

SUIVI À LONG TERME DE LA FAUNE STYGOBIE DANS LE RUISSEAU SOUTERRAIN D'AMIEL (COMMUNE DE PENNE, TARN)

Claude Bou (1), François Lefebvre (2)

(1) ATEK ; la Fourestole, 81990 Cambon d'Albi ; bou.claude81@sfr.fr

(2) SEPANSO ; 4 rue de Polverel, 19100 Brive-la-Gaillarde ; francois.lefebvre@sepanso.org

Un suivi à long terme de la faune stygobie (i.e. aquatique souterraine) a été mené au sortir du réseau karstique d'Amiel dans les gorges de l'Aveyron, sur la commune de Penne (Tarn, 81). Nous en présentons ici les principaux résultats, dans l'objectif de documenter l'évolution des populations en place sur 6 années consécutives (1986-1991), pendant 4 mois en période d'étiage (juillet à octobre).

Il en ressort des tendances à la baisse pour la plupart des groupes taxonomiques suivis (crustacés des genres *Niphargus* et *Salentinella*, et mollusques des genres *Islamia* et *Moitessieria*), mais le pas de temps s'avère encore insuffisant pour passer sous les seuils de significativité statistique. Opportunément, le suivi a pu être repris sur les mêmes mois en 2015 ; il confirme pour tous les groupes une tendance à la baisse, certaines diminutions d'effectifs devenant statistiquement significatives (cas des mollusques *Islamia*).

Les causes possibles de cette érosion constatée de biodiversité sont alors présentées et commentées. Sans qu'il soit possible de conclure définitivement à ce stade, on semble ici s'orienter vers un problème hydraulique de quantité d'eau dans le réseau amont, en lien avec un possible surdimensionnement du système de pompage en place (captage AEP) et/ou le changement climatique (avec une tendance à l'assèchement sous nos latitudes) qui ne permettrait plus la recharge complète de l'aquifère.

Quoiqu'il en soit, ces suivis à long-terme et les données qui en résultent sont à la fois encore trop rares et très riches d'enseignements, et mériteraient d'être poursuivis. Par ailleurs, de tels sites qui sont désormais reconnus comme des hotspots de biodiversité, à haute valeur scientifique et patrimoniale car hébergeant parfois plusieurs stations-types d'espèces endémiques, mériteraient de bénéficier de mesures plus strictes de protection/réglementation.

MOTS-CLÉS : BIODIVERSITÉ, HOTSPOTS, INVENTAIRE, STYGOFAUNE

AVANT-PROPOS

Le présent article n'est pas le reflet exact de la présentation faite aux ANEK de Gramat (09/12/2023), où avait été abordées une multitude d'approches possibles (re-collectes aux stations historiques, ressentis d'experts, suivis temporels) pour appréhender la question d'une éventuelle perte de biodiversité de la faune stygobie. Nous avons délibérément choisi de ne présenter et publier en détail ici, qu'un jeu de données inédites, patiemment collectées par l'un d'entre nous, Claude Bou (biospéologue, ancien professeur de Sciences Naturelles, spécialiste de la faune aquatique souterraine). Les autres approches et résultats présentés aux ANEK seront partiellement repris dans un article de Lebreton et Lefebvre (dans ce volume).

INTRODUCTION

Le ruisseau souterrain d'Amiel débouche sur la commune de Penne (Tarn, 81), au sud-ouest du Massif central (Fig. 1, coordonnées DD : 44,08902° / 1,73252° ; Z = 115 m NGF). Après un parcours d'une soixantaine de mètres en surface (aujourd'hui canalisé en aqueduc passant sous une route), il se déverse dans la rivière Aveyron, en rive gauche, au niveau d'un petit hameau qui lui a donné son nom (Fig. 2 ; voir détails dans Bou, 1999, 2005). L'ensemble du réseau appartient au bassin versant du Tarn et donc ultimement de la Garonne. La région de Penne, extrémité méridionale des Causses du Quercy, correspond à la bordure orientale du Bassin aquitain où les formations sédimentaires viennent s'appuyer sur les contreforts du Massif central (Crastes de Paulet et Vigouroux, 2014).



Figure 1 : La commune de Penne et le ruisseau souterrain d'Amiel se situent à 30 km au nord-est de Montauban (82) et à 40 km au nord-ouest d'Albi (81), au cœur de l'Occitanie (en ex-région Midi-Pyrénées) (F. Lefebvre, Géoportail, 2024).

Le système karstique d'Amiel occupe les formations de Cajarc jusqu'à la zone noyée dans la formation d'Autoire (Dogger). Il repose sur les marnes du Lias qui constituent son plancher (Bou, 2005). Il est alimenté par un épi-karst constitué par des dolines et des avens, respectivement appelées localement « cloups » et « igues » (Crastes de Paulet et Vigouroux, 2014). Il draine la partie méridionale du Causse d'Anglars, en rive gauche des gorges de l'Aveyron, et son impluvium est estimé à 6 km² (Bou *et al.*, 2015).

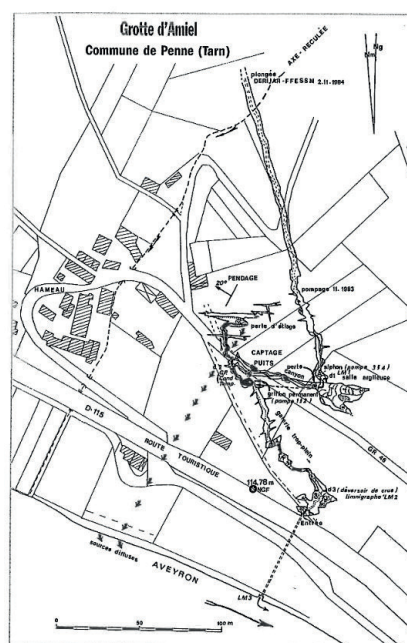


Figure 2 : Topographie du réseau d'Amiel, en relation avec le hameau du même nom, et la rivière Aveyron (in Bou, 1999).

Suite à la sécheresse de 1976, la commune de Penne a cherché à sécuriser son alimentation en eau potable (Bou, 1999). Trois captages ont été réalisés dont celui d'Amiel, au nord/amont de la commune (code BSS BSS002DFEX, anciennement 09314X0010 ; <http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=BSS002DFEX>).

Un puits de 24 m a été creusé dans les calcaires du Dogger pour donner accès à la partie basse du ruisseau souterrain et permettre un pompage en surface (Fig. 3 ; DD : 44.08992579° / 1.73175792° ; Z = 140 m NGF).

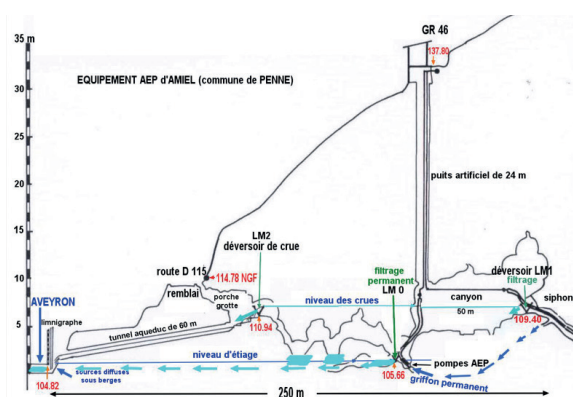


Figure 3: Coupe schématique du captage d'Amiel, avec positionnement des 3 déversoirs équipés de filets (LM0-LM1 accessibles par le puits en période de crue, et LM2 accessible depuis la route en période d'étiage) (retravaillé d'après Bou, 1999).

Le débit minimal en étiage sur le déversoir LM0 garantissait 800 m³ par jour (soit environ 10 l/s) pour un besoin estimé entre 100 et 200 m³ (Bou, 2005). La masse d'eau souterraine (FRFG037 intitulée « Calcaires du Jurassique moyen des Causses du Quercy dans le bassin versant de l'Aveyron ») sur laquelle se situe le captage correspond à des eaux carbonatées classiques (pH 7,1), conductivité électrique : 654 µS/cm ; HCO₃⁻ : 407 mg/l ; NO₃⁻ : 9,5 mg/l) (source ADES, in Crastes de Paulet et Vigouroux, 2014). Il est aujourd'hui la principale ressource d'eau potable de la commune.

Depuis l'été 2022, l'aménagement de la prise d'eau et du pompage d'exploitation ont été modifiés pour alimenter la commune voisine de Vaour.

1. MÉTHODOLOGIE DE SUIVI

Dès la mise en service du captage (1985), des filets à plancton (mailles ≤ à 100 microns) ont été installés au niveau des 3 déversoirs (LM0, et LM1, LM2 accessibles en fonction du niveau de mise en charge) de manière à filtrer en continu l'intégralité de la faune aquatique émergente (Fig. 4). Durant 7 années consécutives (de février 1986 à mars 1992), les filets ont été visités plusieurs fois par mois (en moyenne 4 à 5 fois, suivant la disponibilité de l'opérateur et les niveaux de crue). Leur contenu a été immédiatement fixé avec une faible quantité de formaldéhyde (7.5 %), amené en laboratoire, puis conservé dans de l'alcool à 70% (glycériné à 10 %). Les taxons ont été examinés sous loupe binoculaire (WILD M5), déterminés à l'espèce, et leurs effectifs respectifs comptabilisés.

Pour des raisons d'homogénéité, et afin de pouvoir effectuer des comparaisons inter-annuelles, seuls seront retenus et présentés ici les échantillonnages collectés avec la même fréquence de visite, au déversoir LM0, durant les premiers mois d'étiage (juillet, août, septembre et octobre), qui sont par ailleurs les mois de plus fortes abondances (observations préliminaires des années 1983 à 1985). La période de suivi retenue ici s'étend de 1986 à 1991, soit 6 années consécutives.



Figure 4: Photos in situ du dispositif de filtrage permanent au niveau du déversoir LM1 (à gauche), et du déversoir LM0 (à droite), d'après Bou et al., 2015..

Parallèlement, des capteurs ont enregistré, toutes les 2 heures, différents paramètres dont le niveau d'eau des 3 déversoirs et de la rivière

Aveyron, le débit d'infiltration, la température et la conductivité de l'eau (Bou, 2005).

Par la suite, ce suivi très chronophage s'est arrêté (pour des raisons de disponibilité - bien compréhensibles - de l'opérateur), mais l'échantillonnage a pu être opportunément repris en 2015 (soit 24 ans après), sur les mêmes 4 mois de début d'étiage (juillet-octobre).

2. RÉSULTATS DES SUIVIS

3.1. Composition faunistique

Les premières récoltes réalisées après la construction des seuils en 1983 révélèrent une diversité faunistique jusque-là insoupçonnée, encore inconnue dans le Quercy.

Grand taxon	Genre espèce	Auteur, date	Localité-type
Triclades (ordre)	<i>Dendrocoelum regnardi</i>	(de Beauchamp, 1919)	
Oligochètes (ss-classe)	<i>Rhyacodrilus subterraneus</i>	Hrabě, 1963	
Gastéropodes (classe)	<i>Moitessieria boetersi</i>	Girardi, 2015	Amiel
Gastéropodes (classe)	<i>Islamia moquiniana</i>	(Dupuy, 1851)	
Gastéropodes (classe)	<i>Bythinella sp.</i>	(Paladilhe, 1867)	
Amphipodes (ordre)	<i>Salentinella petiti</i>	Coineau, 1968	
Amphipodes (ordre)	<i>Salentinella gineti</i>	Balazuc, 1957	
Amphipodes (ordre)	<i>Salentinella lautieri</i>	in lit. Bou	Amiel
Amphipodes (ordre)	<i>Niphargus gineti</i>	Bou, 1965	
Amphipodes (ordre)	<i>Niphargus spachypus</i>	Schellenberg, 1933	
Amphipodes (ordre)	<i>Niphargus robustus</i>	Chevreaux, 1901	
Amphipodes (ordre)	<i>Karstogiella ruffoi</i>	in lit. Bou	Amiel
Amphipodes (ordre)	<i>Gammarus fossarum</i>	Koch in Panzer, 1835	
Ingolfiellides (ordre)	<i>Ingolfiella thibaudi</i>	Coineau, 1968	
Copépodes (classe)	<i>Elaphoidella boui</i>	Rouch, 1988	Amiel
Copépodes (classe)	<i>Ceuthonectes gallicus</i>	Chappuis, 1928	
Copépodes (classe)	<i>Attheyella crassa</i>	(Sars, 1863)	
Copépodes (classe)	<i>Maraenobiotus vedjovskyi</i>	Mrázek, 1893	
Copépodes (classe)	<i>Speocyclops gallicus</i>	Chappuis & Kiefer, 1952	
Copépodes (classe)	<i>Paracyclops fimbriatus</i>	(Fischer, 1853)	
Copépodes (classe)	<i>Megacyclops viridis</i>	(Jurine, 1820)	
Copépodes (classe)	<i>Cyclops strenuus</i>	Fischer, 1851	
Isopodes (ordre)	<i>Proasellus meridianus</i>	(Racovitza, 1919)	
Ostracodes (classe)	<i>Pseudocandona marmonieri</i>	Namiotko&Danielopol 2004	Amiel
Syncarides (sup ordre)	<i>Gallobathynella sp.</i>	in lit. Camacho	
Décapodes (ordre)	<i>Atyaephyra desmarestii</i>	(Millet, 1831)	

Tableau 1 : Inventaire complet des espèces aquatiques identifiées dans le ruisseau souterrain d'Amiel (d'après les expertises taxonomiques d'Apostol Apostolov, Alain Bertrand, Nicole Coineau, Dan Danielopol, Henry Girardi, Nicole Gourbauld, Gordan Karaman, Guy Magniez, Michel Lafont, Françoise Lescher-Moutoué, Yvan Pandourski et Raymond Rouch ; taxonomie révisée d'après TaxRef 2024, version 17). En gras, les 20 espèces stygobies, les 6 autres espèces sont stygoxènes (épigées). Par ailleurs, 14 de ces espèces ont été retenues déterminantes ZNIEFF régionales (Bou, 1997) et figurent dans la fiche descriptive du Causse d'Anglars (<https://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/730003020/tab/communes>).

L'inventaire faunistique complet réalisé sur toute la période de suivi a permis de mettre en évidence une faune aquatique d'une richesse réellement exceptionnelle (Juberthie, 1995 ; Bou, 2005). Au total, une vingtaine d'espèces stygobies ont été identifiées, dont 5 espèces nouvelles et dont 3 ne sont uniquement connues à ce jour que dans la station-type d'Amiel (cf. Tableau 1). L'une d'entre elles a été décrite par son découvreur (*Niphargus gineti* Bou, 1965), une autre lui a été dédiée (*Elaphoidella boui*).

3.2. Évolution de la stygofaune

Parmi les différents taxons identifiés, 4 genres stygobies sont systématiquement retrouvés dans tous les échantillons (abondances non-stochastiques). Il s'agit des crustacés amphipodes des genres *Niphargus* (sans distinction possible, en routine, entre les 3 espèces inventoriées) et *Salentinella* (sans distinction possible, en routine, entre les 3 espèces inventoriées), et des mollusques gastéropodes des genres *Islamia* (*I. moquiniana*) et *Moitessieria* (*M. boetersi*) (planche illustrative en Fig. 5). Pour plus de lisibilité, seuls les effectifs de ces 4 genres seront présentés ici (cf. Tableau 2 ; les données pour les autres taxons sont partiellement disponibles dans les rapports Bou, 2005 et Bou *et al.*, 2015, ou auprès des auteurs).

Nota bene → Dans le tableau : *Salentinella lautieri* est à remplacer par *Salentinella sp. nov.* et *Karstogiella ruffoi* est à remplacer par *Karstogiella sp. nov.*



Figure 5: Planche illustrant les 4 grands taxons suivis à Amiel : crustacés amphipodes *Niphargus* spp. (cliché C. Bou) et *Salentinella* spp. (cliché C. Bou), mollusques gastéropodes *Islamia* spp. (cliché O. Caro) et *Moitessieria* spp. (cliché V. Prié).

Mois-Année	Crustacés amphipodes		Mollusques gastéropodes	
	<i>Niphargus</i>	<i>Salentinella</i>	<i>Islamia</i>	<i>Moitessieria</i>
juil-86	353	65	13	13
août-86	295	90	98	33
sept-86	313	136	65	45
oct-86	405	52	958	262
1986	1366	343	1134	353
juil-87	50	103	227	193
août-87	67	71	1205	575
sept-87	70	91	231	185
oct-87	88	76	487	279
1987	275	341	2150	1232
juil-88	123	160	818	508
août-88	114	104	385	254
sept-88	204	84	162	140
oct-88	226	175	143	58
1988	667	523	1508	960
juil-89	192	226	185	68
août-89	200	149	125	80
sept-89	233	87	155	80
oct-89	169	36	135	115
1989	794	498	600	343
juil-90	82	141	455	195
août-90	118	71	210	155
sept-90	125	62	92	57
oct-90	186	37	145	130
1990	511	311	902	537
juil-91	95	103	107	85
août-91	63	71	51	51
sept-91	94	96	22	39
oct-91	114	83	103	124
1991	366	353	283	299
juil-2015	25	2	8	11
août-2015	38	4	45	175
sept-2015	45	3	3	1
oct-2015	55	0	5	3
2015	163	9	61	190

Tableau 2 : Effectifs des captures, pour les 4 mois de période d'été, sur 6 années consécutives de 1986 à 1991, et 24 ans après en 2015, pour les 4 grands taxons régulièrement collectés dans le ruisseau souterrain d'Amiel (données inédites C. Bou).

Graphiquement (Fig. 6), on observe une tendance à la diminution globale des effectifs de capture de 1986 à 1991, sans qu'il soit possible de conclure statistiquement pour aucun de ces groupes (corrélations R_s de Spearman entre les effectifs annuels et les années : $R_s = -0.37$, $p = 0.50$ pour les *Niphargus* ; $R_s = +0.03$, $p = 1.00$ pour les *Salentinella* ; $R_s = -0.77$, $p = 0.10$ pour les *Islamia* ; $R_s = -0.54$, $p = 0.30$ pour les *Moitessieria*), ni même pour tous ces groupes confondus ($R_s = -0.77$, $p = 0.10$).

À noter ici que les tests statistiques employés, les coefficients de corrélation de rangs de Spearman, sont à la fois très polyvalents dans leurs conditions d'utilisation, mais également très conservateurs ; en conséquence, ils sont assez peu sensibles à des

tendances, mais à l'inverse quand des corrélations sont statistiquement révélées, elles sont très robustes.

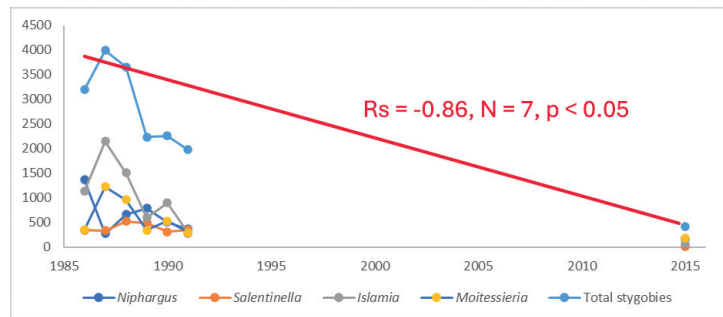


Figure 6: Évolution des effectifs de capture, pour les 4 mois de période d'étiage, sur 6 années consécutives de 1986 à 1991, et 24 ans après en 2015, pour les 4 grands taxons régulièrement collectés dans le ruisseau souterrain d'Amiel (F. Lefebvre, Excel, 2024).

L'échantillonnage supplémentaire de 2015, bien que ponctuel et décalé dans le temps (+24 ans), permet de confirmer les tendances globale à la baisse, et ce faisant de faire passer certains groupes sous les seuils de significativité statistique (corrélations R de Spearman entre les effectifs annuels et les années : $R_s = -0.61$, $p = 0.17$ pour les *Niphargus* ; $R_s = -0.36$, $p = 0.44$ pour les *Salentinella* ; $R_s = -0.86$, $p = 0.02$ pour les *Islamia* ; $R_s = -0.71$, $p = 0.09$ pour les *Moitessieria*), et pour tous les groupes confondus ($R_s = -0.86$, $p = 0.02$).

4. DISCUSSION

Seuls des suivis au long cours peuvent permettre de révéler des tendances dans les effectifs de population en place, et d'en dégager des résultats significatifs. Dans le cas du captage d'Amiel, il aura fallu 7 années de suivi (sur une période de presque 30 ans) pour pouvoir conclure à une baisse d'abondance dans les populations stygobies. C'est un travail considérable qui ne rentre pas dans les standards de travaux académiques (hors champ d'une thèse par exemple, désormais normée à 3 ans maximum d'acquisition de données). Cela ne peut normalement prendre place que dans le cadre d'un programme de suivi mené par une structure de recherche, avec de l'expertise en interne et du temps de technicien pour le suivi des collectes et l'identification taxonomique en laboratoire. Or ces travaux ne sont plus valorisés « scientifiquement » en termes de publications. Néanmoins des données existent,

et il est important qu'elles soient publiées et/ou poursuivies comme c'est le cas ici.

Dans le cas précis d'Amiel, des données ponctuelles subséquentes post 2020 (observations inédites de C. Bou) ne font que confirmer les tendances à la négative, et on peut aujourd'hui raisonnablement parler d'« érosion de biodiversité » et d'effondrement des populations en place (toutes espèces confondues, y compris pour les espèces épigées ou stygophiles comme les gammarès). Alors comment l'expliquer ? Nous allons ci-après passer en revue les différentes hypothèses possibles, et essayer d'ébaucher des explications.

1. Impact des prélèvements : quasi-nul, car les captures sont effectuées sur les déversoirs des trop-pleins évacuateurs, ne retenant que des animaux qui allaient quitter le système par dérive passive (se retrouvant dans l'aqueduc souterrain) et éventuellement, pour certaines espèces, entamer une seconde vie dans le cours libre la rivière Aveyron ou son sous-écoulement.
2. Compétition inter-spécifique : pas d'espèces invasives observées au niveau du suivi faunistique (même si la caridine est non-native, elle ne peut être considérée comme invasive, car en effectifs faibles, et surtout elle est végétarienne/détritivore). Par ailleurs, les effectifs en gammarès (amphipodes opportunistes pouvant entrer en compétition directe ou par interférence avec les stygobies) sont eux aussi en

régression sur la période suivie. À noter que la présence d'espèces de surface (gammare, daphnies, caridine) traduit une connexion temporaire avec un cours d'eau de surface ou de petits aquifères épikarstiques comme la source du Figuier de Janoye.

3. Baisse qualitative des eaux : pas impossible, mais aucun polluant (parmi ceux recherchés) n'a été décelé dans les analyses effectuées en routine sur ce site de captage AEP (4 prélèvements annuels assurés par l'Agence Régionale de Santé). Et les mesures effectuées en parallèle par le collecteur (température, conductivité, etc.) ne montrent aucune tendance ni perturbation particulières, si ce n'est des pointes de turbidité en périodes de crues. Par ailleurs, le périmètre de protection du captage, qui a été défini pour correspondre à l'impluvium de l'aquifère, reste encore relativement préservé (ZNIEFF 1 du Causse d'Anglars et site Natura 2000 de la Forêt de Grésigne). Il est occupé des parcelles de chasses privées souvent clôturées, et une zone boisée à pâturage extensif à ovins, partiellement acquis et géré par le Conservatoire des Espaces Naturels, et les acteurs/habitants du plateau ont été bien sensibilisés à la nécessaire protection de leur patrimoine et ressources (Bou, 2005 ; Bou *et al.*, 2015).
4. Baisse quantitative des eaux : le suivi en parallèle des niveaux d'eau aux 3 déversoirs n'a pas révélé de baisse apparente pendant la période de suivi. Cependant, ces deux dernières années (2022-2023), le débit d'étiage a été exceptionnellement faible, le pompage interrompant le déversement de LM0 pendant la phase de fonctionnement des pompes. La mise en service récente du réseau alimentant le village voisin de Vaour laisse craindre les effets d'un surdimensionnement du dispositif de pompage (1200 m³/jour).

CONCLUSION

Parmi les causes possibles à ces baisses d'effectifs constatées pendant la période 1986 - 2015, il reste la possibilité d'un assèchement progressif et partiel du réseau amont, avec modification de conditions hydrauliques et biologiques. Il est noté une instabilité des circuits d'écoulement dans la zone des drains amphibies au voisinage du niveau de base constitué par celui de la rivière Aveyron. Lors de prospections subaquatiques, les plongeurs n'ont pas excédé des profondeurs de l'ordre de 10 m jusqu'à 600 m en amont de LM0.

C'est à peu de choses près les mêmes conditions et les mêmes conclusions qui ressortent d'un autre suivi au long cours mené à Cent Fonts dans les gorges de l'Hérault en Ardèche, un des « hauts-lieux » reconnus de la biodiversité stygobie française et européenne (Juberthie, 1995 ; Prié *et al.*, 2024). Les auteurs notent également la disparition, ou du moins les non-recollections, de plusieurs espèces sur ce site. Similairement, ils ne relèvent pas de menaces particulières dans l'environnement immédiat (zone préservée et peu peuplée), mais suspectent un effet des conditions hydrauliques récentes, sous-tendues par des sécheresses chroniques locales, liées au changement climatique global. En tout état de cause, ces hauts-lieux de biodiversité stygobie française et même mondiale, hébergeant parfois plusieurs stations-types d'espèces endémiques, mériteraient d'être suivies sur le long terme, et de bénéficier de mesures de protection/réglementation plus strictes.

REMERCIEMENTS

Le projet de captage et sa réalisation furent récompensés en 1982 par le Prix Martel, décerné par la Fédération Française de Spéléologie (FFS), encouragements qui devaient associer tous les participants bénévoles de cette opération : spéléologues d'Albi, Carmaux et Brassac dans le cadre des activités du Comité spéléologique du Tarn. L'aide financière de la FFS et du Conseil Général du Tarn fut affectée au matériel

scientifique d'acquisition informatique de données, avec l'intervention des étudiants en BTS d'informatique industrielle du Lycée Technique Rascol d'Albi (sous la conduite d'André Sergent et de Guy Estadiou, respectivement électronicien-spéléologue et professeur). Les équipements de sécurité d'accès et la confection des grands filets à plancton dont la soie avait été offerte par un propriétaire voisin du site, M. Gibelin (entrepreneur en filtres industriels maritimes à Anvers) ont été adaptés et montés par les élèves du Collège Balzac d'Albi dans le cadre d'un Projet d'Action Éducative (découverte du monde souterrain).

Les visites du chantier et les précieux conseils des hydrogéologues Bernard Geze, Alain Mangin, Michel Bakalowicz, Dominique d'Hulst et Christian Jubertie, du laboratoire souterrain du CNRS, permirent de définir l'intérêt de ce site hydrogéologique karstique des Causses du Quercy, et surtout de valider ses conditions d'exploitation avant la mise en place administrative plus récente des procédures de périmètres de protection. Cette dernière fut assurée par Marion Rigaud et l'équipe du bureau d'études environnement ETEN qui délimita le bassin d'alimentation actuel du système.

Toute notre reconnaissance va aux amis spéléologues, anciens professeurs et élus locaux : Jean Lautier, Maurice Boyer et la Mairie de Penne, initiateurs du projet ; André Alousque, Jacques Durand, Thierry Carcenac, Conseillers généraux et Sénateurs du Tarn, et surtout aux fidèles assistants accrochés au site et à ses problèmes pendant plus de 40 ans : André Tarrisse et Thierry Barthas.

Nous remercions enfin Joël Roy et le comité d'organisation des ANEK 2023 pour nous avoir donné l'opportunité d'exposer et de publier ces données inédites. Cette publication a en outre bénéficié de la relecture de Bernard Lebreton (biospéologue, FFS), Thierry Alezine (hydrogéologue, SEPANSO), et Vincent Prié (malacologue).

BIBLIOGRAPHIE

- BOU C.**, 1997. *Crustacés des eaux souterraines continentales fluviales et littorales de Languedoc-Roussillon : espèces déterminantes dans le cadre de la modernisation des ZNIEFF*. Rapport ATEK, 18 p.
- BOU C.**, 1999. L'utilisation des réserves hydrauliques karstiques : l'exemple de la commune de Penne de Tarn. *Karstologia*, 33 (1) : 13–24 (https://www.persee.fr/doc/karst_0751-7688_1999_num_33_1_2433).
- BOU C.**, 2005. Bilan d'une expérience de 20 ans d'exploitation des réserves karstiques en eau potable publique, pour la commune de Penne de Tarn (Tarn). *Spelunca Mémoires*, 29 : 47–54 (https://asn.fr/pdf/ExperiencePenne_Bou.pdf).
- BOU C., DEJEAN S., DANFLOUS S. & NÉRI F.**, 2015. *Inventaires naturalistes des grottes d'Amiel et la Madeleine (Penne 81) et recommandations vis à vis des captages d'eaux potables en place dans ces grottes*. Rapport d'étude CEN Midi-Pyrénées, 28 p.
- CRASTES** de Paulet F. et **VIGOUROUX P.**, 2014. Projet PRESCRIRE. Préserver et protéger les ressources en eau souterraine. Le site de Penne (81). *Rapport final BRGM/RP-63751-FR*, 52 p. + Annexes (<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-63751-FR.pdf>).
- ETEN** Environnement, 2011. *Mise en place des périmètres de protection des captages de la Madeleine et Amiel*. Étude technique complémentaire à la consultation de l'hydrogéologue agréé : multitraçage hydrologique.
- JUBERTIE C.**, 1995. *Les habitats souterrains et leur protection*. Conseil de l'Europe, Strasbourg, France, 100 p.
- PRIÉ V., ALONSO C., BOU C., GALASSI D. M. P., MARMONIER P. & DOLE-OLIVIER, M.-J.**, 2024. The Cent Fonts aquifer: an overlooked subterranean biodiversity hotspot in a stygobiont-rich region. *Diversity*, 16(1): 50 (<https://doi.org/10.3390/d16010050>).