthropods. *Subterranean Biology*, 16, 37-46.

Venarsky, M. P., et Huntsman, B. M. (2018). Food webs in caves. *Cave ecology*, 309-328.

Annexe 1: Liste des espèces trouvées dans les 5 grottes étudiées :
(NE : Non évaluée, LC : Préoccupation mineure, DD : Données insuffisantes)

| Ordre | Famille | Nom scientifique | Nom vernaculaire | Statut IUCN | Statut de protection | EEE |
|------------------|----------------|--|--------------------------|-------------|----------------------|-----|
| Amphipoda | Gammaridae | <i>Gammarus sp.</i> | - | - | - | - |
| | Niphargidae | <i>Niphargus sp.</i> | - | - | - | - |
| Araneae | Agelenidae | <i>Coelotes terrestris</i> (Wider, 1834) | Coelote terrestre | LC | Non protégée | - |
| | Linyphiidae | <i>Palliduphantes sp.</i> | - | - | - | - |
| | Linyphiidae | <i>Porrhomma rosenhaueri</i> (L. Koch, 1872) | - | LC | Non protégée | - |
| | Nesticidae | <i>Nesticus cellulanus</i> (Clerck, 1758) | Nestique alvéolé | LC | Non protégée | - |
| | Pholcidae | <i>Pholcus phalangioides</i> (Fuessly, 1775) | Pholque phalangiste | NE | Non protégée | - |
| | Tetragnathidae | <i>Metellina merianae</i> (Scopoli, 1763) | - | LC | Non protégée | - |
| | Tetragnathidae | <i>Pachygnatha clercki</i> Sundevall, 1823 | - | LC | Non protégée | - |
| | Tetragnathidae | <i>Tetragnatha nitens</i> (Audouin, 1826) | Tétragnathe des rivières | DD | Non protégée | - |
| Arhynchobdellida | Hirudinidae | <i>Hirudo sp.</i> | - | - | - | - |
| Calipodidae | Callipodidae | <i>Callipodidae sp.</i> | - | - | - | - |
| Coleoptera | Leiodidae | <i>Ptomaphagus sp.</i> | - | - | - | - |
| | Staphylinidae | sp. | Staphylin | - | - | - |

| | | | | | | |
|-----------------------|----------------|--|----------------------|----|--------------|---|
| | Staphylinidae | <i>Tasgius morsitans</i> (Rossi, 1790) | - | NE | Non protégée | - |
| Collembola | Isotomidae | <i>Isotoma riparia</i> (Nicolet, 1842) | - | NE | Non protégée | - |
| Diptera Brachycera | Agromyzidae | sp. | - | - | - | - |
| | Lauxaniidae | <i>Minettia</i> sp. | - | - | - | - |
| | Muscidae | <i>Helina</i> sp. | - | - | - | - |
| | - | sp. | - | - | - | - |
| Diptera Nematocera | Chironomidae | <i>Chironomus</i> sp. | Chironome | - | - | - |
| | Limoniidae | <i>Limonia nubeculosa</i> Meigen, 1804 | Limonie des cavernes | NE | Non protégée | - |
| | Phoridae | sp. 1 | - | - | - | - |
| | Phoridae | sp. 2 | - | - | - | - |
| | Bolitophilidae | <i>Bolitophila</i> sp. | - | - | - | - |
| | Mycetophilidae | sp. | - | - | - | - |
| Haplotaenidia | Lumbricidae | sp. | - | - | - | - |
| Hemiptera | Aphididae | <i>Eucallipterus tiliæ</i> (Linnaeus, 1758) | Puceron du tilleul | NE | Non protégée | - |
| | Veliidae | <i>Velia caprai</i> Tamanini, 1947 | - | NE | Non protégée | - |
| | Veliidae | <i>Velia</i> sp. | - | - | - | - |
| Isopoda | Oniscidae | <i>Oniscus asellus</i> Linnaeus, 1758 | Cloporte commun | NE | Non protégée | - |
| | Trichoniscidae | <i>Phymatoniscus tuberculatus</i> (Racovitza, 1907) | - | NE | Non protégée | - |
| | Trichoniscidae | <i>Haplophthalmus</i> sp. | - | - | - | - |
| Julida | Blaniulidae | <i>Blaniulus guttulatus</i> (Fabricius, 1798) | Blaniule mouchetée | NE | Non protégée | - |
| | Julidae | <i>Julus</i> sp. | - | - | - | - |

| | | | | | | |
|-----------------|----------------|---|------------------------|--|-----------------|---|
| Polydesmida | Polydesmidae | <i>Polydesmus sp.</i> | - | - | - | - |
| Stylommatophora | Agriolimacidae | <i>Deroceras sp.</i> | Limace | - | - | - |
| | Limacidae | <i>Limax maximus</i> Linnaeus, 1758 | Limace léopard | LC | Non protégée | - |
| | Oxychilidae | <i>Oxychilus cellarius</i> (O.F. Müller, 1774) | Luisant des caves | LC | Non protégée | - |
| Trichoptera | Limnephilidae | <i>Stenophylax permistus</i> McLachlan, 1895 | - | NE | Non protégée | - |
| | Limnephilidae | sp. | - | - | - | - |
| Urodela | Salamandridae | <i>Salamandra salamandra</i> (Linnaeus, 1758) | Salamandre tachetée | LC Espèce déterminante ZNIEFF | Protégée | - |

Résumé de l'étude

Le territoire de l'Entre-deux-Mers est une région karstique façonnée par de nombreuses grottes et réseaux souterrains. Ce territoire repose sur un karst sous couverture constitué de calcaires oligocènes, localement associés à du calcaire lacustre, et surmontés de formations meubles. Ce contexte géologique favorise le développement de cavités peu profondes, qui abritent un écosystème souterrain particulier. Les milieux souterrains présentent des conditions écologiques singulières, caractérisées par une obscurité totale, une grande stabilité des paramètres abiotiques (température, humidité, composition de l'air) et une faible disponibilité en nutriments. L'absence de lumière exclut toute photosynthèse, rendant ces milieux dépendants d'apports trophiques allochtones, tels que la matière organique transportée par l'eau, les dépôts issus de la surface ou les guanos de chauves-souris. Ces contraintes ont conduit à l'évolution d'une faune spécialisée présentant des adaptations morphologiques, physiologiques et comportementales (par exemple : *Porrhomma rosenhaueri*). Par ailleurs, l'écotone, zone de transition entre l'environnement extérieur et les milieux souterrains, constitue un espace clé où s'observe une plus grande diversité biologique et trophique. Cette zone intermédiaire permet des échanges de matière organique et d'espèces, offrant ainsi un gradient écologique entre les conditions variables de la surface et la stabilité des cavités profondes.