

République Algérienne démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABOUBAKR BELKAID – TLEMCCEN

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département d'Ecologie et Environnement

Laboratoire de recherche

Laboratoire d'Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels

THESE

Présenté par

MAHI Abdelhakim

En vue de l'obtention du

Diplôme de Doctorat

En **Ecologie animale**

Thème

**Ecologie et Biodiversité des eaux souterraines
dans le Nord-Ouest algérien**

Soutenu le 21/03/2018, devant le jury composé de :

Présidente	Mme BELAIDI Nouria	Professeur	Université de Tlemcen
Directrice de thèse	Melle TALEB Amina	Professeur	Université de Tlemcen
Examineurs	Mr ARAB Abdesslem	Professeur	USTHB – Alger
	Mr SAMRAOUI Boudjemaa	Professeur	Université de Guelma
	Melle Di LORENZO Tiziana	DR (CNR)	Institut d'Etude des Ecosystèmes – Italie
	Mr BENDIMERAD Med El Amine	M.C.A	Université de Tlemcen

Année universitaire 2017 - 2018

A ma très chère épouse

A mon fils, Fares

Remerciements

Ce travail de recherche a été réalisé au sein de l'équipe de recherche d'Hydrobiologie au laboratoire de recherche, laboratoire d'Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels du Département d'Ecologie, de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers à l'Université Abou bekr Belkaïd de Tlemcen. La finalisation de ce travail a été réalisée à l'Institut d'étude des écosystèmes de Florence - Italie (Conseil National de Recherche – CNR), avec le financement du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique pendant un séjour scientifique de 11 mois en Italie dans le cadre du programme nationale exceptionnel (P.N.E).

A l'issue de la rédaction de cet ouvrage, nous sommes convaincus que la thèse est loin d'être un travail solitaire. En effet, nous n'aurions jamais pu réaliser ce travail doctoral sans le soutien d'un grand nombre de personnes dont la générosité, la bonne humeur et l'intérêt manifestés à l'égard de la progression de notre recherche dans cette étape.

En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur de thèse, Melle TALEB Amina, Professeur au Département d'Ecologie et Environnement à l'Université de Tlemcen, pour la confiance qu'elle m'a accordée en acceptant d'encadrer ce travail doctoral, pour ses multiples conseils et pour toutes les heures qu'elle a consacrées à diriger cette recherche. J'aimerais également lui dire à quel point j'ai apprécié sa grande disponibilité et son respect sans faille des délais serrés de relecture des documents que je lui ai adressés. Enfin, j'ai été extrêmement sensible à ses qualités humaines d'écoute et de compréhension tout au long de ce travail doctoral.

Nous remercions, Mme BELAIDI Nouria, Professeur au Département d'Ecologie et Environnement à l'Université de Tlemcen, pour avoir suivi l'évolution de ce travail et avoir contribué à son amélioration par ses précieux conseils et d'avoir accepté de présider ce jury, nous lui en sommes très reconnaissant.

Nous tenons à remercier Melle Di LORENZO Tiziana (chercheur permanent à l'Institut d'étude des écosystèmes de Florence) de m'avoir bien m'accueilli et m'avoir aidé dans son laboratoire de recherche, ainsi que pour sa gentillesse, sa patience et ses précieux conseils. Qu'elle y trouve l'expression de mes vifs remerciements.

Nous voudrions également assurer notre profonde gratitude à Mr Giuseppe Messina, ex-directeur de l'Institut d'étude des écosystèmes de Florence (Italie), et chercheur associé qui m'a accueilli et soutenu, tout en m'assurant sa confiance dans la réalisation de la partie taxonomique.

Que :

- Monsieur ARAB Abdesslem, Professeur à l'université USTHB – Alger ;
- Monsieur SAMRAOUI Boudjema, Professeur à l'université de Guelma ;
- Monsieur BENDIMERAD Mohammed El Amine, Maître de conférences à l'université de Tlemcen,

Trouve ici l'expression de mes vifs remerciements pour avoir accepté d'examiner ce travail et de participer à mon jury.

Je tiens à exprimer tout particulièrement ma reconnaissance à :

Monsieur MESSOULI Mohamed, Professeur et Directeur de laboratoire de recherche Laboratoire d'Hydrobiologie, Écologie et Assainissement, Faculté des Sciences Semlalia, Université Kadi Ayyad de Marrakech (Maroc), pour m'avoir accueillie très chaleureusement au sein de son laboratoire de recherche à l'occasion de mon stage de courte durée, ainsi que pour la confiance et l'intérêt qu'il a manifesté, vis-à-vis de ce travail doctoral.

Monsieur BOULANOUAR Mohammed Professeur à l'école normale supérieure de Marrakech (Maroc) qui par sa disponibilité, son encouragement, ces qualités humaines, m'a fait bénéficier de ces aides, ces conseils et ces remarques.

Monsieur YACOUBI-KHEBIZA Mohamed Professeur à la Faculté des Sciences Semlalia, Université Kadi Ayyad de Marrakech (Maroc), qui s'est toujours porté volontaire pour me fournir l'aide demandée.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

Nous avons étudié les contributions relatives de l'hydrochimie et des variables environnementales dans la détermination de la composition et la distribution des invertébrés des eaux souterraines dans sept aquifères libres appartenant à plusieurs formations géologiques et deux complexes hydrogéologiques (continental et littoral), dans la partie Nord-Ouest de l'Algérie. Nous avons essayé d'évaluer si les modèles actuels de la biodiversité des taxons d'eau souterraine étaient en mesure de refléter la différence dans les types d'aquifères, les conditions hydrogéologiques et l'hydrochimie. Soixante-trois puits ont été étudiés entre août 2010 et juin 2013. Au total, 41297 spécimens appartenants à 51 taxons, dont 10 sont des crustacés, ont été collectés durant la période d'étude. Les deux complexes aquifères montrent des assemblages fauniques et une hydrochimie significativement différents. L'abondance des taxons variait également de manière significative entre les aquifères : à Isser, nous avons récolté 47,4% du nombre total de taxons, suivi par Ghazaouet (15,5%), EXUT (12.3%), Mouillah (11.2%), Tafna (8.7%), Sikkak (3.8%) et Ain Temouchent (1.0%). Sikkak est dominé par les Cyclopidae (44%), EXUT et Isser par Ostracoda (respectivement 47% et 55%), Ghazaouet et Tafna par *Typhlocirolana* (respectivement 45% et 80%), Ain Temouchent et Mouillah par Culicidae (respectivement 15% et 93%). L'aquifère alluvial Isser, appartenant au complexe continental, a montré une abondance modérée de la faune totale bien que 97% des *Typhlocirolana* stygobitiques (Cirolanidae) ont été recueillis. L'aquifère de Sikkak, qui est principalement caractérisé par le calcaire, a montré l'abondance totale la plus élevée (47%) avec une prédominance des crustacés (56%). Le complexe littoral, caractérisé par des alluvions quaternaires, présente les plus faibles abondances (1%) avec des crustacés représentant 8% de la faune totale. La distribution de la faune aquatique souterraine dans l'ensemble de la zone d'étude a été affectée principalement par la distance par rapport aux oueds, la période géologique et la conductivité électrique. Globalement, les assemblages ont montré une distribution spatiale reflétant dans une certaine mesure les conditions hydrogéologiques et hydrochimiques. D'après nos résultats, nous suggérons que l'habitat des eaux souterraines, et les crustacés en particulier, pourraient jouer un rôle clé dans la distinction des typologies des aquifères étudiés dans le Nord de l'Algérie. Notre étude contribue à accroître les connaissances sur la biodiversité actuelle des eaux souterraines dans le Nord-Ouest de l'Algérie, démontrant ainsi qu'elle est encore loin d'être complète.

Mots clés : faune aquatique souterraine, bioindicateurs, types d'aquifères, hydrogéochimie, Algérie.

Abstract

We studied the relative contributions of hydrochemistry and environmental variables, in determining the composition and distribution of groundwater invertebrates in seven unconfined aquifers belonging to several geological formations and two hydrogeological complex (continental and littoral), in the northwestern part of Algeria. We aimed at assessing whether the current biodiversity patterns of groundwater taxa was able to reflect the difference in the aquifer types, hydrogeological conditions and hydrochemistry. Sixty-three wells were investigated between August 2010 and June 2013. In total, 41297 specimens belonging to 51 taxa, 10 of which of crustaceans, were collected during the whole survey. The two aquifers complex showed faunal assemblages and hydrochemistry significantly different. The taxa abundances varied also significantly among the aquifers: in Isser we collected 47.4% of the total number of taxa, followed by Ghazaouet (15.5%), EXUT (12.3%), Mouillah (11.2%), Tafna (8.7%), Sikkak (3.8%) and Ain Temouchent (1.0%). Sikkak was dominated by Cyclopidae (44%), EXUT and Isser by Ostracoda (47% and 55%, respectively), Ghazaouet and Tafna by *Typhlocirolana* (45% and 80%, respectively), Ain Temouchent and Mouillah by Culicidae (15% and 93%, respectively). The alluvial aquifer Isser, belonging with the continental complex, showed a moderate abundance of the total fauna albeit 97% of the stygobitic *Typhlocirolana* (Cirolanidae) was collected in there. The Sikkak aquifer, that is mainly characterized by limestone, showed the highest total abundance (47%) with a dominance of crustaceans (56%). The littoral complex, characterised by quaternary alluvials, showed the lowest abundances (1%) with crustaceans representing 8% of the total fauna. The distribution of the groundwater fauna in the whole study area was affected primarily by the distance to the wadies, the geological period and electrical conductivity.

Overall, the assemblages showed a spatial distribution mirroring to some degree the hydrogeological and hydrochemical conditions. Our findings suggest that the groundwater biota, and crustaceans in particular, may play a key role in disentangling the typologies of the investigated aquifers in the northern Algeria. Our study contributed to increase the knowledge of the actual groundwater biodiversity in the North West of Algeria, demonstrating that it is still far from being complete.

Key words: Groundwater fauna, Bioindicators, Aquifers types, Hydrogeochemistry, Algeria.

ملخص

درنا المساهمات النسبية للهيدروكيمياة والمتغيرات البيئية في تحديد تكوين وتوزيع اللاقاريات في المياه الجوفية في سبعة أحواض المياه الجوفية الحرة تنتمي إلى عدة تشكيلات جيولوجية ومجمعين هيدروجيولوجيين (القارية والساحلية)، في الجزء الشمالي الغربي من الجزائر. حاولنا تقييم ما إذا كانت النماذج الحالية للتنوع البيولوجي في المياه الجوفية كانت قادرة على عكس الفرق في أنواع هذه المياه، الظروف الهيدروجيولوجية والهيدروكيمياة. تمت دراسة 63 بئرا بين أوت 2010 وجوان 2013. في المجموع، 41297 فردا تنتمي إلى 51 صنف، منها 10 قشريات، تم جمعها خلال فترة الدراسة. ويظهر كل من مجتمعات المياه الجوفية تجمعات حيوانية مختلفة وهيدروكيميائية. وتفاوتت وفرة الأصناف بين خزانات المياه الجوفية بشكل ملحوظ: في يسر، تم الحصول على 47.4% من إجمالي عدد الأصناف، متبوع بالغزوات (15.5%)، المخرج البحري (12.3%)، مويلح (11.2%)، تافنة (8.7%)، سكاك (3.8%) وعين تموشنت (1.0%). ويهيمن سيكوبليداي في سكاك (44%)، القشريات الصدفية في المخرج البحري ويسر (47% و 55% على التوالي)، متساوية الأرجل (*Typhlocirolana*) (على التوالي 45% و 80%)، البعوضيات في عين تموشنت ومويلح (على التوالي 15% و 93%). طبقة المياه الجوفية الغرينية ليسر، المنتمية إلى المجمع القاري، أظهرت وفرة معتدلة من مجموع الحيوانات على الرغم من أن 97% من *Typhlocirolana* التآخرضية (*Cirolanidae*) تم جمعها. المياه الجوفية لسكاك، والتي تتميز أساسا بالحجر الجيري، أظهرت أعلى وفرة الإجمالية (47%) مع أغلبية القشريات (56%). المجمع الساحلي، والذي يتميز بترسبات الحقب الرابع، يتميز بأقل وفرة (1%) حيث تمثل القشريات 8% من مجموع الحيوانات. توزيع الحيوانات المائية تحت الأرض في جميع أنحاء منطقة الدراسة تأثرت بشكل رئيسي بالمسافة التي تبعد عن الوديان، الفترة الجيولوجية والموصلية الكهربائية. وعموما، أظهرت التجمعات توزيعا مكانيا يعكس إلى حد ما الظروف الهيدروجيولوجية والهيدروكيميائية. ووفقا لنتائجنا، نقترح أن موئل المياه الجوفية، والقشريات بشكل خاص، يمكن أن تلعب دورا رئيسيا في تمييز أنماط طبقات المياه الجوفية المدروسة في شمال الجزائر. وتسهم دراستنا في زيادة المعرفة بالتنوع البيولوجي الحالي للمياه الجوفية في شمال غرب الجزائر، مما يدل على أنه لا يزال بعيدا عن الاكتمال.

الكلمات المفتاحية: الحيوانات المائية تحت الأرض، مؤشرات بيولوجية، أنواع خزانات المياه الجوفية، هيدروجيوكيمياة، الجزائر.

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Analyse bibliographique	
1. Les eaux souterraines	4
2. Les eaux souterraines et l'écosystème aquatique Oued	4
3. Diversité biologique des eaux souterraines	6
4. Rôle de la faune aquatique souterraine	7
5. La stygofaune à différentes échelles	8
Chapitre 2 : Etude de milieu	
1. Présentation des bassins versants	10
1.1. Présentation du bassin versant de la Tafna	10
1.2. Bassin versant des côtières oranais	12
a. Le bassin versant du Côtier Oranais Central	12
b. Le bassin versant du Côtier Oranais Ouest	12
2. Cadre géologique	13
2.1. Bassin versant de la Tafna	13
2.1.1. Primaire	13
2.1.2. Secondaire	13
2.1.3. Tertiaire	14
2.1.4. Plio-Quaternaire	15
2.2. Bassin versant des côtières oranais	15
2.2.1. Sous-bassin versant des côtières oranais centre	15
a. Côtières d'Ain Témouchent	15
b. Sebkha d'Arzew	15
c. Côtières les Andalouses	16
d. Sebkha d'Oran	16
2.2.2. Sous-bassin versant des côtières oranais Ouest	16
3. Cadre hydrogéologique	17
3.1. Bassin versant de la Tafna	17
a. L'aquifère karstique des monts de Tlemcen	17
b. La nappe d'Hennaya	18
c. La nappe de Maghnia	18
d. Les nappes alluviales	18

3.2. Bassin versant des côtiers oranais	19
3.2.1. Bassin versant des côtiers oranais centre	19
a. Le complexe karstique de Murdjadjo	19
b. La nappe de la plaine de Brédéah	19
c. La nappe de la plaine côtière d'Ain Turk	19
3.2.2. Bassin versant des côtiers oranais ouest	19
3.2.2.1. Les aquifères Plio-Quaternaire	19
a. Les alluvions	19
b. Aquifère des basaltes	19
3.2.2.2. L'aquifère du Lias	19

Chapitre 3 : Etude bioclimatique

1. Températures	23
2. Précipitations	25
3. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	27

Chapitre 4 : Matériel et Méthodes

1. Echantillonnage	29
1.1. Méthode d'échantillonnage de la faune	29
1.1.1. Filet phréatobiologique.....	29
1.1.2. Pièges appâtés	31
1.2. Traitement des échantillons	31
2. Niveau piézométrique	34
3. Analyse physico-chimique de l'eau	35
3.1. Température	35
3.2. pH	35
3.3. Conductivité électrique	35
3.4. Oxygène dissous	35
4. Traitement des données	35
4.1. Aperçu sur les tests statistiques utilisés	35
4.1.1. Analyse de la variance par permutation (PERMANOVA)	35
4.1.2. Analyse en coordonnées principales (PCO ou PCoA)	35
4.1.3. Analyse canonique de correspondance (ACC ou CCA)	36
4.1.4. Test de permutation Monte-Carlo	36
4.2. Traitement statistique	36

4.3. Indices écologiques	38
4.3.1. Caractéristiques analytiques	38
4.3.2. Indices de diversité	38
<i>Indice de Shannon et Weaver (H')</i>	38
<i>Indice d'équitabilité de Pielou (J')</i>	39

Chapitre 5 : Résultats de l'analyse physico-chimique

1. Variation spatio-temporelle	40
1.1. Température de l'eau	40
1.2. Potentiel hydrogène (pH)	40
1.3. Conductivité électrique	42
1.4. Salinité	42
1.5. Oxygène dissous	42
2. Etude statistique	44
3. Discussion	45

Chapitre 6 : Résultats faunistiques

1. Composition de la faune des puits des sous bassins versants	50
2. Peuplement des différents sous-bassins versants	54
2.1. Sous-bassin versant de AIN	54
2.2. Sous-bassin versant de GHA	56
2.3. Sous-bassin versant de EXUT	58
2.4. Sous-bassin versant de ISS	58
2.5. Sous-bassin versant de MOU	60
2.6. Sous-bassin versant de SIK	63
2.7. Sous-bassin versant de TAF	63
3. Comparaison entre les sous-bassins versants	66
3.1. Richesse spécifique moyenne	66
3.2. Diversité moyenne	67
4. Analyse statistique de la PERMANOVA	68
4.1. Données faunistiques	68
4.2. Influence des facteurs environnementaux sur les assemblages faunistiques souterrains	70
5. Discussion	72

Chapitre 7 : Taxonomie et répartition du genre *Typhlocirolana*

1. <i>Typhlocirolana longimera</i>	77
1.1. Description	77
1.2. Diagnostique différentiel avec d'autres matériels examinés	85
2. <i>Typhlocirolana</i> cf. <i>gurneyi</i> Racovitza, 1912	86
3. <i>Typhlocirolana</i> cf. <i>fontis</i> (Gurney, 1908)	86
4. Distribution géographique des trois espèces du genre <i>Typhlocirolana</i> récoltées en Algérie	89
5. Discussion	91
Conclusion générale	92
Références bibliographiques	95
Annexes	

Liste des figures

Fig.1.	Coupe type d'une nappe alluviale (Daum et al., 1997 <i>in</i> Vernoux et al. 2010)	5
Fig.2.	Classification écologique des invertébrés souterrains aquatiques (d'après Marmonier et al.1993)	7
Fig.3.	Code et nom des bassins versants de l'Algérie (Adijm, 2004)	11
Fig.4.	Extrait de la carte de l'esquisse géologique du Nord-Ouest algérien	16
Fig.5.	Zones aquifères du bassin versant la Tafna (Collignon, 1984)....	20
Fig. 6.	Extrait de la carte hydrogéologique de la région de Ghazaouet (A.N.R.H, 2008)	21
Fig.7.	Températures moyennes mensuelles	24
Fig.8.	Températures moyennes annuelles	24
Fig.9.	Précipitations moyennes mensuelles	26
Fig.10.	Précipitations moyennes annuelles	26
Fig. 11.	Diagrammes Ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) pour les quatre stations météorologiques	28
Fig.12.	Schéma d'un filet phréatobiologique	30
Fig.13.	Utilisation du filet phréatobiologique dans le puits (1, 2, 3 : positions successives du filet pendant les séries de tractions)	32
Fig.14.	Schéma d'une nasse	33
Fig.15.	Variation spatio-temporelle de la température moyenne de l'eau souterraine dans les différents sous-bassins versants. D : période des basses eaux. W : période des hautes eaux	41
Fig.16.	Variation spatio-temporelle du pH de l'eau souterraine dans les différents sous-bassins versants. D : période des basses eaux. W : période des hautes eaux	41
Fig.17.	Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique de l'eau souterraine dans les différents sous-bassins versants. D : période des basses eaux. W : période des hautes eaux	43
Fig.18.	Variation spatio-temporelle de la salinité de l'eau souterraine dans les différents sous-bassins versants. D : période des basses eaux. W : période des hautes eaux	43

Fig.19.	Variation spatio-temporelle de l'oxygène dissous de l'eau souterraine dans les différents sous-bassins versants. D : période des basses eaux. W : période des hautes eaux	44
Fig. 20.	Plan PCO (variance cumulative pour les deux premiers axes: 73.5%) représentant les échantillons: a) en période W (triangles bleus) et en période D (triangles rouges); b) pour chaque sous-bassins versant (AIN= Ain Temouchent, GHA: Ghazaouet, MOU: Mouilah, ISS: Isser, SIK: Sikkak, EXUT: basse Tafna, TAF: Tafna). Les vecteurs des variables (T: température; Piez: niveau piézométrique; Cond: conductivité électrique; sal: salinité; OXY: % d'oxygène) présentés ont >70% de corrélation avec les axes de coordination	46
Fig. 21.	PCO (variance cumulative sur les deux premiers axes : 73,5%) plan des bulles indiquant les valeurs (représentées par des cercles) des variables de la conductivité électrique (a) et de la salinité (b) pour les échantillons de la région d'étude	47
Fig 22.	PCO (variance cumulative sur les deux premiers axes: 73.5%) bubble-plots indiquant les valeurs (représentées par des cercles) des variables de la température (a), du niveau piézométrique (b) et % d'oxygène (c) pour les puits de la région d'étude	48
Fig.23.	Structure générale de la biocénose pour l'ensemble des bassins versants	51
Fig.24.	Abondance relative des Crustacés	51
Fig.25.	Abondances relative des Insectes	53
Fig.26.	Abondance relative des Gastéropodes	53
Fig.27.	Abondance relative des Annélides	54
Fig.28.	Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de AIN	55
Fig.29.	Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de AIN	55
Fig.30.	Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de AIN	55
Fig.31.	Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de GHA ...	57
Fig.32.	Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de	

	GHA	57
Fig.33.	Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de GHA	57
Fig.34.	Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de EXUT .	59
Fig.35.	Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de EXUT	59
Fig.36.	Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de EXUT	59
Fig.37.	Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de ISS.	61
Fig.38.	Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de ISS	61
Fig.39.	Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de ISS	61
Fig.40.	Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de MOU ..	62
Fig.41.	Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de MOU	62
Fig.42.	Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de MOU	62
Fig.43.	Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de SIK	64
Fig.44.	Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de SIK	64
Fig.45.	Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de SIK	64
Fig.46.	Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de TAF ...	65
Fig.47.	Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de TAF	65
Fig.48.	Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de TAF	65
Fig. 49a.	Variation de la richesse spécifique moyenne dans les sous- bassins versants	67
Fig. 49b.	Variation de la richesse spécifique moyenne des espèces épigées et hypogées dans les sous-bassins versants	67
Fig.50.	Variation de la diversité moyenne dans les sous-bassins versants	68

Fig. 51a.	CCA avec les axes 1(horizontal) et 2 (vertical)	71
Fig. 51b.	CCA avec les axes 1 (horizontal) et 3 (vertical)	71
Fig. 52.	<i>Typhlocirolana longimera</i> sp. n. Mâle. 10.9 mm. a aspect extérieur b Vue latérale c marge postérieure du of pleotelson d antenne e antennulle f uropode. Echelle: a, b = 1 mm; c–f = 0.1 mm	79
Fig.53.	<i>Typhlocirolana longimera</i> sp. n. a mandibule droite b Aciès, mandibule gauche c maxilla d maxillule e maxilliped f lobe masticatoire du maxillipède g lame frontale. Echelle: a–g = 0.1 mm	80
Fig. 54.	<i>Typhlocirolana longimera</i> sp. n. a–g péréiopodes 1–7 . Echelle: a–g = 0.1 mm	83
Fig. 55.	<i>Typhlocirolana longimera</i> sp. n. a pleopod1 b pleopod2 c female pleopod2 d–f pleopods 3–5. Echelle: a–f = 0.1 mm	84
Fig. 56.	<i>Typhlocirolana</i> cf. <i>gurneyi</i> . a uropode b propodus et dactylus du péréiopode I c lobe masticatoire du maxillipède d apex du pléotelson. Echelle: a–d = 0.1 mm	87
Fig. 57.	<i>Typhlocirolana</i> cf. <i>fontis</i> . Ghazaouet (a–e): a péréiopode 1 b péréiopode 2 c lobe masticatoire du maxillipède d pléopode 1 e pléopode 2 Sidna Youcha (f–j): f péréiopode 1 g péréiopode 2 h lobe masticatoire du maxillipèds i pléopode 1 j pléopode 2. Echelle: a–j = 0.1 mm. (L'armature des pléopodes a été partiellement omis)	88
Fig.58.	Distribution des espèces du genre <i>Typhlocirolana</i> au sein des sous-bassins	90
Fig.59.	Distribution des trois espèces du genre <i>Typhlocirolana</i>	90

Liste des tableaux

Tableau 1.	Coordonnées géographiques des stations météorologiques	23
Tableau 2.	Températures moyennes mensuelles des différentes stations ...	23
Tableau 3.	Précipitations mensuelles moyennes (en mm) des différentes stations	25
Tableau 4.	Nombre et pourcentage des individus dans les sous-bassins versants et entre les deux périodes. (D: Basses eaux, W: Hautes eaux)	68
Tableau 5.	Pourcentage des taxons dominants dans les sous-bassins	69

Introduction générale

Introduction générale

Contrairement à l'idée traditionnelle qui considère les eaux souterraines comme un environnement pauvre en espèces, plusieurs contributions (e.g. Danielopol et Rouch, 1991; Stoch, 1995; Rouch et Danielopol, 1997; Gibert et Deharveng, 2002; Galassi et al. 2009b; Iepure et al. 2017) ont mis en évidence une biodiversité élevée inattendue. Environ 7000 espèces d'eaux souterraines ont été répertoriées dans le monde par Botosaneanu (1986) et beaucoup d'autres taxons ont été récemment documentés (e.g. Juberthie et Decu, 1994, 1998, 2001; Stoch, 1995; Danielopol et al. 2002; Camacho, 2003; Di Lorenzo et al. 2013, 2015). Plus de 3000 espèces ont été répertoriées en Europe (Botosaneanu, 1986; Deharveng et al. 2009; Galassi et al. 2009b; Hahn et Fuchs, 2009; Martin et al. 2009; Robertson et al. 2009), principalement dans une zone longitudinale étroite qui va de la Slovénie au sud de la France, en passant par le Nord-Est de l'Italie et les Pyrénées françaises (Deharveng et al. 2009). Cependant, les courbes cumulatives de richesse en espèces ont indiqué que la majeure partie de la diversité des invertébrés des eaux souterraines d'Europe est encore inconnue (Deharveng et al. 2009). En Afrique, la recherche sur la faune souterraine progresse dans de nombreux pays, en particulier en Afrique du Nord (Delamare-Deboutteville, 1960; Boulanouar, 1982; Chappuis, 1953; Khaldoun et al. 2013). Au Maroc, plusieurs recherches stygobiologiques systématiques ont été récemment réalisées. Tout d'abord dans la région de Marrakech (Messouli, 1994 ; Boulanouar, 1995) puis dans les provinces de Goulmima (Benazouz, 1983), Tiznit (Boulal, 1988), Essaouira (Ben Abbes Taarji, 1986), Guelmim (Ibdennacer, 1990), El Jadida (Fakher El Abiari, 1999), Errachidia (Ait Boughrouss et al. 2007) et Meknes (El Moustaine et al. 2014).

En Tunisie, nous disposons de très peu de données sur la faune aquatique souterraine provenant des prélèvements effectués sur des oueds, puits et sources dans le bassin versant de Barkoukech (Ghlala et Messana, 2006 ; Ghalala et al. 2009).

En ce qui concerne l'Algérie, le domaine des eaux souterraines et ses organismes sont encore largement inconnus (Gurney, 1908; Nourisson, 1956; Pesce et Tete, 1978; Henry et Magniez, 1981; Decu et al. 2001; Belaidi et al. 2004). En plus des données disponibles qui proviennent des documents de divers chercheurs invités, notamment des européens (Racovitza, 1912; Monod, 1930; Gauthier, 1928; Nourisson, 1956; Delamare-Deboutteville, 1960; Pesce et al. 1981; Dumont, 1981),

Introduction générale

peu de nouvelles données sur l'occurrence de la faune stygobitique (vivant exclusivement dans les eaux souterraines) ont récemment été publiées.

Dans le Nord-Ouest algérien, les recherches hydrobiologiques concernent en premier lieu les échanges entre le milieu superficiel et le milieu interstitiel en considérant les nutriments (Taleb et al. 2004 ; Taleb et al. 2008) et la faune aquatique (Belaidi et al. 2004; Mahi, 2007). Quant à la faune souterraine, les études se sont orientées vers la systématique en inventoriant les espèces stygobies de la nappe alluviale de l'Oued Tafna (Chebika, 2003 ; Belaidi, 2004 ; Benouada, 2005 ; Mahi, 2007 ; Haicha, 2008 ; Belaidi et al. 2011. Mahi et al. 2011; Haicha, 2013 ; Mahi et al. 2017), de la plaine de Ghriiss à Mascara (Lakhdari, 2014), et dans la région de Oum-El-Bouaghi (Merzoug et al. 2010 ; Piscart et al. 2013). Ces recherches ont révélé une différence de la richesse de la stygofaune entre les régions et même entre des points de prélèvements séparés par des distances allant de quelques kilomètres jusqu'à même quelques centaines de mètres.

En raison de leur répartition inégale et surtout étroite, les préférences spécifiques des espèces et la faible capacité de dispersion (Sket, 1999; Brancelj, 2002; Galassi et al. 2009b), les eaux souterraines peuvent servir de bons outils pour différencier les masses d'eau souterraines avec les différentes caractéristiques hydrogéologiques (Iepure et al. 2017). L'aptitude des taxons des eaux souterraines en tant que bioindicateurs s'est révélée utile pour identifier les voies d'écoulement des eaux souterraines (Mösslacher, 1998; Di Lorenzo et al. 2013; Eisendle-Flockner et Hilberg, 2014; Galassi et al. 2014; Petitta et al. 2015; Mori et al. 2015; Stoch et al. 2016) et la discrimination entre la zone epikarstique, phréatique et insaturée des aquifères (Sket et Bole, 1981; Pipan et Culver, 2007a,b; Galassi et al. 2009b; Meleg et al. 2011). La géologie de l'aquifère est connue pour influencer la disponibilité d'habitats dans ce milieu, affectant par conséquent les modèles de distribution des eaux souterraines (Hahn et Matzke, 2005; Hahn, 2006; Hancock et Boulton, 2009; Hahn et Fuchs, 2009; Gibert et al. 2009; Griebler et Luedres, 2009; Malard et al. 2009; Martin et al. 2009; Maurice et Bloomfield, 2012; Stein et al. 2012; Di Lorenzo et Galassi, 2013; Johns et al. 2015, Shapouri et al. 2016, Iepure et al. 2017).

Les principaux facteurs qui conditionnent potentiellement la biodiversité des eaux souterraines à différentes échelles spatio-temporelles ont été décrits par Gibert et al. (1994). Ils peuvent être d'ordre géologiques, climatiques, hydrologiques, hydrogéologiques, géomorphologiques, hydrodynamiques ainsi que les facteurs

biotiques. La structuration des assemblages faunistiques dans les aquifères est donc le reflet des conditions d'expression de ces facteurs, comme la disponibilité en ressources énergétiques, la teneur en oxygène dissous et la nature des sédiments (Dumas, 2000).

Dans cette étude, nous avons étudié la biodiversité et l'hydrochimie des aquifères à nappe libre dans la région nord-ouest de l'Algérie. Nous visons :

1) à apporter de nouvelles données sur la biodiversité et les modèles de distribution de la faune aquatique souterraine dans les nappes souterraines de l'Afrique du Nord ;

2) à évaluer le rôle des variables hydrogéologiques, géographiques et physico-chimiques dans la détermination des modèles de distribution des invertébrés des eaux souterraines ;

3) à décrire une nouvelle espèce du genre *Typhlocirolana* du Nord africain, ainsi qu'une présentation de la situation des autres espèces algériennes de ce genre.

Nous avons étudié les assemblages d'eaux souterraines dans sept aquifères situés dans le Nord-Ouest de l'Algérie, regroupés en deux complexes aquifères, à savoir : littoral et continental. Nous avons sélectionné la région d'étude dans le Nord-Ouest de l'Algérie parce que les réservoirs d'eaux souterraines algériennes (1,9 milliard de m³) sont principalement situés dans le Nord, composé de 126 aquifères productifs (Seiad, 2003). A l'échelle régional, ces aquifères sont très fragmentés. L'histoire tectonique a conduit à la segmentation des principales unités géologiques sédimentaires du Mésozoïque au Cénozoïque, résultant en un grand nombre d'unités d'aquifères compartimentées relativement petites, spatialement limitées (BRGM, 2008). Nous avons sélectionné sept aquifères, dont cinq situés dans le bassin versant de la Tafna, un bassin transfrontalier entre l'Algérie et le Maroc connu comme l'hydrosystème le plus vaste et le plus complexe de la région nord-ouest de l'Algérie. Le bassin a été principalement étudié dans un contexte hydrogéologique (Collignon, 1986), limnologique (Gagneur, 1994 ; Taleb et al. 2004) et isotopique (Lamb et Labiod, 2009). Cependant, l'absence de longues séries météorologiques, la sécheresse des Oueds et l'apparition d'un vaste système karstique, rend difficile l'étude de la circulation globale des eaux souterraines (Lamb et Labiod, 2009). Les deux autres aquifères sont situés dans le bassin des côtières oranais.

Chapitre 1 :
Analyse bibliographique

1. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines, constituent la quasi-totalité des stocks à l'état liquide avec un total d'environ 97% des eaux douces continentales liquides (Bosca, 2002 ; Diop et Rekacewicz, 2004) et participent d'une manière déterminante au cycle de l'eau. Ainsi, elles offrent des propriétés de régularité, de qualité et de protection différentes de celles qui caractérisent les eaux de surface. En outre, elles assurent le débit de base des rivières et la pérennité des zones humides en alimentant ces réseaux tout au long de l'année.

L'eau souterraine est contenue dans les pores ou les fissures de roches qui forment le sous-sol : on parle de roche aquifère. Ces aquifères présentent des singularités liées à la nature géologique et à la géométrie des roches qui les constituent, mais aussi au mode de gisement et aux milieux avec lesquels ils échangent. Il existe trois grandes familles :

- Les aquifères sédimentaires : composés de calcaire, sable, grès, craie (roches sédimentaires).

- Les aquifères alluviaux : constitués de limons fins déposés par les cours d'eau lors des inondations ou des crues, intercalés avec des sables et des graviers. Leurs vulnérabilités sont dues à la relation de ces nappes avec les eaux de surface qui servent souvent de relais aux grandes nappes libres qui s'écoulent naturellement vers les points bas que sont les vallées.

- Les aquifères de roches cristallines (granite, gneiss,...) et volcaniques (laves) gardent l'eau dans les fissures et les zones altérées (arènes). Ils abritent de petites nappes.

2. Les eaux souterraines et le système aquatique Oued :

Les eaux souterraines présentent des relations avec les eaux de surface et une interdépendance hydrologique si étroite qu'en fait toutes deux constituent une ressource unique (Castany, 1965). Différents facteurs de nature morphologique (terrasses alluviales) et géologique (lithologie des alluvions et des terrains encaissants) interviennent dans les relations nappe-rivière(Fig.1).

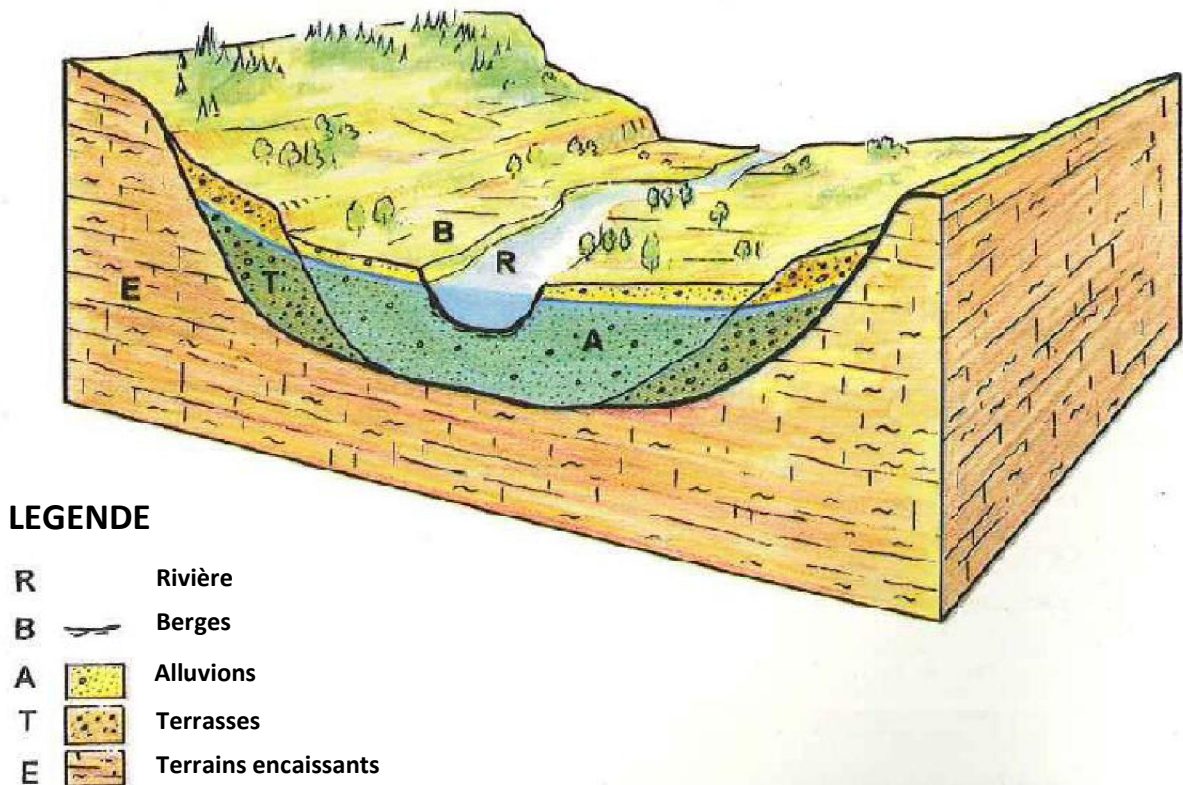


Fig.1 : Coupe type d'une nappe alluviale (Daum et al. 1997 in Vernoux et al. 2010)

Une classification proposée par White (1993), et confirmée par plusieurs autres études (Bencala, 1993; Thoms, 2003), définit trois modèles théoriques d'interactions préférentielles basés sur la direction des échanges entre cours d'eau et aquifère :

- Pour les petits cours d'eau en tête de bassin, les échanges hydrauliques seraient principalement verticaux depuis l'eau souterraine jusqu'au cours d'eau.

- Plus en aval, la multiplication des secteurs alternant radiers et mouilles dans les cours d'eau de taille intermédiaire favoriserait des échanges plus importants en trois dimensions.

- Enfin, dans le cas des grands cours d'eau à pente plus faible et à forte sinuosité, l'écoulement souterrain dépendrait principalement de l'hydraulique du cours d'eau et la zone d'influence du cours d'eau sur l'aquifère pourrait s'étendre latéralement sur des distances pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres.

Il est généralement admis que dans les environnements fluviaux les interactions entre le cours d'eau et l'aquifère se déroulent à différentes échelles spatiales, et au

voisinage du cours d'eau le flux est généralement tri-dimensionnel (Findlay, 1995 ; Jones et Holmes, 1996).

3. Diversité biologique des eaux souterraines :

Les eaux souterraines ont longtemps été considérées comme des milieux extrêmes, colonisés par seulement quelques espèces (Danielopol et al. 2000 ; Gibert et Deharveng, 2002). Or, les aquifères abritent des communautés d'invertébrés dont la richesse et la composition varient en fonction de la connectivité entre les eaux souterraines et les eaux de surface.

Ces biocénoses souterraines se composent essentiellement de crustacés et de mollusques (Gibert et Deharveng, 2002), mais aussi de quelques vertébrés (amphibiens, poissons) et de micro-organismes. Elles sont difficilement identifiables au niveau spécifique, en raison de l'handicap taxonomique actuel d'une part, et en raison de la diversité cryptique mise en évidence par les études génétiques récentes d'autre part (Ferreira, 2005 ; Zaksek et al. 2009).

Au sein des écotones et des aquifères en liaison hydraulique avec un cours d'eau, ces communautés comportent généralement (Fig.2): (1) des organismes épigés présents de manière accidentelle dans les habitats souterrains où ils peuvent jouer le rôle de proies (stygoxènes) ; (2) des organismes épigés capables d'exploiter les ressources des habitats souterrains et d'y réaliser une partie ou la totalité de leur cycle de vie (stygoxènes); et (3) des organismes souterrains qui sont des formes spécialisées réalisant la totalité de leur cycle de vie dans les eaux souterraines (stygoxènes).

Les espèces stygoxènes se caractérisent par leur dépigmentation (couleur blanche ou transparente), leurs formes allongées, filiformes, avec de longs appendices, leur taille souvent supérieure aux espèces voisines des eaux de surface, l'absence d'yeux souvent compensée par de longues antennes et des récepteurs chimiques. Les espèces hypogées présentent un métabolisme réduit, un développement ralenti et une grande longévité.

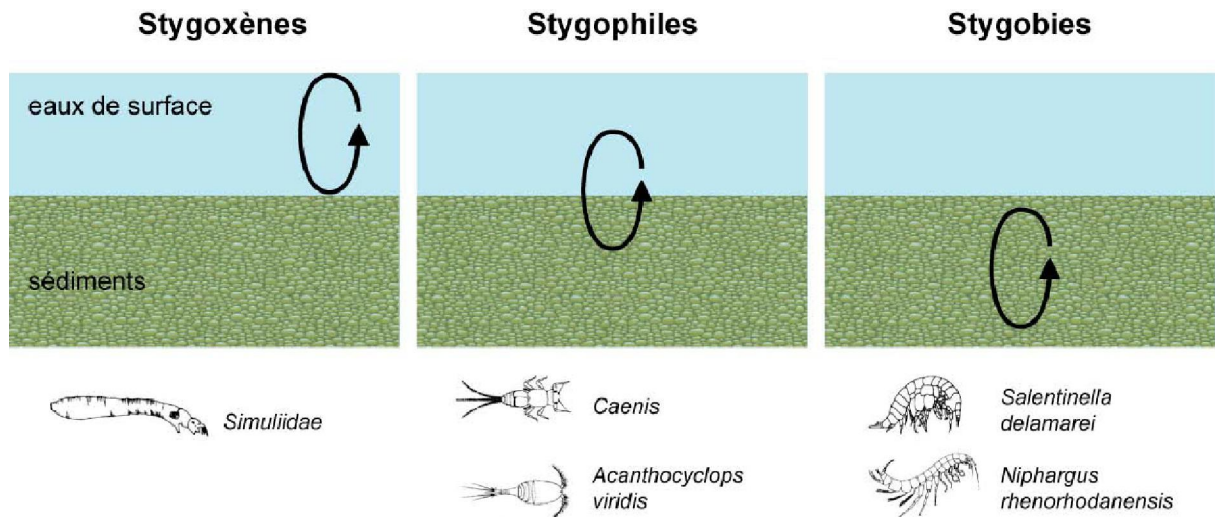


Fig.2 : Classification écologique des invertébrés souterrains aquatiques (d'après Marmonier et al.1993).

4. Rôle de la faune aquatique souterraine :

Les animaux d'eau souterraine présentent une importance particulière pour les biologistes intéressés par les questions fondamentales de l'évolution et de l'écologie (Danielopol et al. 2000), en raison de leur degré élevé de spécialisation et d'adaptation. En outre, les espèces stygobies sont des animaux particulièrement utiles pour comprendre les facteurs déterminant la biodiversité, en raison du degré élevé de l'endémisme.

Dans un autre contexte, ces espèces peuvent fournir des informations sur la résistance des aquifères lors des grandes épisodes de changement climatique tels que des périodes d'aridité régionale, d'ères glaciaires et d'événements tectoniques à l'échelle locale et régionale.

On s'intéresse de plus en plus au potentiel des communautés d'eaux souterraines pour s'informer sur la stabilité des aquifères (Bournaud et Amoros 1984; Messouli 2006; Guzic et al. 2008), l'écoulement de l'eau (Pipan et Culver 2007a, b) et la présence des connexions récentes (Finlay et al. 2006) ou anciennes (Buhay et al. 2006). D'autre part, la faune aquatique souterraine est sensible aux caractéristiques environnementales de l'eau qu'elle habite et il y a de plus en plus un véritable potentiel de la faune comme indicateurs (moniteurs) de la santé des eaux souterraines (Sinton, 1984; Committee, 1991; Malard et al. 1994; Simon et Buikema, 1997; Plénet et al. 1992; Mösslacher et al. 2001; Notenboom et al. 1994). Ainsi,

plutôt que de s'appuyer uniquement sur les données hydrodynamiques, physico-chimiques et bactériologiques, les investigations sur la stygofaune devraient être intégrées au programmes de la surveillance, la gestion et la protection des eaux souterraines (Malard et al. 1996; Tomlinson et al. 2007).

5. La stygofaune à différentes échelles :

Dans de nombreuses régions du monde, les communautés d'eaux souterraines sont rarement étudiées, sachant que la situation de la biodiversité de la stygofaune reste largement inconnue (Maurice et Bloomfield, 2012).

En Europe, la stygofaune de certains pays a fait l'objet de plusieurs recherches aboutissant à des bilans précis ou approximatifs, comme en Italie (Pesce, 1985 ; Stoch, 2001), en France (Lescher-Moutoué, 1967; Rouch, 1968; Coineau, 1971; Henry, 1976; Magniez, 1976; Ginet et Juberthie, 1987 ; Juberthie et Ginet , 1994 ; Deharveng et al. 2009 ; Ferreira et al. 2003).

En Amérique de nombreuses études ont été entreprises, notamment par Bousfield (1958), Maguire (1964), Holsinger (1972, 1986, 1994, 2000), Culver (1982), et Koenemann et Holsinger (2001).

Dans le Nord de l'Afrique, les recherches ont progressé dans le dernier siècle (Monod, 1924; Henry et Magniez, 1972; Pesce et al. 1981).

En Tunisie, les premières prospections ont été entrepris par Seurat (1921, 1934) au début du 20^{ème} siècle. Cela, a conduit à la découverte d'un peracaride anophtalme et non coloré *Thermosbaena mirabilis* Monod, 1924. Malgré ces recherches, la faune aquatique souterraine en Tunisie reste assez rare, avec quelques espèces de gastéropodes et trois espèces crustacéennes appartenant au groupe des Isopodes (Juberthie et al.2001 ; Glala et al. 2009) ; *Proasellus bagradicus* Henry & Magniez, 1976 (Asellidae), *Saharolana seurati* Monod, 1930 (Cirolanidae) et *Typhlocirolana ichkeuli* Ghlala, Della Valle & Messana, 2009 (Cirolanidae).

Au Maroc, la faune aquatique souterraine était encore peu connue jusqu'au début des années 80 (Pesce et al. 1981). Des études systématiques stygobiologiques ont récemment eu lieu, d'abord dans la région de Marrakech (Boulanouar, 1982 ; Boutin et Boulanouar, 1983 et 1984 ; Boutin, 1984 ; Messouli, 1984 ; Boutin et Dias, 1987 ; Boutin et Messouli, 1988 a et b, Boulanouar, 1995) puis dans d'autres parties du Maroc: Goulmima (Benazouz, 1983), de Tiznit (Boulal, 1984 et 1988) et d'Essaouira

Chapitre 1 : Analyse bibliographique

(Ben Abbes Taarji, 1986), Fès (Mathieu et al. 1999 ; Berrady et al. 2000), El Jadida (Fakher El Abiari, 1999).

En Algérie, la distribution des peuplements aquatiques souterrains, en dépit de son importance, restent nettement moins connue (Gurney, 1908; Nourisson, 1956; Pesce et Tete, 1978; Henry et Magniez, 1981; Gagneur et Chaoui-Boudghane, 1991; Belaidi et al. 2004) bien que depuis quelques années on puisse citer une série de travaux dont ceux de Belaidi (2004), Belaidi et al.(2011), Mahi et al. (2011), Mahi et al. (2017) au Nord Ouest de l'Algérie ; et ceux de Merzoug et al. (2010) et Khaldoun et al. (2013) au Nord Ouest de l'Algérie.

Chapitre 2 :

Etude de milieu

1. Présentation des bassins versants :

1.1. Bassin versant de la Tafna:

Le bassin versant de la Tafna est situé au Nord Ouest algérien, portant le numéro 16 parmi les 17 bassins versant du Nord (Fig.3). Avec une superficie de 7245 Km², il est l'un des bassins les plus importants de l'Algérie occidentale. Il est limité au Nord par les Monts des Traras à 1080 m d'altitude, au Sud par les Monts de Tlemcen à 1843 m d'altitude, à l'Est par Djebel Sebaa Chioukh à 662 m d'altitude et à l'Ouest par les Monts de Béni Snassen (Maroc).

Globalement, le bassin versant de la Tafna est subdivisé en trois grandes parties :

- Partie occidentale : elle comprend la Haute Tafna avec les deux affluents Oued Sebdou, Oued Khemis ; et Oued Mouilah ;

- Partie orientale : avec comme principaux affluents l'Oued Isser et l'Oued Sikkak ;

- Partie septentrionale: elle s'étale du village Tafna jusqu'à l'embouchure de la Tafna sur la mer au niveau de la plage de Rachgoune. Les principaux affluents de cette partie sont les oueds Boukiou, Boumessaoud et Zitoun.

Le principal cours d'eau de son réseau hydrographique est la Tafna avec une longueur de 170 Km. Avant qu'il prenne sa source au niveau de la grotte de Ghar Boumaaza à 1100 m d'altitude, il jaillit d'abord des Monts de Tlemcen avec un écoulement souterrain. L'Oued coule dans une vallée encaissée jusqu'au bordj de Sidi medjahed et traverse ensuite la plaine de Maghnia, puis celle de Remchi et atteint la méditerranée au niveau de la plage de Rechgoun.

Il est alimenté par plusieurs affluents dont les plus importants sont :

- Oued Khemis : affluent rive gauche de la Tafna et long de 36 Km, cet oued draine la vallée des Monts de Tlemcen dont la superficie du sous-bassin est de 340 Km² et atteint la Tafna au niveau du barrage de Béni Bahdel à une altitude de 660 m.

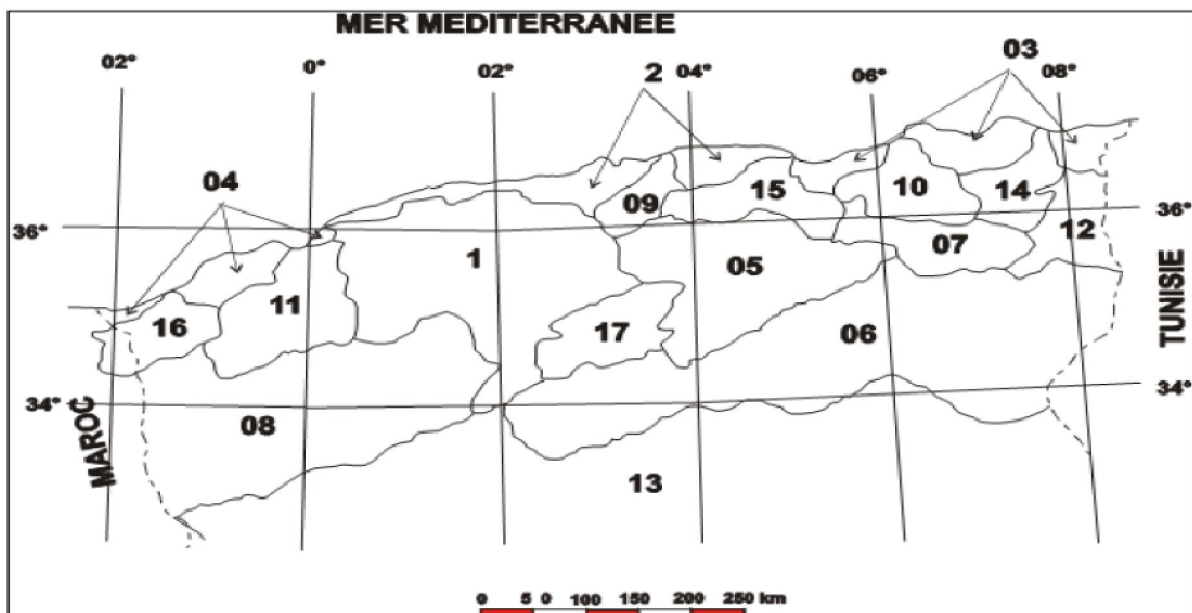
- Oued Mouilah : affluent de la rive gauche le plus important et d'une longueur de 124 Km, il draine un sous-bassin de 2 650 km². Il prend sa source en Algérie, dans la région d'El Abed à 1250 m d'altitude puis pénètre au Maroc en prenant le nom d'Oued Isly. En aval près d'Oujda (Maroc), il prend le nom Oued Bounaïm et pénètre en Algérie aux environs de Maghnia sous l'appellation de Oued Mouilah dont sa confluence avec la Tafna à 260 m d'altitude.

- Oued Isser : affluent rive droite de la Tafna, d'une longueur de 81 km, il draine un sous-bassin de 1140 Km². Il prend naissance au niveau d'Ain-Isser à 900

m d'altitude au Sud d'Ouled Mimoun. Il reçoit l'oued Sikkak avant de se jeter dans la Tafna à 80 m d'altitude au niveau de la plaine de Remchi.

- Oued Sikkak : affluent rive droite de la Tafna, il s'écoule sur une longueur de 55,7 Km, et draine un sous-bassin de 218 Km². Il prend sa source dans les Monts de Tlemcen sur le plateau de Terny au niveau de la source d'Ain Rhannous, et recueilli par le barrage d'El Meffrouch. Ensuite, il reprend son écoulement à partir des cascades d'El Ourit situé à 800m d'altitude jusqu'à l'aval du village Safsaf.

Les limites amont et aval du bassin, sont matérialisées respectivement, par le barrage Mefrouche à 1100 m et celui du Sikkak à 200 m d'altitude.



Code	Bassin
01	Cheliff
02	Côtiers algérois
03	Côtiers Constantinois
04	Côtiers oranais
05	Chott Hodna
06	Chott Melrhir

Code	Bassin
07	H. plateaux constantinois
08	H. plateaux oranais
09	Isser
10	Kebir Rhumel
11	Macta
12	Medjerdah

Code	Bassin
13	Sahara
14	Seybouse
15	Soummam
16	Tafna
17	Zahrez

Fig.3 :Code et nom des bassins versants de l'Algérie (Adijm, 2004)

1.2. Bassin versant des côtiers oranais :

Le bassin versant des Côtiers oranais, avec une superficie de 5831 Km², porte le numéro 04 parmi les 17 bassins versant du Nord (Fig.3), et s'étale sur le long du littoral ouest algérien jusqu'à la frontière algéro-marocaine. Il est limité au Sud-Est par le bassin versant Macta et au Sud-Ouest par le bassin versant Tafna. L'altitude maximale varie de 1061 m (Monts de Tessala) à 1021 m (Monts des Traras).

L'altitude minimale est de 15 m (au niveau de la frange côtière). Il est subdivisé en 3 unités : bassins versants des côtiers oranais Est, Central et Ouest. La présentation des sous-bassins versants va être limitée à ceux qui ont fait l'objet de notre étude, il s'agit de la partie centrale et la partie Ouest.

a. Le bassin versant du Côtier Oranais Central :

Du point de vue morphologique, le bassin versant du Côtier Oranais Central a une superficie de 4610 Km².

Il est constitué de quatre principaux sous bassins versants :

- Côtiers d'Ain Témouchent : avec une superficie de 1203 Km², il est drainé par son oued principal Oued El Maleh qui a une longueur de 54,18m ;
- Côtiers les Andalouses (ou Ain Turk) : situé à l'Ouest et sur le versant nord du Djebel du Murdjadjo, il occupe une superficie de 395 Km². Son oued principal Oued Madegh présente une longueur de 18,5m ;
- Sebkha d'Oran : considéré comme un bassin endoréique, il a une superficie de 801 Km². Son oued principal Oued Tléta avec une longueur de 26,02 m ;
- Sebkha d'Arzew (salines d'Arzew): avec une superficie de 2211 Km², son oued principal est l'Oued Mahgone avec une longueur de 5,73m.

b. Le bassin versant du Côtier Oranais Ouest :

Il est représenté dans sa grande partie par les monts des Traras. Cette chaîne montagneuse côtière atteint une altitude moyenne variant entre 500 et 1000 m.

Au niveau de la région Ghazaouet, il existe trois sous-bassins versants:

- Sous-bassin de Oued Ghazouana qui couvre 285 km², son oued est considéré comme le plus grand des Monts des Traras.
- Sous-bassin de Oued Abdallah avec une superficie de 15 km².
- Sous-bassin de El Kelba dont la superficie est de 7.5 km².

2. Cadre géologique:

2.1. Bassin versant de la Tafna :

La géologie du bassin de la Tafna (Fig.4) a été étudiée dans une série de travaux depuis ceux de Gentil (1903) et en passant par d'autres travaux comme ceux de Elmi (1972), Benest (1986), Collignon (1986, 1993).

2.1.1. Primaire :

Il affleure dans le bassin de l'Oued Mouilah au niveau des Monts de Ghar-Roubane à l'ouest et les Fellaoucène à l'Est. Il est caractérisé par la présence d'une formation schisto-quartzite d'âge silurien à dévonien. Ces dépôts primaires ont subi des plissements intenses, qui ont donnés lieu à l'enchaînement du massif Tellien des Traras.

a. Série Gréso-Pelitique infrasilurienne:

Elle est située dans la partie septentrionale des Traras, correspond stratigraphiquement à tous les terrains situés sous le Silurien fossilifère, et appartient à l'Ordovicien.

b. Silurien:

Les terrains siluriens sont représentés par les phanites correspondant à la barre siliceuse, de teinte très sombre, encadrées par les pélites micacées. Ces dernières contiennent des minéraux détritiques du quartz et des micas.

c. Dévonien:

Les Calcaires à tentaculites n'existent qu'à l'état de galets remaniés dans les conglomérats du Viséen supérieur. Le Dévonien sous son faciès flysch est très largement représenté dans les Traras.

d. Carbonifères:

Il est représenté dans les Traras par les Dolomies à Polypiers et les Série volcano détritique.

e. Granite et auréole de métamorphisme:

Il s'agit de granite de Nedroma au Nord-Est de la ville de Nedroma ; et l'Auréole de métamorphisme qui n'est visible que vers le Nord.

2.1.2. Secondaire :

Il forme l'essentiel des monts de Tlemcen. La série lithostratigraphique est représentée par :

a. Trias :

Localisé essentiellement au Nord d'Ain Tellout et au niveau de Béni-Bahdel et à l'Est dans le bassin d'Oued Mouilah, le Trias est constitué par des argiles plus ou moins dolomitiques et gypseuses et des marnes bariolées fortement teintées.

b. Jurassique :

Il est composé du jurassique inférieur et moyen et qui apparaissent au niveau de Ghar-Roubane. On le trouve aussi au niveau des argiles de Saïda. Le jurassique supérieur est représenté par les calcaires de Zarifet, de lato, les dolomies de Tlemcen, de Terny et finalement les marno-calcaires d'Ouled Mimoun, Raourai et Hariga.

c. Crétacé :

Il est représenté par la série du crétacé inférieur formant les argiles d'Ouled Mimoun et Sebdou, les argiles de Lamoricière et les grés de Berthelot.

2.1.3. Tertiaire :

Il est représenté par :

a. Eocène :

Cette formation est bien développée dans le massif de Sebaa Chioukh au niveau de la vallée de l'Oued Isser près de la confluence avec Oued Tafna. Elle est constituée par des grès siliceux, jaunes à rougeâtres, à ciment argileux alternant avec des marnes argileuses verdâtres.

b. Miocène :

- Miocène inférieur (burdigalien):

Il débute par une assise conglomératique de base correspondant à des poudingues très durs, formés par des éléments calcaires dolomitiques à ciments calcaireux gréseux. Ces conglomérats se trouvent à l'Ouest du bassin de l'Oued Zitoun et celui de la moyenne Tafna.

La partie supérieur, affleurant le Nord-Ouest du sous bassin de l'Oued Zitoun, est constituée par des argiles marneux de teinte verdâtre au sein des quelle s'intercalent des bancs décimétriques des grés ferrugineux friables.

- Miocène moyen(Helvétien):

Reposant sur le Burdigalien déformé et partiellement érodé, cette formation affleure dans le bassin versant de la Tafna (moyenne Tafna), constitué essentiellement par des argiles marneuses grises ou bleutées.

- Miocène supérieur (Tortonien) :

Formé par des dépôts de grès jaunes peu consolidés, il affleure entre Tlemcen et Remchi, dans le bassin de Sikkak directement sur le Jurassique ; comme c'est le cas au Nord et au Sud de la plaine de Maghnia dans le bassin du Mouilah.

2.1.4. Plio-Quaternaire :

Cette formation est représentée par une série de dépôts discontinus formés par des éléments hétérométriques et hétérogènes. On trouve les faciès suivants :

-Les travertins villafranchiens : ils sont situés en bordures des monts de Tlemcen, et représentés par des travertins fortement consolidés et calcaire lacustres.

-Des marnes rouges avec peu ou pas de galets, plus ou moins tufeuses, parfois très épaisses surtout au niveau du bassin de l'Oued Mouilah ;

-Des anciennes alluvions allant des marnes alluvionnaires verdâtres aux galets en passant par les limons et les graviers.

-Les limons, sables et graviers récents qui s'étendent entre l'oued Mehaguène et la partie Nord-Est de la frontière algéro-marocaine.

2.2. Bassin versant des côtiers oranais :

Vu les données fragmentaires sur ce bassin versant, nous avons établi une synthèse sur les travaux réalisés sur le bassin versant des côtiers oranais ouest et centre, nommés respectivement dans notre étude comme GHA et AIN. On peut distinguer plusieurs unités géologiques (Fig.4).

2.2.1. Sous-bassin versant des côtiers oranais centre :

a. Côtiers d'Ain Témouchent : La région de Ain Témouchent est caractérisée par deux principales unités géologiques : Le sous-sol métamorphique représenté par des unités quartzique et les sédiments volcaniques couverts par les roches Plio-Quaternaires.

b. Sebkhia d'Arzew : la croûte calcaire et des alluvions surmontant les grès du Calabrien au niveau du Plateau de Hassis, de même que le Miocène supérieur formé de marnes- alternées parfois de bancs de gypse (ANRH, 2009). Les Monts d'Arzew dans leur grande partie sont composées du complexe de Schistes plus ou moins calcaires et quartzites et calcschistes à faunes du jurassique sup-Crétacé inférieur ; tandis que dans la partie Nord existent des formations du complexe recouvertes par les dépôts quaternaires alluviaux.

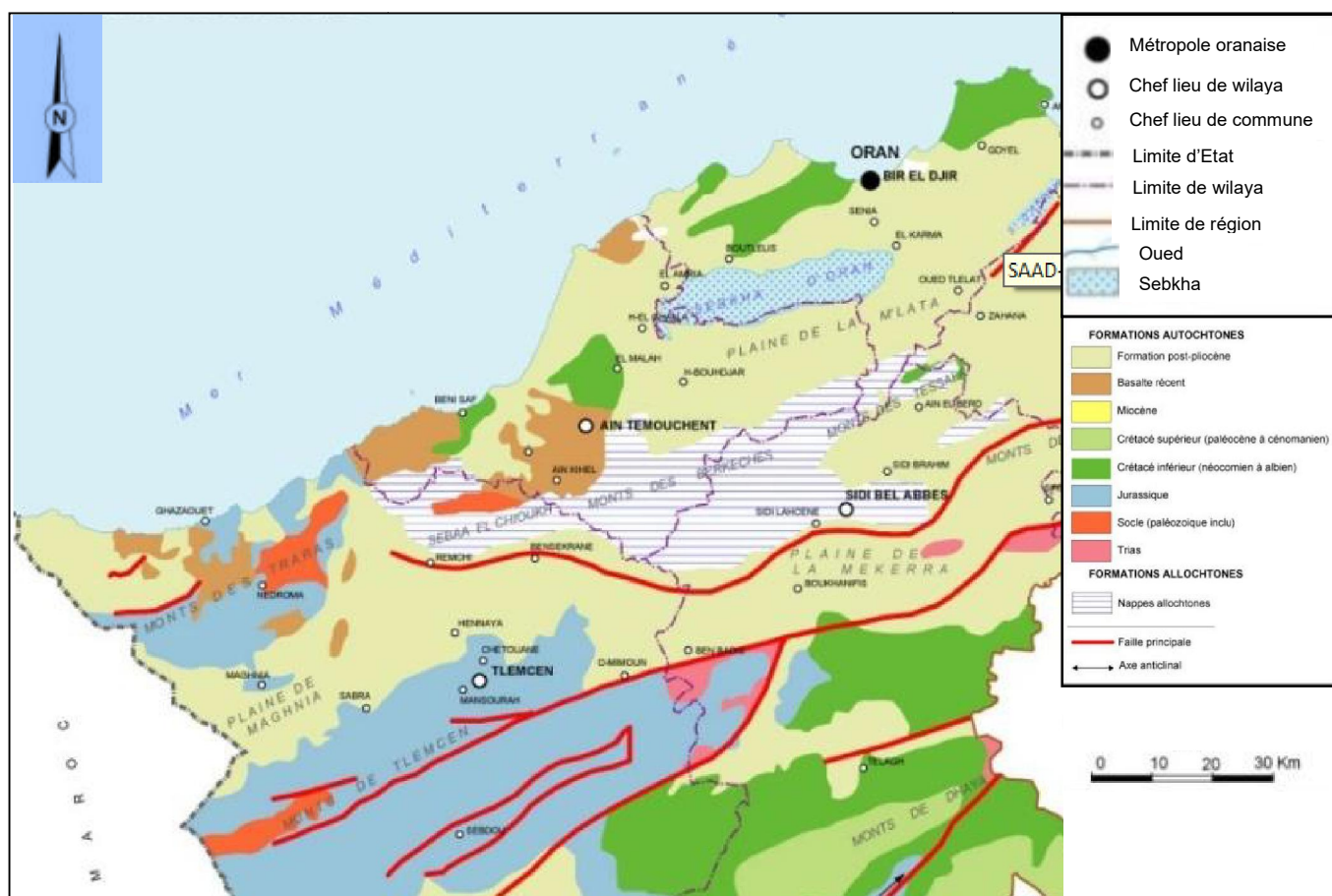


Fig. 4 : Extrait de la carte de l'esquisse géologique du Nord-Ouest algérien.
(Source : Agence Nationale de l'Aménagement du territoire, 2000)

c. Côtiers les Andalouses : il existe des formations dunaires consolidées au niveau de la plaine côtière oranaise, avec quelques lumachelles, poudingues et grès Calabrien, et sables, graviers et argiles quaternaires.

d. Sebka d'Oran : les études géologiques ont mis en évidence une structure constituée par deux grands ensembles : un substratum anté-nappes constitué au Nord par les massifs à schistosités autochtones (Monts du Murdjadjo) et au Sud par un complexe d'unités allochtones (ou nappes) des Monts des Tessala.

2.2.2. Sous-bassin versant des côtiers oranais Ouest :

Le miocène est la phase de l'histoire la plus importante de la région. Les Traras sont constitués aussi d'un ensemble de terrains primaires volcaniques et métamorphiques recouverts par des formations carbonatées jurassiques ainsi que des terrains tertiaires et quaternaire (Benhamou, 1983).

Les principaux ensembles qui constituent le substratum géologique des monts des Trara (Guardia, 1975) sont : L'autochtone et para-autochtone, l'allochtone à affinités rifaines, l'allochtone à affinités telliennes, l'unité numidienne et le complexe triasique.

D'autre part, la description litho-stratigraphique a été donnée par Elmi (1971) et Aneur (1978) distingue deux types de formations :

Les formations carbonatées inférieures :

- Les calcaires des Traras sont légèrement graveleux riche en silex donnant les reliefs doux.

- Les formations non carbonatées :

Ces formations ne se rencontrent que dans la partie orientale, dans le secteur de Honaine-Beni-Ouarsous. Il s'agit d'un massif schisteux entrecoupé de passages conglomératiques.

3. Cadre hydrogéologique:

3.1. Bassin versant de la Tafna :

Le bassin de la Tafna est très marqué par l'existence de plusieurs aquifères, à nappe libre ou captive. Plusieurs nappes peuvent être individualisées (Fig.5) ; on trouve :

a. L'aquifère karstique des monts de Tlemcen :

Trois grands types d'aquifères peuvent être distingués (Collignon, 1986) :

- Les aquifères perchés : Il s'agit des aquifères karstiques entièrement délimités, par des affleurements de terrains peu perméables qu'ils surmontent. Près d'un tiers des impluvia karstiques des Monts de Tlemcen, correspond à ces aquifères qui ont des exutoires représentés par des sources, situées souvent au point bas du mur des roches carbonatées. Toutes les eaux qui s'y infiltrent ressortent donc le long des limites d'affleurement.

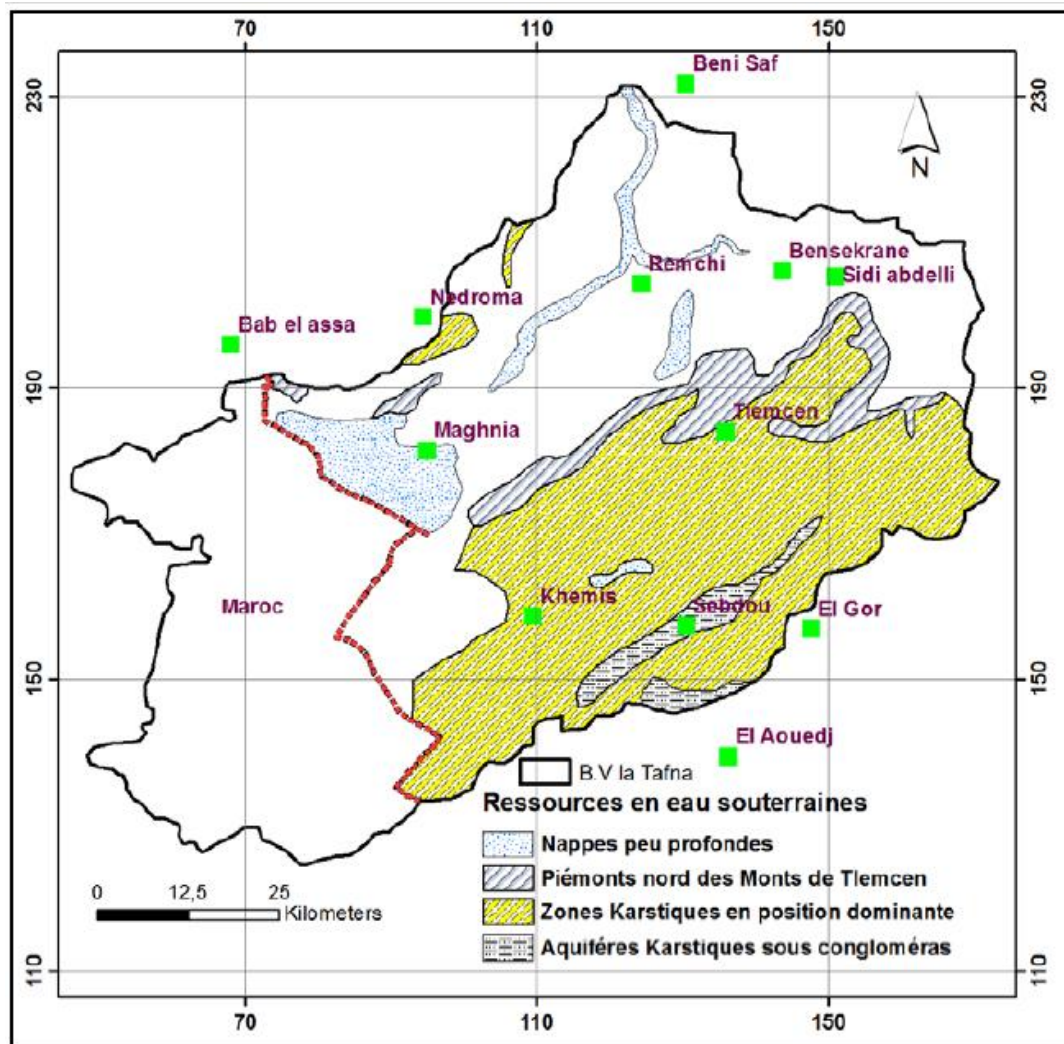


Fig. 5 : Zones aquifères d'après du bassin versant la Tafna (Collignon, 1984)

- Les aquifères à plongement nord :

Sous le Miocène au Nord des Monts de Tlemcen, de nombreux aquifères karstiques s'enfouissant sont isolés les uns des autres par des terrains peu perméables (grès jurassiques et marnes miocènes). Ces aquifères offrent des réserves permanentes, supposant être rechargées par des flux souterrains qui transitent vers le Nord sous le Miocène. La plupart d'entre eux possèdent des exutoires concentrés bien connu

- Les aquifères à plongement sud :

L'alimentation de ces aquifères, se fait selon deux modes principaux: alimentation par les affleurements karstiques et infiltration directe à travers les conglomérats des Hauts Plateaux (alimentation verticale).

b. La nappe d'Hennaya :

L'écoulement de la nappe, se fait du sud jusqu'à la zone de drainage au nord. Les apports proviennent du sud sans échange latérale. D'autre part, la partie transmissive de cette nappe n'atteint pas les reliefs aquifères du Jurassique.

Cependant, Hayane (1983) a supposé l'existence d'une alimentation latérale faible.

Les horizons aquifères de la région sont les grès Tortonien et les sédiments quaternaires.

- Horizon aquifère Tortonien : Il existe au Sud de la plaine. Une partie de l'aquifère est occupé exclusivement par des grès friables, tandis que l'autre partie est recouverte de graviers et graviers argileux.

- Horizon aquifère alluvial : Les conglomérats représentent la couche la plus importante de l'aquifère formant un complexe aquifère commun avec les travertins, graviers et graviers argileux.

c. La nappe de Maghnia :

La partie transmissive de cette nappe se développe au Nord des Monts de Tlemcen, où le Jurassique est représenté par les grès de Boumediene. Cette nappe peu profonde est sujette à de forte exploitation en raison de sa faible profondeur (Adjim, 2004), ce qui la rend plus accessible par simple puits.

Selon Bonnet (1966), son alimentation se fait par:

- Infiltration directe des précipitations ;
- Les Oueds venant du territoire marocain ;
- Le déversement souterrain latéral des roches du Jurassique.

D'après Bonnet (1966), les modèles mathématiques ont été construits avec l'hypothèse d'une alimentation latérale nulle à partir des Monts de Tlemcen.

d. Les nappes alluviales :

Il s'agit surtout des nappes de la moyenne et basse Tafna, qui suivent le cours d'eau de la Tafna depuis Hammam Bouhrara jusqu'à l'embouchure. Ce sont des nappes de faible réserve d'emmagasinement, soumise à des exploitations agricoles (Ziani et Moumouche, 1991).

3.2. Bassin versant des côtiers oranais :

3.2.1. Bassin versant des côtiers oranais centre:

Il existe plusieurs unités hydrogéologiques (Fig.6) caractérisées par de faibles potentialités, dont la plus importante est celle de la Karstique du Murdjadjo. On peut citer :

a. Le complexe karstique de Murdjadjo : il s'agit d'un système d'aquifère à surface lisse, plus ou moins compartimenté qui a une capacité de régulation variée.

b. La nappe de la plaine de Brédéah : une partie est contaminée par des infiltrations de sel à cause des nombreux pompages effectués sur cette bordure. Le reste de la nappe n'est pas touchée par le processus de salinisation.

c. La nappe de la plaine côtière d'Ain Turk : elle est constituée d'aquifères multicouche à nappe libre avec un ou plusieurs aquifères profonds.

3.2.2. Bassin versant des côtiers oranais ouest:

Parmi les formations aquifères considérés comme des aquifères potentielles, on peut citer :

3.2.2.1. Les aquifères Plio-Quaternaire :

a. Les alluvions :

- Nappe alluvionnaire d'Oued Ghazouanah : avec superficie de 51,20 km², cette nappe est la plus importante. Les alluvions sont constitués surtout de dépôts assez grossiers très superficiels souvent secs, de sables et des graviers à éléments plus grossiers.

- Nappe alluvionnaire d'Oued Abdellah.

- Nappe superficielle d'Oued El-Bir

b. Aquifère des basaltes : C'est un aquifère semi continu, dont la superficie est plus importante au Sud de la commune de Ghazaouet.

3.2.2.2. L'aquifère du Lias :

Les alluvions qui constituent cette nappe sont souvent sous forme de limons, gros sables et graviers. Les puits creusés, dans la majorité des cas, n'ont pas atteint le substratum imperméable.



Fig. 6 :Extrait de la carte hydrogéologique de la région de Ghazaouet (A.N.R.H, 2008)

(Légende : page 22)

Chapitre 3 :
Etude bioclimatique

Chapitre 3: Etude bioclimatique

Nous présentons notre étude établie par les données météorologiques : (Températures et Précipitations) sur une période comprise entre 6 et 10 ans, enregistrées aux niveaux de quatre stations météorologiques de référence couvrant le secteur d'étude. Leurs principales caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-dessous (Tableau 1).

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des stations météorologiques.

Stations météorologiques	Latitude	Longitude	Altitude
Zenâta	34°09'N	1°30'W	249 m
Maghnia	34°82'N	1°78'W	426 m
Béni-Saf	35°30'N	1°35'W	68 m
Chouly	34°88' N	1°13' W	724 m

1. Températures :

Les résultats des températures moyennes mensuelles sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Températures moyennes mensuelles des différentes stations.

Mois Stations	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Zenâta (2006-2015)	10,5	11,1	13,1	15,7	19,1	22,7	26,2	26,55	23,07	19,66	14,71	11,33
Béni-Saf (2010-2015)	13,75	14,77	15,63	17,97	20,80	24,15	26,92	27,75	24,90	21,93	17,45	14,77
Chouly (2005-2014)	7,92	7,443	10,94	14,495	18,515	22,54	26,496	27,172	21,9	17,895	11,875	9,83
Maghnia (2006-2015)	10,46	11,26	13,71	16,76	20,37	24,38	28,23	28,35	23,51	20,46	15	11,54

Les moyennes mensuelles des températures représentent la même fluctuation pour les quatre stations météorologiques. Durant le mois d'Aout, la température atteint la valeur maximale variant entre 26,5°C (Chouly) et 28,3°C (Maghnia). Tandis que le mois de Janvier, elle enregistre la valeur minimale variant entre 7,92°C (Chouly) et 13,75°C (Béni-Saf) (Fig.7).

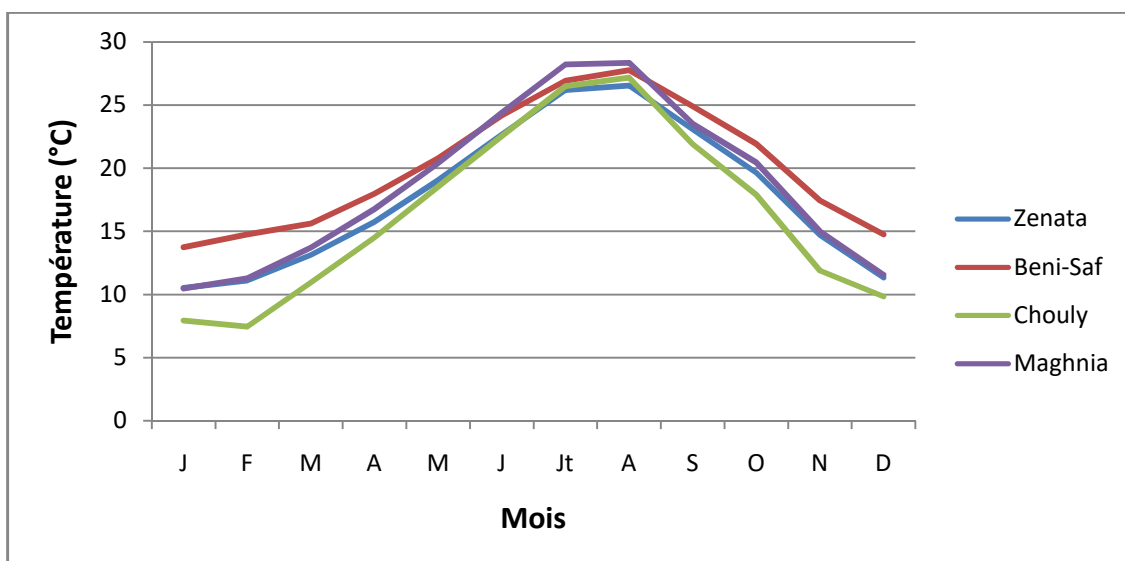


Fig.7 : Températures moyennes mensuelles.

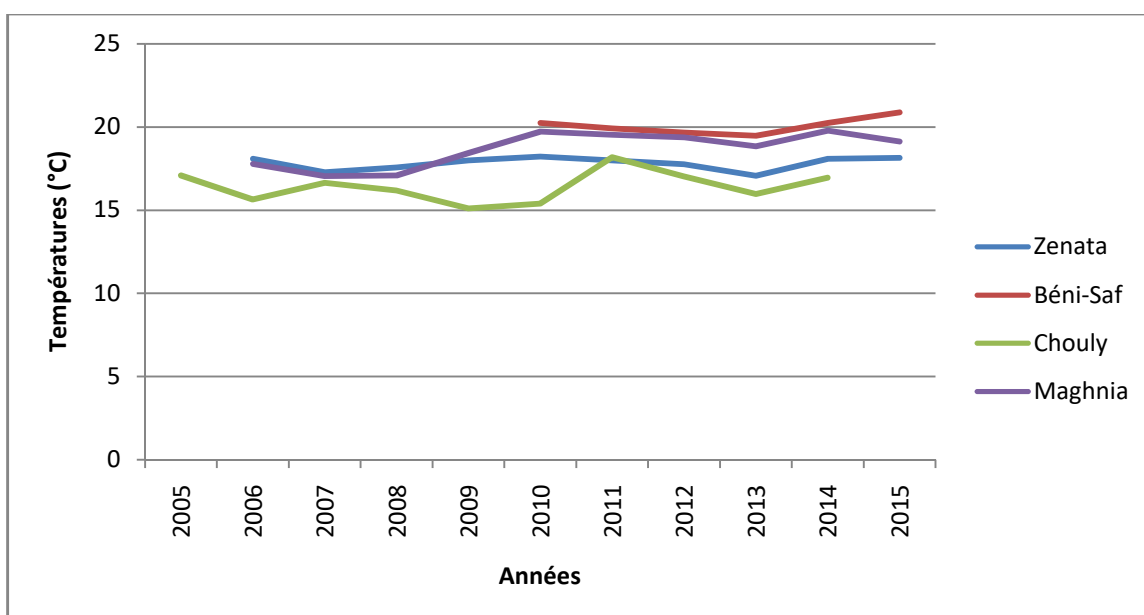


Fig.8 : Températures moyennes annuelles.

D'autre part, les températures moyennes annuelles indiquent des fluctuations plus ou moins importantes pour les quatre stations. Globalement, elle est importante dans la station de Béni-Saf avec une valeur moyenne de 20,07°C durant la période 2010-2015, suivie par, la station de Maghnia avec une moyenne de 18,67°C entre les années 2006 et 2015, la station de Zenâta avec une moyenne de 17,81°C durant la période 2006-2015, et enfin la station de Chouly avec une moyenne de 16,42°C entre 2005-2014 (Fig.8).

2. Précipitations :

Djebaili (1978) définit la pluviosité comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type de climat.

Les résultats des précipitations moyennes mensuelles sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Précipitations mensuelles moyennes (en mm) des différentes stations.

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Zenâta (2006-2015)	106,47	107,12	63,7	74,29	54,28	13,37	2,26	5,54	46,88	66,95	97,25	91,23
Béni-Saf (2010-2015)	142,42	69,82	93,77	54,50	54,77	7,43	1,68	3,08	44,58	54,25	128,60	64,20
Chouly (2005-2014)	54,08	55,99	44,22	48,57	32,69	13,06	1,85	3,71	36,15	33,53	62,49	71,15
Maghnia (2006-2015)	59,59	41,38	42,9	43,27	41,56	5,57	6,42	7,73	13,31	49,52	125,49	54,47

Les mois les plus pluvieux selon l'ordre décroissant des valeurs mensuelles moyennes des différentes stations sont comme suit : Janvier (142,42 mm – Béni-Saf), Novembre (125,49 mm – Maghnia), Février (107,12 mm – Zenâta) et Décembre (71,15 mm – Chouly), alors que les mois les plus secs sont Juin pour la station de Maghnia (5,57 mm), et Juillet pour les stations de Zenâta (2,26 mm), Chouly (1,85 mm) ainsi que celle de Béni-Saf (1,68 mm) (Fig.9).

La série de données utilisées présente une variation interannuelle plus ou moins importante pour les quatres stations (Fig.10). L'année 2011 marque la valeur moyenne mensuelle maximale pour les stations de Zenâta (96,41 mm), Maghnia (100,42 mm) et Béni-Saf (71,19 mm). Tandis que la valeur maximale a été enregistrée durant l'année 2013 pour la station de Chouly (50,95 mm).

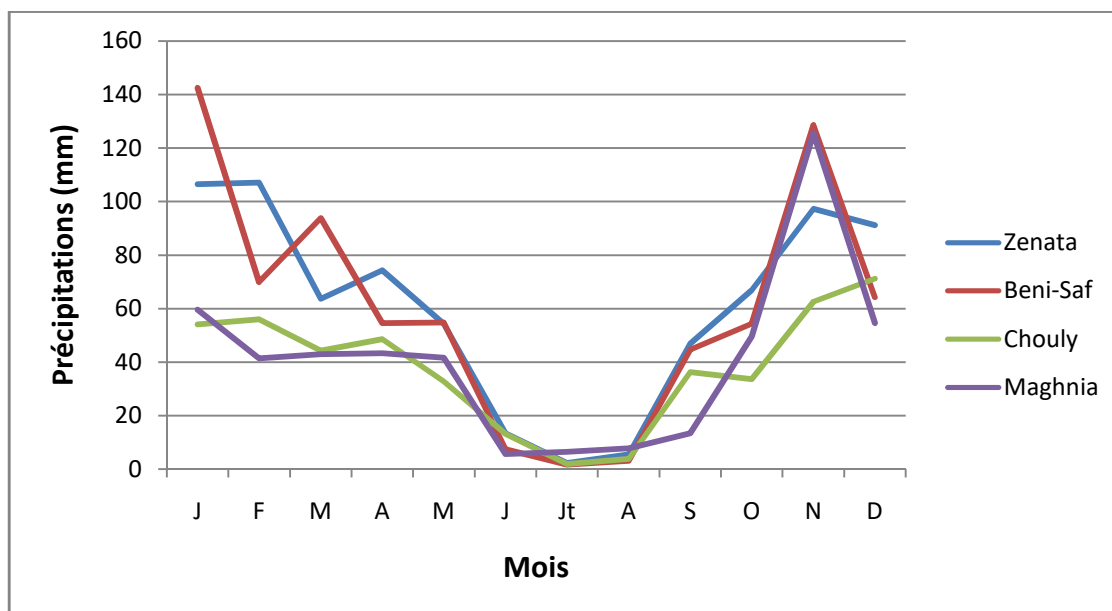


Fig.9 : Précipitations moyennes mensuelles.

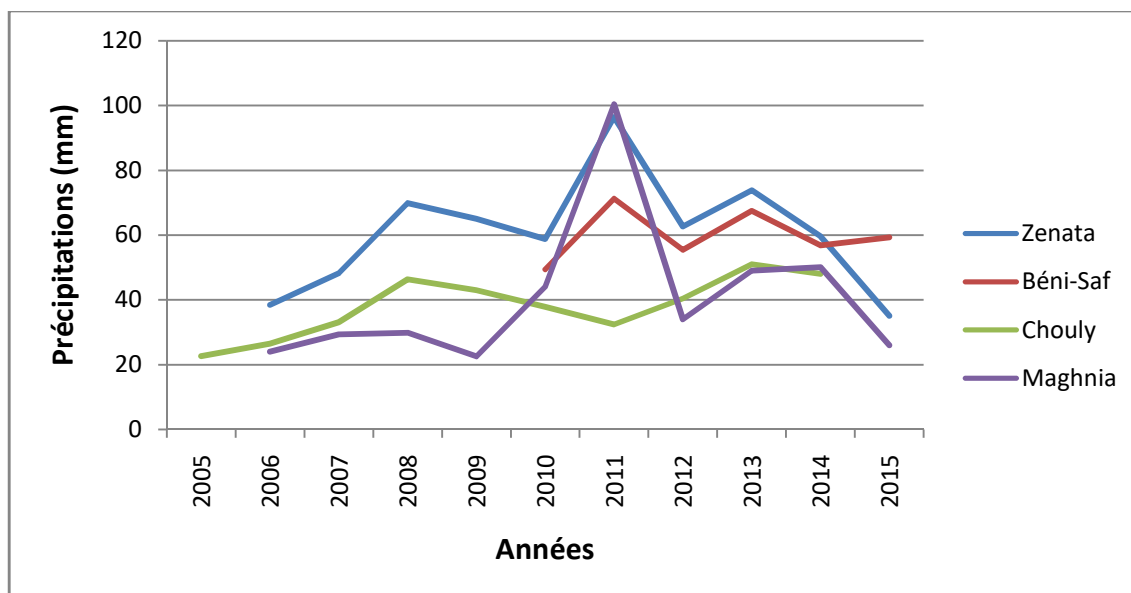


Fig.10 : Précipitations moyennes annuelles.

3. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN :

Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953), représente, pour les douze mois, les courbes des températures et des précipitations. L'axe des ordonnées doit être graduée de telle sorte que $P=2T$. Cela permet de représenter le déroulement annuel des précipitations, des températures et distinguer à l'aide de l'intersection de ces deux courbes deux périodes. La première froide et humide où la courbe de précipitations est au dessus de celle des températures. La seconde est considérée chaude et sèche.

Les Diagrammes Ombrothermiques des quatres stations météorologiques, de la figure 11, établis, à partir des donnés pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles, exposent une période sèche allant du mois de Mai au mois de Septembre pour les stations de Zenâta et Béni-Saf, et du mois de Mai au mois d'Octobre pour les stations de Chouly et Maghnia.

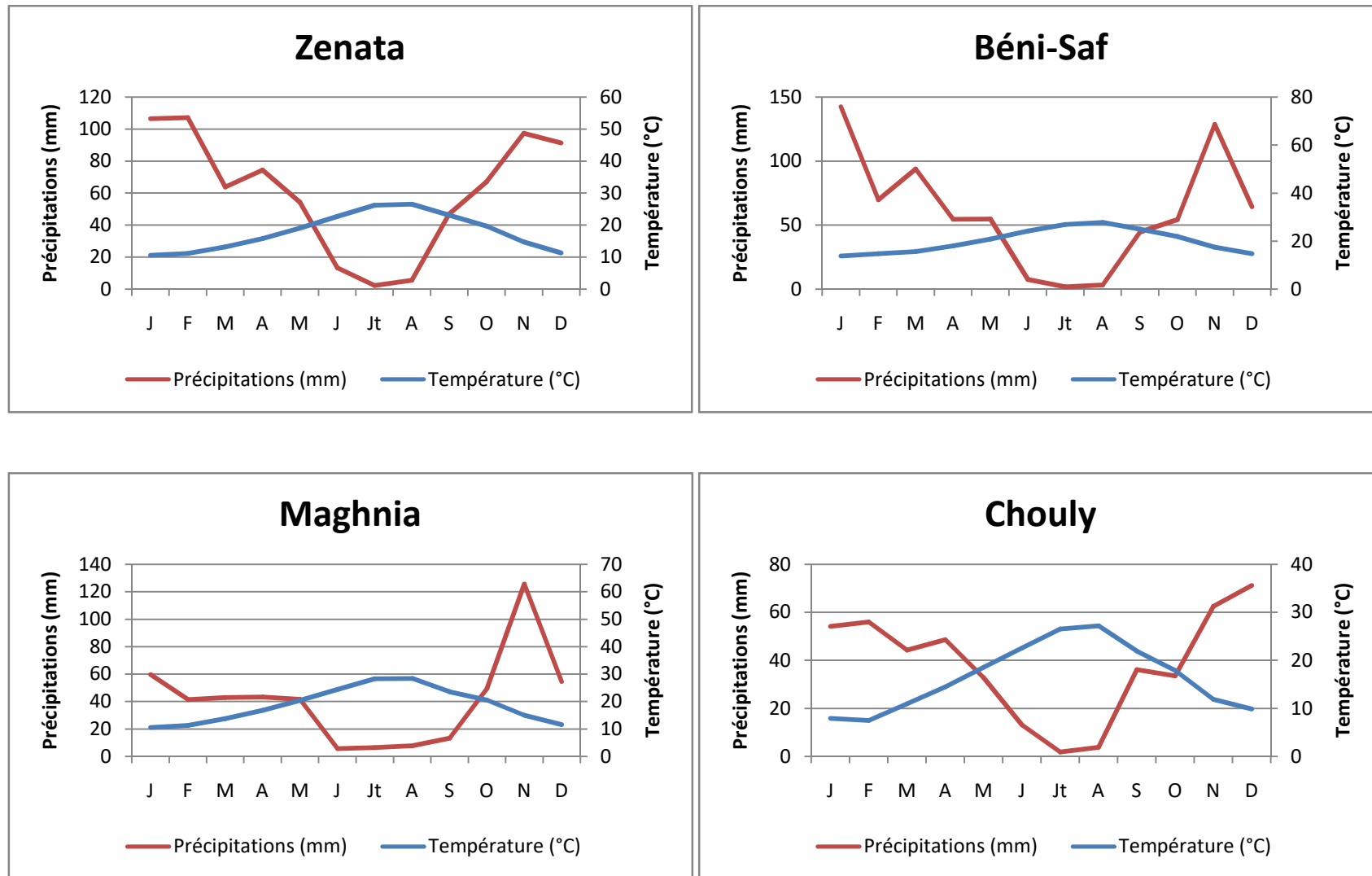


Fig. 11: Diagrammes Ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) pour les quatre stations météorologiques.

Chapitre 4 :
Matériels et Méthodes

1. Echantillonnage :

63 puits (Annexe A) ont fait l'objet de notre étude entre Mars 2010 et Novembre 2013, durant les deux périodes hydrologiques à savoir la période des hautes eaux (de Novembre à Avril) et basses eaux (de Mai à Octobre) (Annexe B). Les puits choisis sont répartis entre deux bassins versants, le bassin de la Tafna et le bassin des côtiers oranais. Le premier bassin rassemble les sous-bassins suivants : Mouilah (MOU), Sikkak (SIK), Isser (ISS), Exutoire (EXUT) et moyenne Tafna (TAF). Tandis que le deuxième comprend les sous-bassins de Cotier oranais ouest nommé dans notre étude Ghazaouet (GHA) et celui de Cotier oranais central nommé dans la présente étude Ain Temouchent (AIN).

1.1. Méthode d'échantillonnage de la faune :

Des méthodes d'échantillonnage différentes sont adaptées à la faune aquatique qui compose un puits. Ainsi, il est souvent nécessaire d'avoir recours à des techniques multiples qui présentent chacune des avantages et des inconvénients (Graf, 1966 ; Vigna Taglianti, 1969).

Pour le présent travail, nous avons procédé à la technique du filet de Mittelberg dérivé du classique filet phréatobiologique Cvetkov (1968) et des pièges appâtés de type nasse mise au point par Boutin et Boulanouar (Boutin et Boulanouar, 1983). Le choix de ces deux méthodes à la fois nous permet d'avoir une idée sur l'ensemble de la zoocénose présente dans les puits. Cependant, le filet phréatobiologique permet une récolte de tout ce qui nage en pleine eau y compris le plancton. Tandis que la nasse, faisant partie des pièges les plus communément utilisés selon les ouvrages classiques (Vandel, 1964 ; Ginet et Decou, 1977), permet à la microfaune du fond, attirée par l'appât, de pénétrer et d'être piégée dans le piège posé à plat au fond du puits.

1.1.1. Filet phréatobiologique:

Cette technique fut immédiatement adoptée par les biospéologues roumains et italiens qui modifièrent légèrement la présentation de l'appareil (Vigna Taglianti et al. 1969).

Le filet phréatobiologique (Fig.12) mis au point d'abord par Cvetkov (1968), puis modifié, est composé d'un cône filtrant en soie à bluter (150 μ m de vide de maille) et monté sur un cercle métallique lesté, de 35 cm de diamètre à l'ouverture.

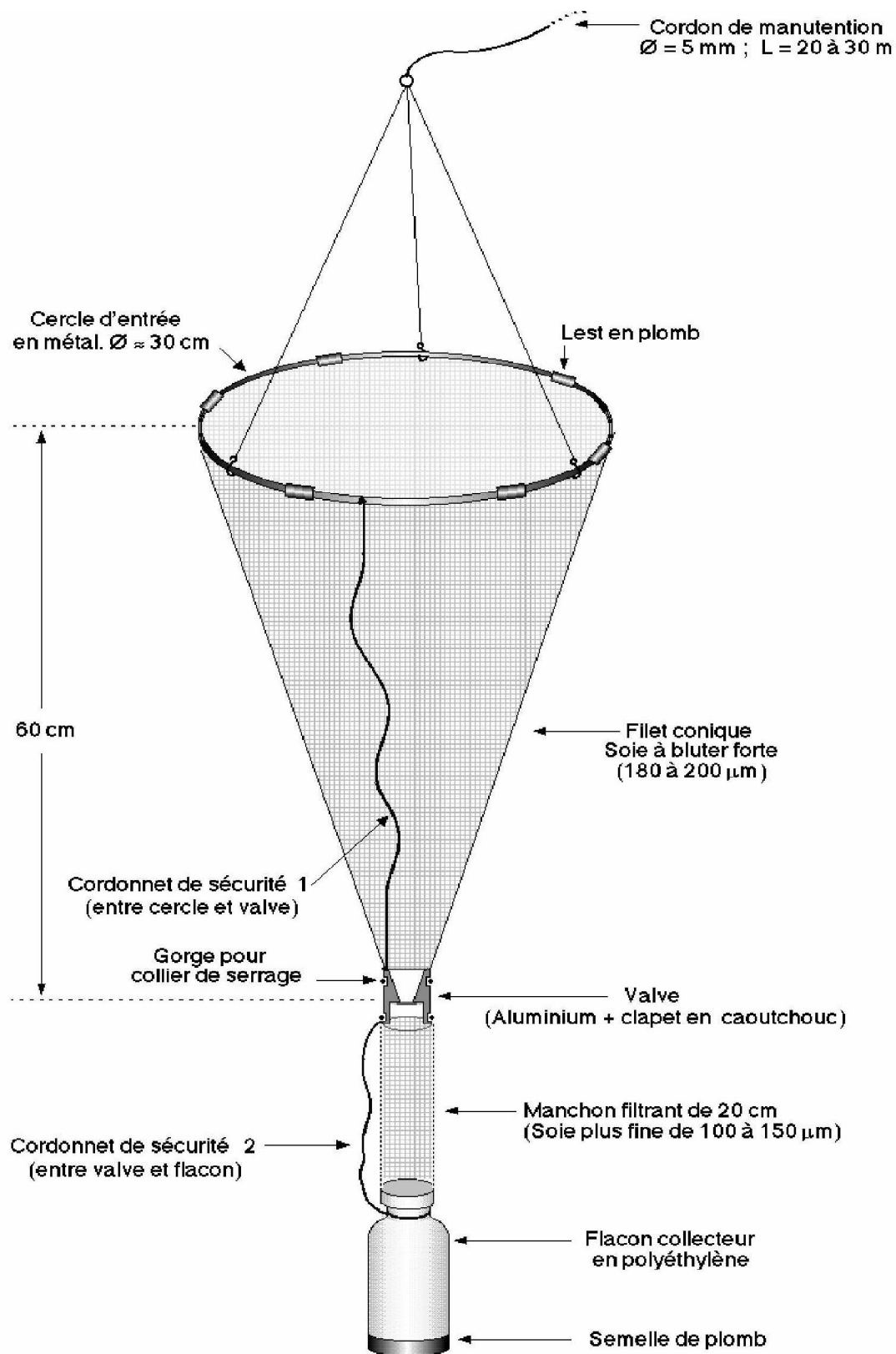


Fig.12 : Schéma d'un filet phréatobiologique (Ait Boughrous, 2007).

Un clapet en caoutchouc est attaché à la base permettant l'entrée de la faune nageuse lors de la remontée du filet et empêchant sa perte pendant la descente (Boutin et Boulanouar, 1983). Au dessous de ce clapet, un manchon filtrant en soie à bluter de 5 cm de diamètre, relié de l'autre côté vers le bas par un réservoir en plexiglas de 5 cm de diamètre et lesté inférieurement par un cylindre métallique.

Une sangle relie le filet qui sert à le manipuler, lors d'une série de tractions successives énergiques entre la surface et le fond du puits, en créant un mouvement de l'eau qui chasse les sédiments et la faune associée qui peut être capturée.

L'expérience a montré que dix coups de filet sont généralement suffisants (Fig.13), pour obtenir un échantillon représentatif et semi-quantitatif du peuplement d'un puits (Idbennacer, 1990).

L'efficacité de ce mode de prélèvement a été montrée par plusieurs auteurs (Boulanouar, 1986 ; Boulal, 1988; Yacoubi-Khébiza, 1990 ; Fakher El Abiari, 1999).

1.1.2. Pièges appâtés :

Cette technique de prélèvement vient compléter l'utilisation de la méthode précédente, plus efficace pour la récolte de la faune rampante, notamment les Isopodes. Il s'agit d'une nasse (Fig.14) mis au point par Boutin et Boulanouar (1983), constituée d'une bouteille en plastique de 1.5 litre dont le fond a été découpé et remplacé par une partie d'une autre bouteille semblable, sectionnée au tiers supérieur qui est inversé formant ainsi un entonnoir qui permet ainsi l'entrée de l'animal attiré par l'appât mais empêche sa sortie. Afin de laisser l'air sortir de la bouteille principale lors de l'immersion, son bouchon a été remplacé par un morceau de soie à bluter. L'appât utilisé est constitué d'un fragment de viande fraîche avec quelques morceaux de salade verte. Une fois la nasse appâtée, elle est placée sur le fond du puits par une corde dont son remplissage et sa descente sont facilités par des lests de plomb. Une période de séjour des pièges de 24 heures a été choisie.

1.2. Traitement des échantillons :

Les échantillons obtenus sont mis dans l'éthanol 95% puis amenés au laboratoire, où ils ont fait l'objet d'une détermination à l'aide d'une loupe binoculaire, en se basant sur des clés de détermination (Tachet et al. 1980 ; Tachet et al. 2000), puis conservés dans des tubes remplis d'éthanol 75%.

Nous avons remplacé le formaldéhyde par l'éthanol 95% pour une identification moléculaire des espèces du genre *Typhlocirolana*.

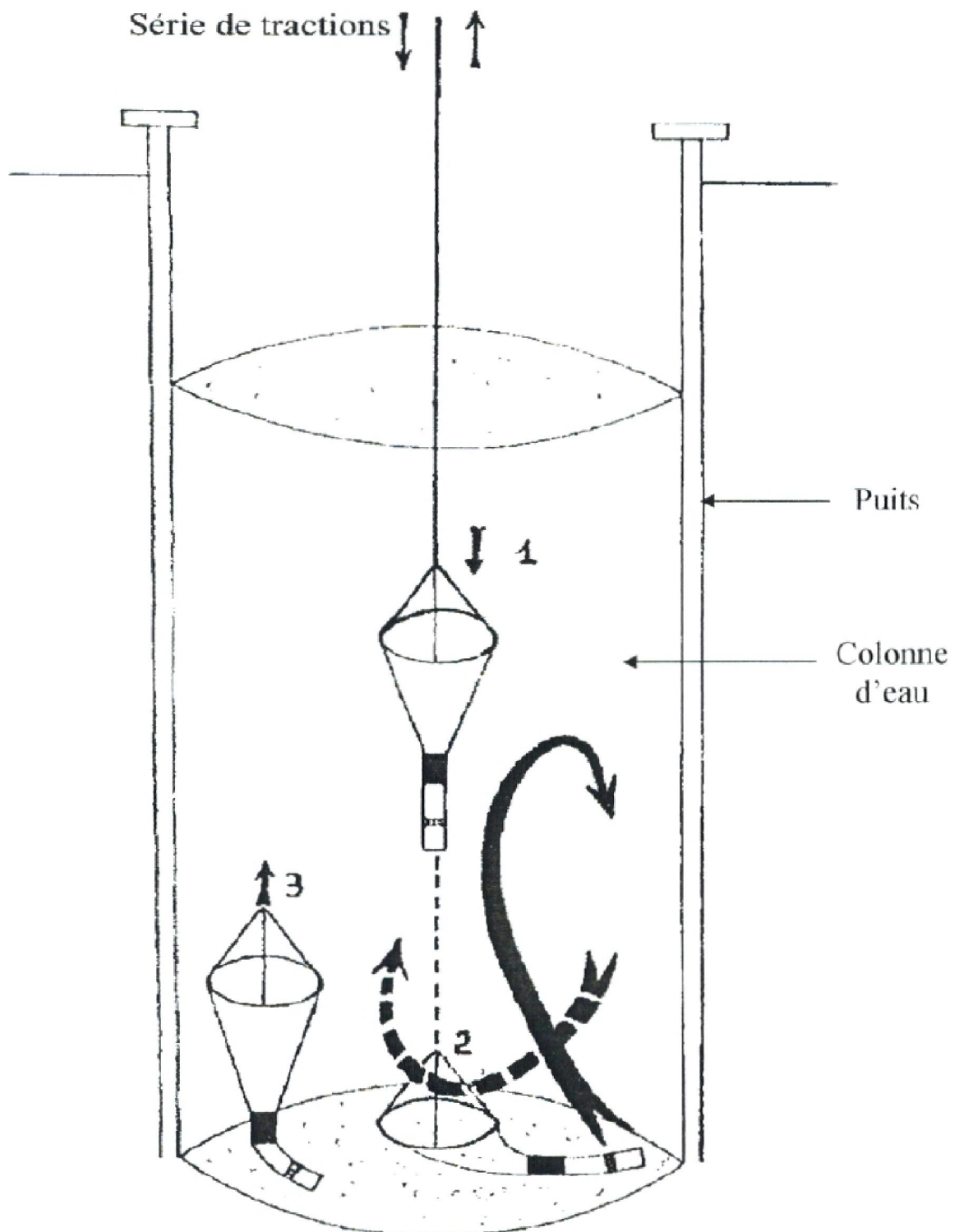


Fig.13 : Utilisation du filet phréatobiologique dans le puits (1, 2, 3 : positions successives du filet pendant les séries de tractions). (Bou, 1974).

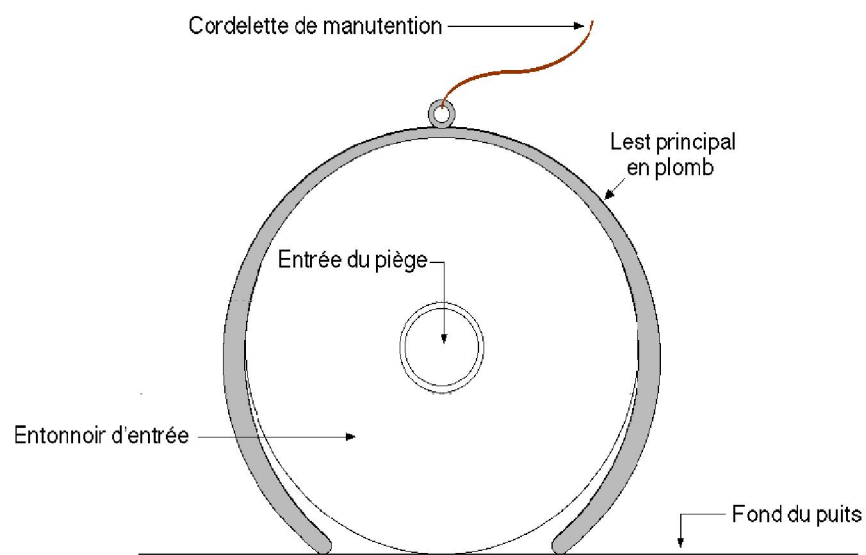
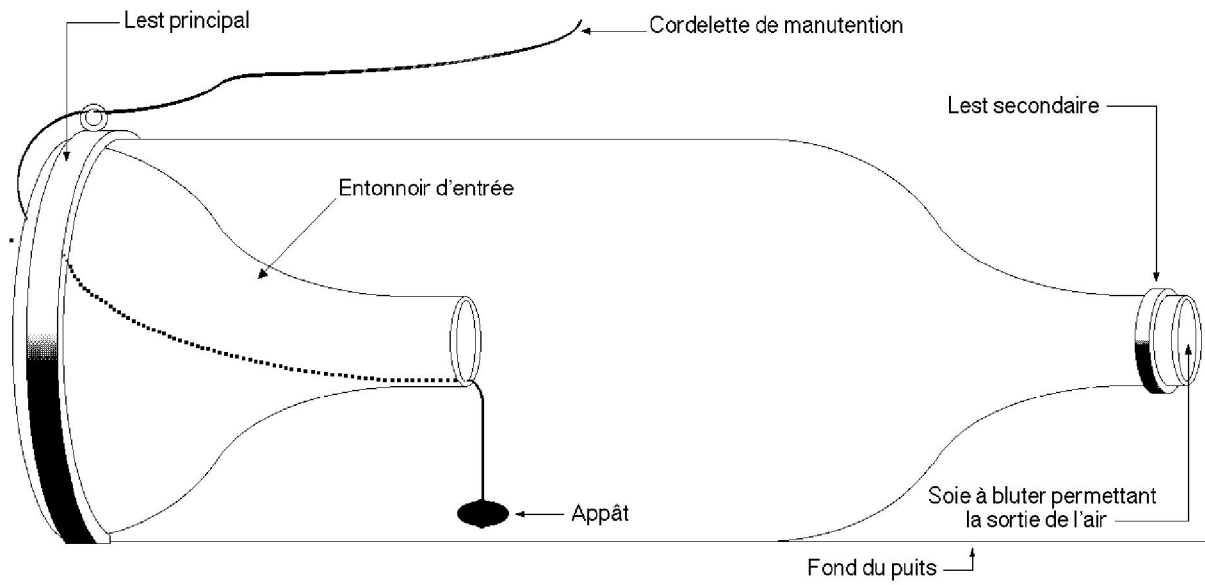


Fig.14: Schéma d'une nasse (Ait Boughrous, 2007).

Une partie de la faune stygobie a été révisée au laboratoire d'Hydrobiologie à l'Université Cadi Ayad de Marrakech (Maroc). Néanmoins, le matériel examiné de quelques puits concernant les Isopodes Cirolanidae du genre *Typhlocirolana* a fait l'objet d'une identification préliminaire jusqu'à l'espèce par Mr. Boulanouar.

De même, les Isopodes Asellidae du genre *Proasellus* ont fait aussi l'objet d'une détermination par Mr. Boulanouar jusqu'à l'espèce. La méthode utilisée dans ce travail est la méthode classique basée sur la comparaison des dessins de différentes pièces du corps après une dissection.

Quant aux Amphipodes, les spécimens ont été identifiés jusqu'à la famille, celle des Bogidiellidae lors d'une observation directe de Mr. Messouli.

La détermination spécifique des individus du genre *Typhlocirolana* (Isopodes Cirolanidae) avec leur révision ont été réalisées à l'institut d'étude des écosystèmes de Florence – Conseil National de Recherche (Italie) sous la direction de Mr. Messana. Ainsi, et sous une loupe binoculaire, nous avons disséqué entièrement les spécimens et submergé les différentes pièces (antennes, antennules, périoopodes, pléopodes, pièces buccales, uropodes, pléotelson) dans des lunettes remplies d'eau. Après quelques minutes, nous avons mis ces pièces dans une goutte d'un produit colmatant qui a été posée entre une lame et une lamelle, puis les laissés sécher dans une étuve. A la fin de l'opération, nous avons pris chaque lame sous un microscope muni d'une chambre claire, et au crayon nous avons dessiné soigneusement chaque pièce du corps dans une feuille avec tous les détails. Les figures ont été recomposées en utilisant le programme GIMP 2.8.14 (Montesanto, 2015).

2. Niveau piézométrique :

Castany (1998) souligne que la surface piézométrique que nous mesurons, constitue la limite supérieure de la nappe. Etant l'altitude du niveau d'eau, en équilibre naturel, dans l'ouvrage, elle est calculée par la différence entre la cote du sol (repère sur l'ouvrage) et la profondeur de l'eau (Walton et Walker, 1961 in Castany, 1998).

Le niveau piézométrique a été mesuré à chaque prélèvement à l'aide d'une sonde, en considérant la profondeur du niveau supérieur de la nappe au dessous du sol au lieu de l'altitude du toit de la nappe par rapport à la mer.

3. Analyse physico-chimique de l'eau :

Les paramètres physico-chimiques permettant de définir les caractéristiques fondamentales de l'eau ont été mesurés sur le terrain entre les années 2010 et 2013 au niveau des sept sous-bassins versants appartenant à deux bassins versants, ceux de la Tafna et des côtiers oranais (Annexe C). A chaque campagne des mesures in situ ont été effectuées au niveau de chaque point d'eau.

3.1. Température :

La température de l'eau a été prélevée à l'aide d'un thermomètre à mercure gradué au 1/10 de degrés Celsius (°C)

3.2. pH :

Les mesures du pH ont été effectuées à l'aide d'un pH-mètre de type (WTW).

3.3. Conductivité électrique :

La conductivité électrique de l'eau ainsi que la salinité a été mesurée par un conductivimètre de type (WTW) et exprimée en micro Siemens par centimètre ($\mu\text{S} / \text{cm}$).

3.4. Oxygène dissous :

L'oxygène dissous a été mesuré à l'aide d'un oxymètre de type (WTW), exprimé en pourcentage de saturation ou en mg/l.

4. Traitement des données :

4.1. Aperçu sur les tests statistiques utilisés :

4.1.1. Analyse de la variance par permutation (PERMANOVA) :

La PERMANOVA (Analyse de la variance par permutation) (Anderson 2001, 2005) est un type d'analyse statistique permettant d'éviter la transformation des données –ou quand celle-ci n'est pas possible- pour répondre aux postulats de base d'une ANOVA classique qui est la normalité des résidus et l'homogénéité de la variance à laquelle la PERMANOVA est plus robuste (Chapman et Underwood, 2008). Elle permet de tester l'effet du facteur traitement sur les indices de dissimilarité par un test de permutation (Ramula et Pihlaja, 2012).

4.1.2. Analyse en coordonnées principales (PCO ou PCoA) :

Décrite par Gower (1966), est une méthode multivariée basée sur les vecteurs propres pour représenter des objets ou des variables. Elle essaie de représenter dans un système de coordonnées cartésiennes une configuration de n objets (ou

échantillons), défini par une matrice $n \times n$ de dissimilarités (distances) ou de similarités entre ces objets.

4.1.3. Analyse canonique de correspondance (ACC ou CCA) :

L'Analyse Canonique des Correspondances (ter_Braak, 1986) est une méthode statistique descriptive multidimensionnelle qui présente des analogies à la fois avec l'analyse en composantes principales (A.C.P.), pour la construction et l'interprétation de graphiques, et avec la régression linéaire, pour la nature des données. Elle s'emploie pour étudier les relations entre un tableau X de paramètres mésologiques et un tableau Y de relevés faunistiques ou floristiques. Fondamentalement le tableau Y est considéré comme relevant de l'analyse des correspondances.

4.1.4. Test de permutation Monte-Carlo :

Les simulations de Monte Carlo permettent de tester l'hypothèse que la valeur d'un indicateur est le résultat d'un processus aléatoire. Si cette hypothèse est rejetée, alors la valeur de cet indicateur est jugée significative.

L'importance des tests de permutation réside dans leur flexibilité et leur robustesse lorsque les suppositions statistiques des tests paramétriques habituels ne sont pas valides. Ils permettent le choix complet de la statistique du test appropriée au problème en main (Elftouh, 2008).

4.2. Traitement statistique :

Une analyse de la variance par permutation (PERMANOVA; Anderson et al. 2008) a été utilisée pour tester la différence entre les paramètres physico-chimiques suivants : la température de l'eau (°C), l'oxygène dissous (% de saturation), la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$), la salinité et le niveau piézométrique. Deux facteurs fixe et orthogonal ont été utilisés: SAISON (2 niveaux: D – basses eaux, W – hautes eaux) et BASSIN (7 niveaux: AIN, GHA, MOU, ISS, SIK, EXUT, TAF). Le pH est exclu de PERMANOVA parce que les valeurs moyennes et l'écart-type des deux périodes hydrologiques (basses et hautes) sont très proches les unes des autres (D: $\text{pH} = 7.50 \pm 0.31$; W: $\text{pH} = 7.48 \pm 0.29$). Les variables de la qualité de l'eau (Annexe C) sont normalisées avant PERMANOVA. Levene tests a été réalisé afin de vérifier l'homogénéité des valeurs. Post hoc *t*-tests a été appliqué lorsque cela était approprié pour tester les différences entre les niveaux du facteur BASIN. Une analyse en coordonnées principales (PCO; Gower, 1966) a été ensuite appliquée sur

la base de la matrice de ressemblance euclidienne utilisée pour PERMANOVA pour réduire la dimensionnalité du nuage de données et permettre de respecter le modèle mis en évidence par PERMANOVA. Afin de visualiser des relations linéaires > 70% entre l'ensemble des variables et les axes d'ordination, nous avons ajouté les vecteurs des variables sur les sorties graphiques PCO.

Une analyse de variance par permutation a été utilisée pour tester les différences dans les assemblages faunistiques (51 taxons) selon les mêmes facteurs appliqués pour la matrice physico-chimique. Les données biologiques $\log_{10}(x+1)$ ont été transformées avant PERMANOVA. Levene tests ont été effectués afin de vérifier l'homogénéité des variances. Une PERMANOVA supplémentaire a été effectuée sur une matrice réduite constituée des abondances des 5 taxons les plus dominants (Ostracoda, Culicidae, *Typhlocirolana*, Cyclopidae et Daphniidae) sous les mêmes conditions de test. Les analyses de PERMANOVA et PCO ont été effectuées en utilisant PRIMER v.6 et PERMANOVA + routines pour PRIMER (Anderson et al. 2008).

Une PERMANOVA supplémentaire a été effectuée afin d'évaluer si l'hydrochimie et les données biologiques distinguent les types hydrogéologiques des aquifères étudiés. En détail, nous avons effectué une PERMANOVA unidirectionnelle avec le facteur TYPE composé de deux niveaux (L = littoral, et C = continental).

Enfin, les relations entre les variables environnementales et la composition des assemblages des taxons d'invertébrés des eaux souterraines ont été étudiées en combinant les ensembles de données faunistiques et environnementales en utilisant une analyse canonique de correspondance – ACC ou CCA (ter Braak et Verdonschot, 1995) par ADE4 (Thioulouse et al. 1997).

Les variables incluses dans ces analyses étaient : Géologie (l'âge des formations géologiques), altitude, température de l'eau, pH, oxygène dissous, salinité, conductivité électrique, niveau piézométrique, profondeur du puits, diamètre du puits, distance par rapport à la mer et distance par rapport à la rivière. CCA a été effectuée sur $\log_{10}(x + 1)$ des données d'abondance des invertébrés transformées. La signification de chaque variable environnementale dans l'explication de la variation dans les données biologiques a été ensuite évaluée à l'aide de test de permutation Monte-Carlo (100 000 perms). La matrice est composée de 628 échantillons (site x date), 12 variables environnementales et 51 taxons.

4.3. Indices écologiques :

4.3.1. Caractéristiques analytiques :

Les caractéristiques analytiques renseignent sur l'importance, la place et l'influence d'une espèce au sein d'un peuplement. Parmi les descripteurs classiques utilisés on peut citer :

- La richesse spécifique : C'est le nombre total d'espèces (Taxons) présentes dans le prélèvement.
- Abondance totale : C'est le nombre d'individus d'une espèce récoltés dans le prélèvement considéré.
- Abondance relative: C'est l'abondance d'une espèce par rapport à l'abondance totale des individus de toutes les espèces du prélèvement. Elle est exprimée en pourcentage.

$$Da = \frac{Ni}{Nt} \times 100$$

Ni : Nombre d'individus de l'espèce «i» ; Nt : Nombre total d'individus des espèces du prélèvement.

4.3.2. Indices de diversité :

Selon Costello et al. (2004) les indices de diversité les plus utilisés sont l'indice de richesse spécifique de Margalef suivi par l'indice de diversité de Shannon-Weaver (Salas et al. 2006).

Indice de Shannon et Weaver (H') :

L'indice de diversité spécifique de Shannon et Weaver est une mesure de composition spécifique en relation avec la dominance (Pi) des différentes espèces de l'échantillon (Daget, 1976), il est exprimé par la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^{i=s} Pi \log_2 Pi$$

Avec :

H' : Indice de Shannon ;

pi : Abondance relative de l'espèce i ;

H' varie de 0 lorsque tous les individus appartiennent à la même espèce vers un nombre positif plus ou moins grand lorsque les individus sont répartis entre différentes espèces.

Indice d'équitabilité de Pielou (J') :

L'équitabilité constitue une seconde dimension fondamentale de la diversité, (Ramade, 1984). Selon Dajoz (1985), c'est la distribution du nombre d'individus par espèces. Il est donné par la formule suivante :

$$J' = \frac{H'}{H_{max}}$$

Avec :

$H_{max} = \log_2 S$;

H' : indice de Shannon ;

S : le nombre d'espèces récolté dans le prélèvement.

L'indice de d'équitabilité varie entre 0 et 1. Si J' tend vers 1, le peuplement est en équilibre. Tandis que si l'équitabilité tend vers 0 le peuplement est déséquilibré.

Chapitre 5 :
Résultats de l'analyse
physico-chimique

1. Variation spatio-temporelle :

1.1. Température de l'eau:

Les mesures de la température ont donné des valeurs ne dépassant pas les 25°C, et elles sont en conformité avec les normes algériennes (JORA, 2011) relatives aux eaux souterraines.

Les températures moyennes (Fig.15) des eaux souterraines mesurées dans les différents puits varient de 18,10°C à 22,06°C entre les deux périodes hydrologiques. Les eaux des puits du sous-bassin versant AIN présentent les températures les plus élevées. Ceci est dû probablement à la nature volcanique de la région. Tandis que les puits du sous-bassin GHA fournissent une eau plus froide. Les valeurs supérieures peuvent être en relation avec la proximité de la surface du sol (Bernard, 1979).

D'autre part, nous notons une influence du niveau piézométrique sur la température de l'eau des puits. En effet, les puits avec un niveau piézométrique élevé montrent une variation importante de la température des eaux, c'est le cas par exemple des puits de EXUT, GHA et ISS qui présentent respectivement un écart type de 3,18°C, 3°C et 2,47°C.

Les valeurs de la température des eaux des puits étudiés présentent également des variations temporelles (Fig.15), confirmé par l'analyse de PERMANOVA ($p < 0,05$). Elles diminuent en période des hautes eaux pour l'ensemble des sous-bassins versants, à l'exception du sous-bassin AIN. Cette variation semble liée à la profondeur des puits qui ne dépassent pas les 20 mètres d'une part et à la recharge de la nappe pendant la période pluvieuse (notamment la neige) d'autre part.

1.2. Potentiel hydrogène (pH) :

Le pH est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Il dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Dussart, 1966; Bermond et Vuichard, 1973).

Les valeurs du pH mesuré dans l'ensemble des puits sont proches de la neutralité, variant de 7,33 à 7,77 (Fig.16).

Entre les deux périodes (Fig.16), hautes eaux et basses eaux, le pH des eaux des puits révèle des variations temporelles légèrement élevées pour l'ensemble des sous-bassins, mais qui reste proche de la neutralité.

Chapitre 5: Résultats de l'analyse physico-chimique

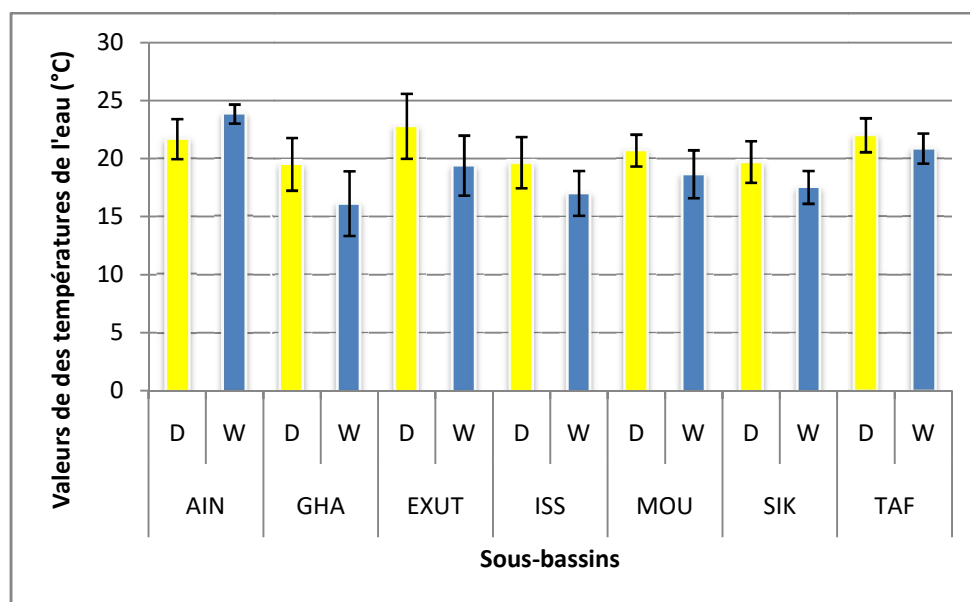


Fig.15 : Variation spatio-temporelle de la température moyenne de l'eau souterraine dans les différents sous-bassins versants. D : période des basses eaux. W : période des hautes eaux.

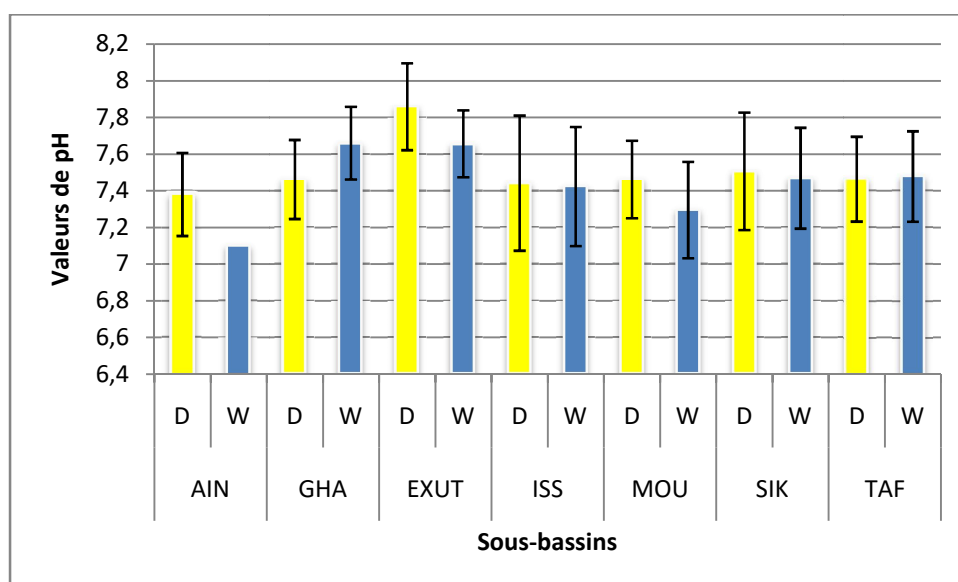


Fig.16 : Variation spatio-temporelle du pH de l'eau souterraine dans les différents sous-bassins versants. D : période des basses eaux. W : période des hautes eaux.

1.3. Conductivité électrique :

La conductivité électrique des eaux échantillonnées à partir des différents puits présente une grande amplitude de variation comprise entre 1724 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 5703 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Fig.17). Cette augmentation du degré de minéralisation est liée surtout aux terrains traversés particulièrement les roches salifères par conséquent un apport de minéraux et de sels solubles.

Les valeurs les plus faibles ont été globalement enregistrées dans les eaux des sous-bassins continentaux (2272 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en moyenne). En revanche, les valeurs les plus élevées ont été observées dans les eaux des sous-bassins côtiers (3465 $\mu\text{s}/\text{cm}$), qui sont influencées par intrusion des eaux marines.

Les eaux souterraines pour l'ensemble des sous-bassins versants, à l'exception du sous-bassin AIN, présentent une conductivité faible en période des hautes eaux par rapport à la période des basses eaux. Cette diminution peut être liée au phénomène de dilution qui accompagne la recharge de la nappe dans cette période (Fig.17).

1.4. Salinité :

Les valeurs de la salinité varient de 0,77 à 4,32. Leur variation est similaire à celle de la conductivité électrique (Fig.18).

1.5. Oxygène dissous :

La teneur en oxygène dissous indique le degré d'oxydation de l'eau. L'oxygène dissous présente des variations importantes d'un sous-bassin à l'autre oscillant entre 31,22% et 68,93% (Fig.19), à l'exception du sous-bassin TAF.

Les puits appartenant aux sous-bassins côtiers présentent des valeurs élevées (52% en moyenne). Les pourcentages en oxygène dissous montrent en général des variations temporelles plus ou moins importantes entre les deux périodes, confirmées par l'analyse de PERMANOVA ($p < 0,05$). Cependant, ils augmentent en période des hautes eaux (Fig.19).

Chapitre 5: Résultats de l'analyse physico-chimique

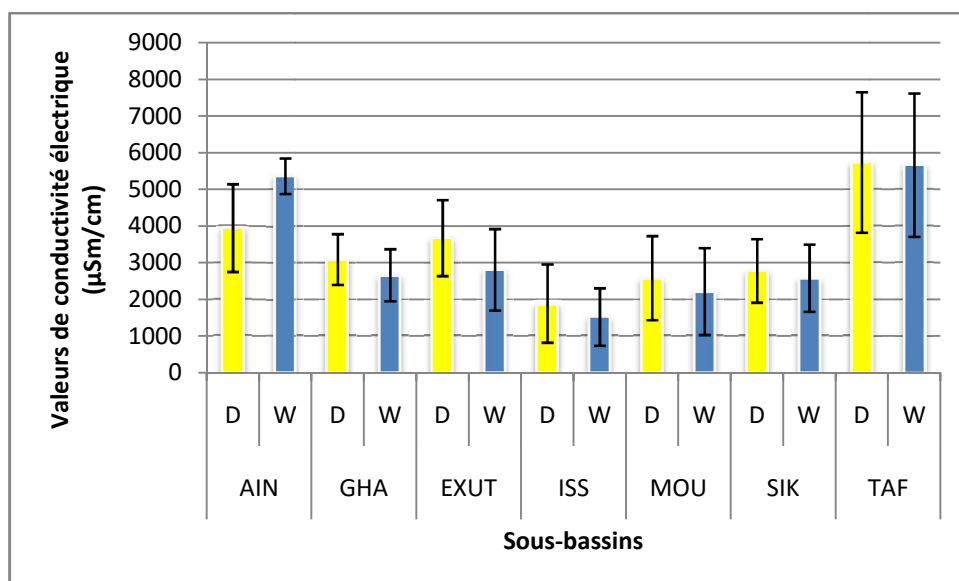


Fig.17 : Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique de l'eau souterraine dans les différents sous-bassins versants. D : période des basses eaux. W : période des hautes eaux.

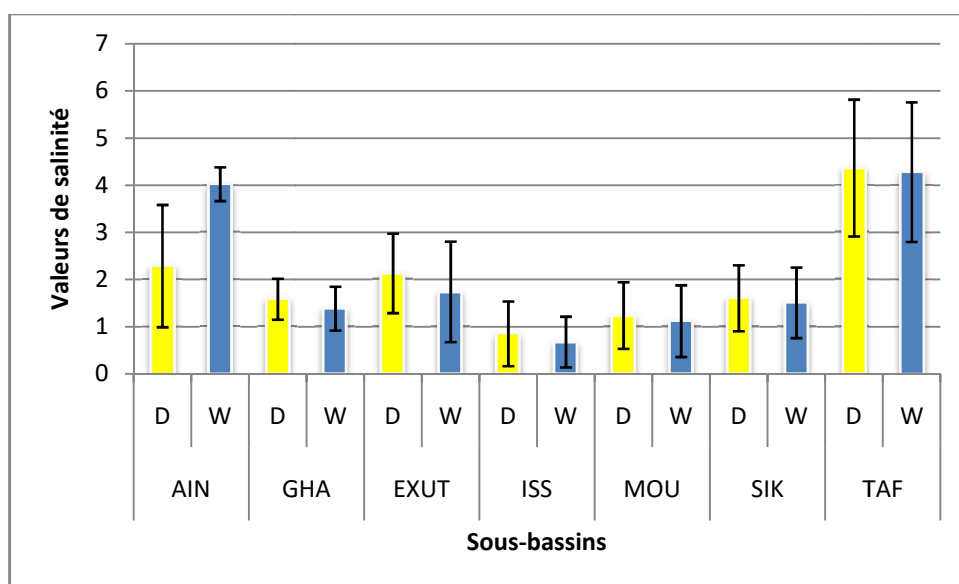


Fig.18 : Variation spatio-temporelle de la salinité de l'eau souterraine dans les différents sous-bassins versants. D : période des basses eaux. W : période des hautes eaux.

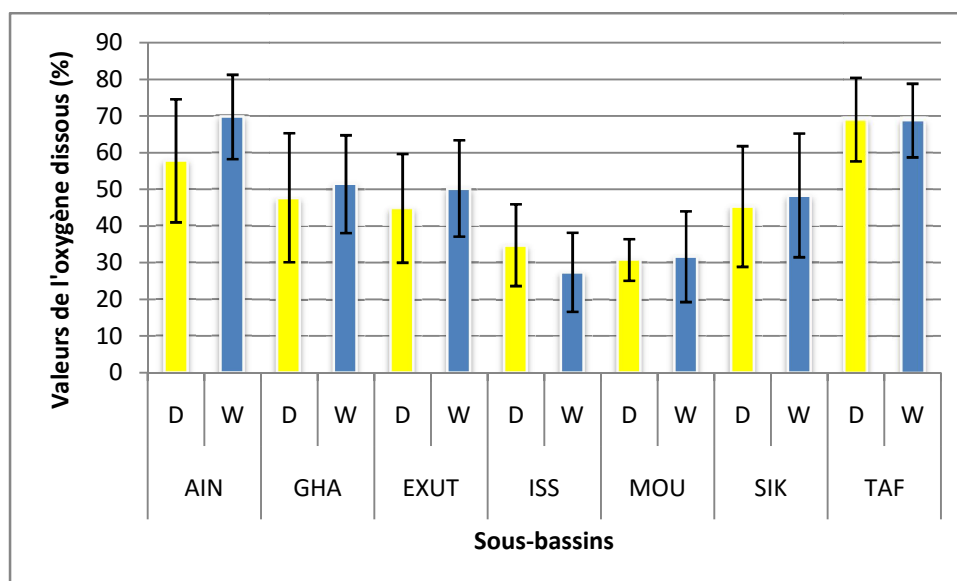


Fig.19 : Variation spatio-temporelle de l'oxygène dissous de l'eau souterraine dans les différents sous-bassins versants. D : période des basses eaux. W : période des hautes eaux.

2. Etude statistique :

L'analyse PERMANOVA, a montré que les deux aquifères de la région d'étude, littoral et continental, sont significativement différents de point de vue physico-chimique (pseudo-F_{1,625} = 105.3, $p = 0.001$). En outre, les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines présentent des variations significatives selon les deux facteurs à la fois, saison et sous-bassin (PERMANOVA: SAISON x BASSIN, pseudo-F_{6,614} = 3.78, $p = 0.0001$, perm = 9952; Fig. 20).

La qualité physico-chimique des eaux des puits en période d'étiage (D) est significativement différente à celle en période (W) Hautes eaux au niveau de tous les sous-bassins versants ($p < 0.05$) à l'exception de MOU ($t = 1.63$, $p = 0.0612$) et TAF ($t = 0.78$, $p = 0.5041$).

A partir de la figure 21, nous pouvons observer que la conductivité électrique (Fig. 21a) et la salinité (Fig. 21b) sont les variables qui expliquent mieux la séparation de chaque aquifère sur le premier axe de PCO.

Quant à la figure 22, nous pouvons aussi observer que la température (Fig. 22a), le niveau piézométrique (Fig. 22b) et le pourcentage en oxygène dissous (Fig. 22c) sont les variables qui expliquent le mieux la séparation entre les

Chapitre 5: Résultats de l'analyse physico-chimique

prélèvements sur le second axe de PCO (entre les deux périodes D et W). En période D, le niveau des eaux souterraines est plus profond et la température est la plus élevée que la période W. Par contre, durant la période D le pourcentage en oxygène dissous est plus faible que la période W.

Les valeurs de la conductivité électrique et la salinité sont significativement élevées dans le sous-bassin TAF que dans les sous-bassins ISS et MOU. Pour le reste des sous-bassins, les valeurs de la conductivité et la salinité sont variables.

3. Discussion :

Les paramètres physico-chimiques analysés dans notre étude ont clairement montré la grande variabilité de la qualité des eaux souterraines dans sept aquifères du Nord-Ouest algérien. Les facteurs environnementaux les plus significatifs sont l'âge de la formation géologique, la conductivité électrique, l'altitude, la distance entre le puits et la mer et la distance entre le puits et le cours d'eau, qui jouent un rôle majeur dans la détermination de la structure et de la répartition des assemblages des invertébrés aquatiques souterrains.

Une variation saisonnière importante (entre un minimum de 0,69 m et un maximum de 2,66 m) dans le niveau piézométrique de la nappe phréatique a été observée au niveau de 6 sur 7 aquifères peu profonds de la région d'étude. Ceci est dû à l'exploitation des eaux souterraines pendant la saison sèche, à l'exception des puits situés dans le sous-bassin AIN. En effet, une baisse importante du niveau de l'eau de la nappe phréatique de 22,10m a été observée entre la période des hautes eaux et celle des basses eaux. Ceci est dû à l'évaporation et à l'exploitation de la nappe phréatique par les puits dans la période des basses eaux. D'autre part, les précipitations qui se produisent pendant la saison des pluies ne suffisent pas à reconstituer les réservoirs d'eau souterraine, car la sécheresse favorise le ruissellement de surface au détriment de l'infiltration dans les eaux souterraines (Langbein et Schumm, 1958; Barthes et Roose 2001).

Les valeurs de la conductivité électrique sont élevées à très élevées dans la région d'étude, variant de 1724.78 μ S/cm dans ISS à 5703.89 μ S/cm dans TAF. Ces valeurs augmentent en allant vers la mer, et elles sont plus élevées dans les aquifères de EXUT, GHA et AIN que ceux de SIK, MOU et ISS. Ce modèle a été déjà observé dans d'autres régions nord africaines, comme dans l'aquifère côtier libre de la région Chaouia au Maroc (Najib et al. 2015).

Chapitre 5: Résultats de l'analyse physico-chimique

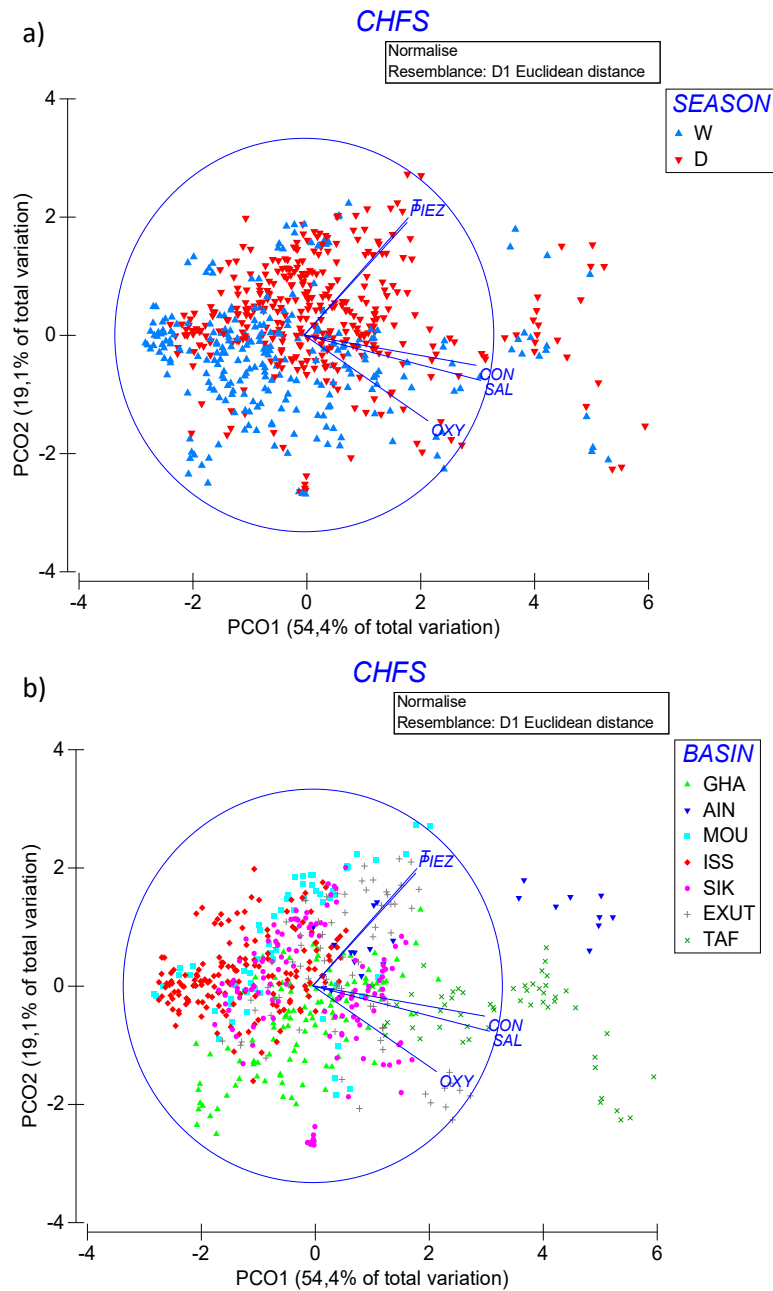


Fig. 20. Plan PCO (variance cumulée pour les deux premiers axes: 73.5%) représentant les échantillons: a) en période W (triangles bleus) et en période D (triangles rouges); b) pour chaque sous-bassins versant (AIN= Ain Temouchent, GHA: Ghazaouet, MOU: Mouilah, ISS: Isser, SIK: Sikkak, EXUT: basse Tafna, TAF: Tafna). Les vecteurs des variables (T: température; Piez: niveau piézométrique; Cond: conductivité électrique; sal: salinité; OXY: % d'oxygène) présentés ont >70% de corrélation avec les axes de coordination.

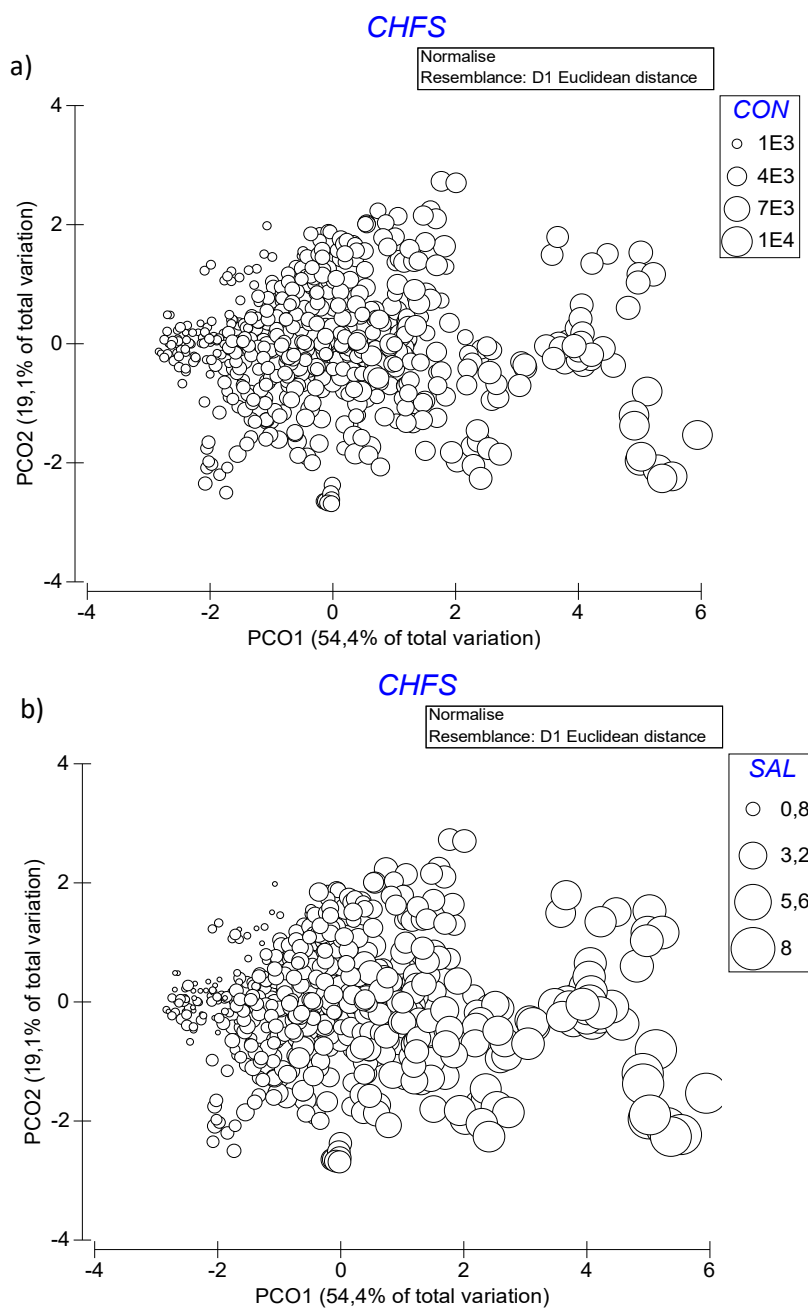


Fig. 21. PCO (variance cumulative sur les deux premiers axes : 73,5%) plan des bulles indiquant les valeurs (représentées par des cercles) des variables de la conductivité électrique (a) et de la salinité (b) pour les échantillons de la région d'étude.

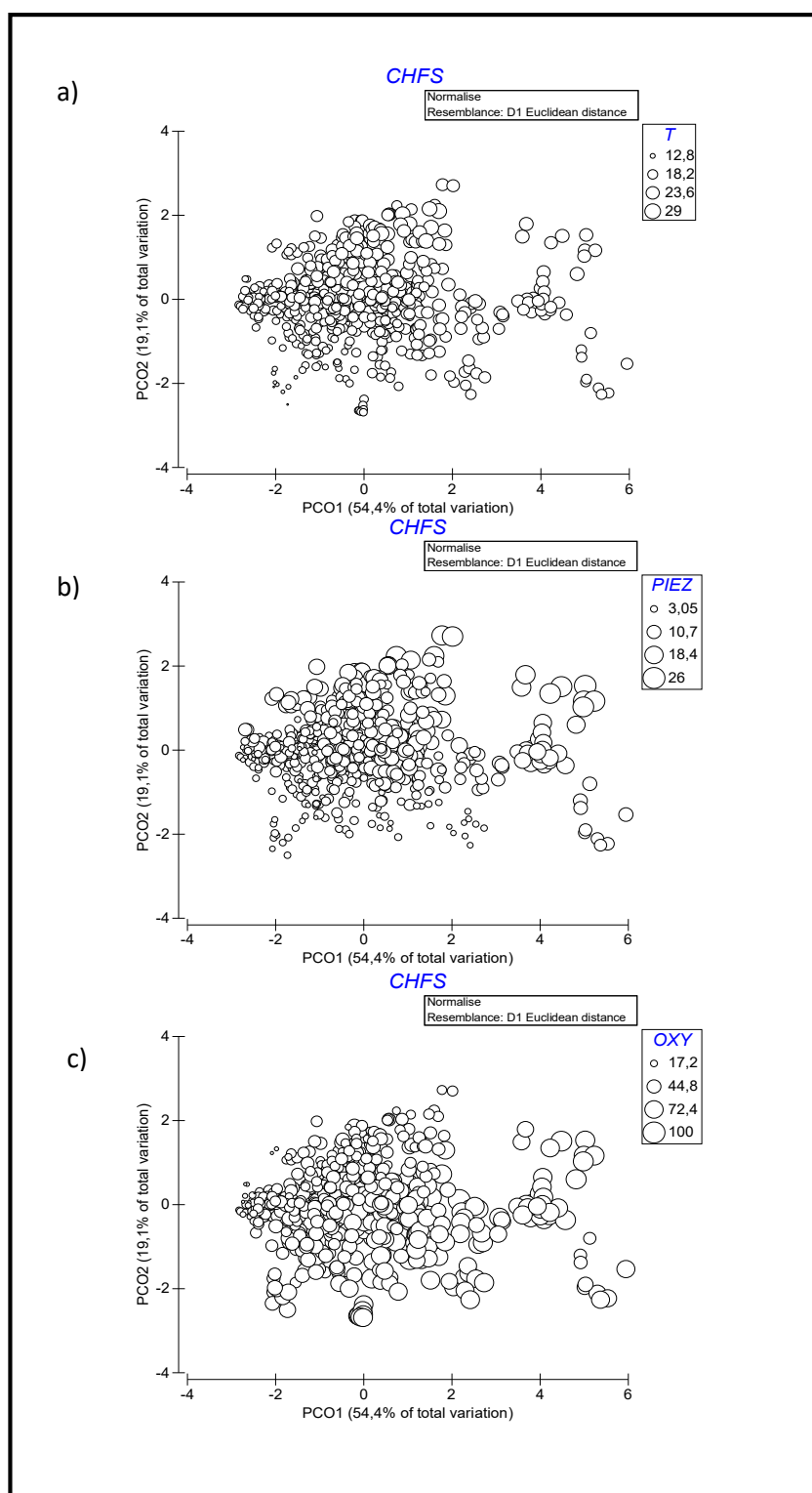


Fig 22. PCO (variance cumulative sur les deux premiers axes: 73.5%) plan des bulles indiquant les valeurs (représentées par des cercles) des variables de la température (a), du niveau piézométrique (b) et % d'oxygène (c) pour les puits de la région d'étude.

Chapitre 5: Résultats de l'analyse physico-chimique

D'autre part, des valeurs très élevées de la conductivité électrique ont été observées dans l'aquifère TAF qui est localisé dans un bassin continental. Cette forte minéralisation est due aux terrains calcaires traversés et à l'hydrogéologie de l'aquifère TAF qui reçoit les eaux du cours d'eau principal de la Tafna après la collecte des eaux de ces affluents.

Les valeurs moyennes de la salinité oscillent entre 0,77 mg/L dans ISS et 4.32 mg/L dans TAF. Selon des résultats d'autres études établies en Algérie et en Tunisie, ces valeurs élevées peuvent être due à des conditions climatiques, notamment la sécheresse (Derradji et al. 2011), mais aussi à la lixiviation et à la dissolution des sels de sol et des engrais chimiques par les eaux d'irrigation (Bouderbala, 2015), et à la nature lithologique des aquifères (Majdoub et al. 2014).

Chapitre 6 :
Résultats faunistiques

1. Composition de la faune des puits des sous bassins versants :

Les différents taxons récoltés dans chacun des sous-bassins versants sont reportés sur une liste faunistique (Annexe D).

L'ensemble des puits prospectés dans les sous bassins versants a permis la récolte de 41297 Individus avec plus de 51 taxons aquatiques. Parmi ces taxons, 9 ont été identifiés comme des espèces stygobies appartenant aux Crustacés.

L'analyse globale du peuplement récolté montre une dominance des Crustacés (73,95%) suivie par les Insectes (21,67%). Les Annélides (3,14%), les Gastéropodes (1,05%) et les Arachnides (0,19%) sont fréquemment récoltés (Fig.23).

Parmi les Crustacés 13 taxons ont été identifiés dont 9 sont des espèces stygobies (Fig.24). Le groupe le plus diversifié est celui des Isopodes (3 espèces de Cirolanidae, 2 espèces d'Asellidae, 1 espèce de Miroparasellidae), suivi par le groupe des Amphipodes (1 taxonde Gammaridae, de Bogidiellidae, et de Salentinellidae), des Copépodes représentés par la famille des Cyclopidae, des Cladocères par la famille des Daphniidae, des Ostracodes et des Syncarides.

Parmi les Crustacés stygobies, les Cirolanidae qui sont représentées par 3 espèces de *Typhlocirolana* (*T.fontis*, *T.gurneyi* et *T.longimera*) dont une est nouvelle pour la science, forment 20,90% des crustacés récoltés dans la région d'étude, suivi par les Asellidae (*Prosallus notenboomi*) avec 0,65%, les Gammaridae (*Pseudoniphargus*) avec 0,05%, les Syncarides avec 0,02%, les Bogidiellidae avec 0,01%, les Salentinellidae (*Salentinella angelieri*) et les Miroparasellidae (*Microcharon*) avec 0,01% chacun.

Pour les autres Crustacés, les Copépodes (Cyclopidae) forment 19,64%%, les Ostracodes 45,52% et les Cladocères (Daphniidae) 13,20%.

Les Insectes constituent le groupe le plus diversifié avec plus de 26 taxons identifiés (Fig.25), dominés par les Diptères qui forment un groupe écologique d'une importance numérique très élevée (94,89%). Parmi les diptères, les Culicidae forment 90,60% de ce groupe tandis que les autres taxons sont représentés par moins de 5%. Il s'agit par ordre décroissant de Chironominae (5,19%), Orthocladiinae (1,16%), Tanypodinae (1,13%), Psycholidae (0,64%), Tipulidae (0,43%), Ptychopteridae (0,37%), Ceratopogonidae (0,35%) et de Syrphidae (0,1%).

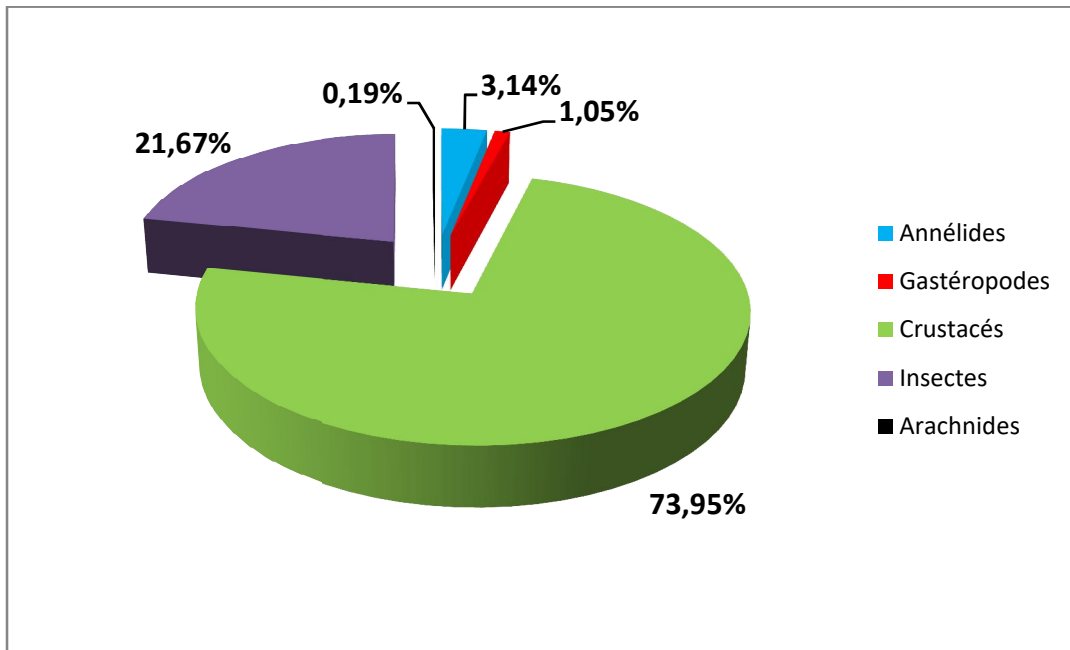


Fig.23 :Structure générale de la biocénose pour l'ensemble des bassins versants.

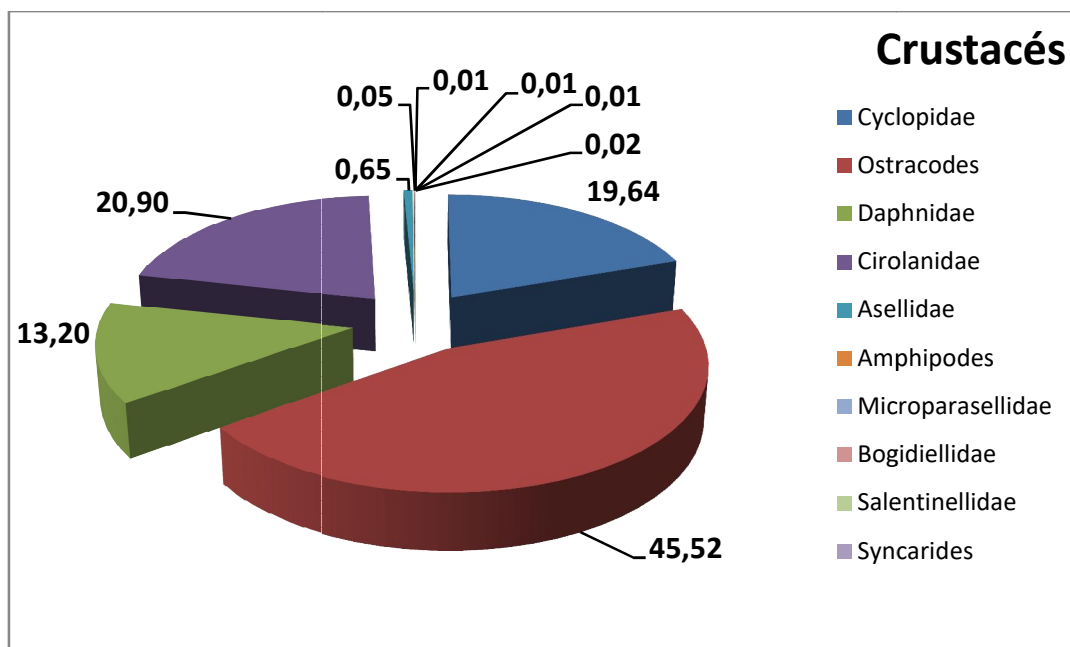


Fig.24 : Abondance relative des Crustacés.

Chapitre 6: Résultats faunistiques

Les autres groupes sont très faiblement représentés avec moins de 3% des Insectes. Ils sont par ordre décroissant, les Ephéméroptères, les Coléoptères, les Hétéroptères, les Collemboles et les Trichoptères.

Les Ephéméroptères avec 2,85% des insectes, sont dominés par les Caenidae (52,15%) suivi par les Baetidae (36,47%), Leptophlebiidae (4,70%), Ephemerellidae (3,92%) et les Heptageniidae (2,74%).

Les Coléoptères (1,16%) sont dominés par les Dytiscidae (51,92%), suivis par les Elmidae (18,26%), Haliplidae (9,61%), Helophoridae (9,61%), Hydrophilidae (5,76%) et les Gyrinidae (4,80%).

Les Hétéroptères (0,45%) sont représentés par les Mesovellidae (55%), Notonectidae (17,5%), Veliidae (15%) et les Pleidae (12,5%).

Les Trichoptères (0,30%) sont représentés uniquement par la famille des Beraeidae.

Parmi les mollusques (Fig.26), seul les Gastéropodes sont récoltés avec 1,05% de la faune totale, répartis sur 9 taxons. Les Physidae représentent 32,49% des Gastéropodes, suivis par les Planorbidae (22,58%), les Bythinellidae (13,13%), les Valvatidae (12,90%). Les autres groupes sont faiblement représentés avec une abondance relative de moins de 6%, tels que Lymnaeidae, les Viviparidae et les Spharidae.

Deux taxons ont été identifiés comme stygobies, les Planorbidae et les Hydrobiidae avec respectivement 1,15% et 0,92% des Gastéropodes.

En moindre importance, les Arachnides (0,19%) sont représentés par les Araignées (23,75%) et les Hydracariens (76,25%).

Parmi les Annélides (Fig.27), les Achètes dominant avec 61,31% des annélides, suivis par les Oligochètes avec 38,69%. Ces derniers sont représentés par les Tubificidae et les Lumbriculidae.

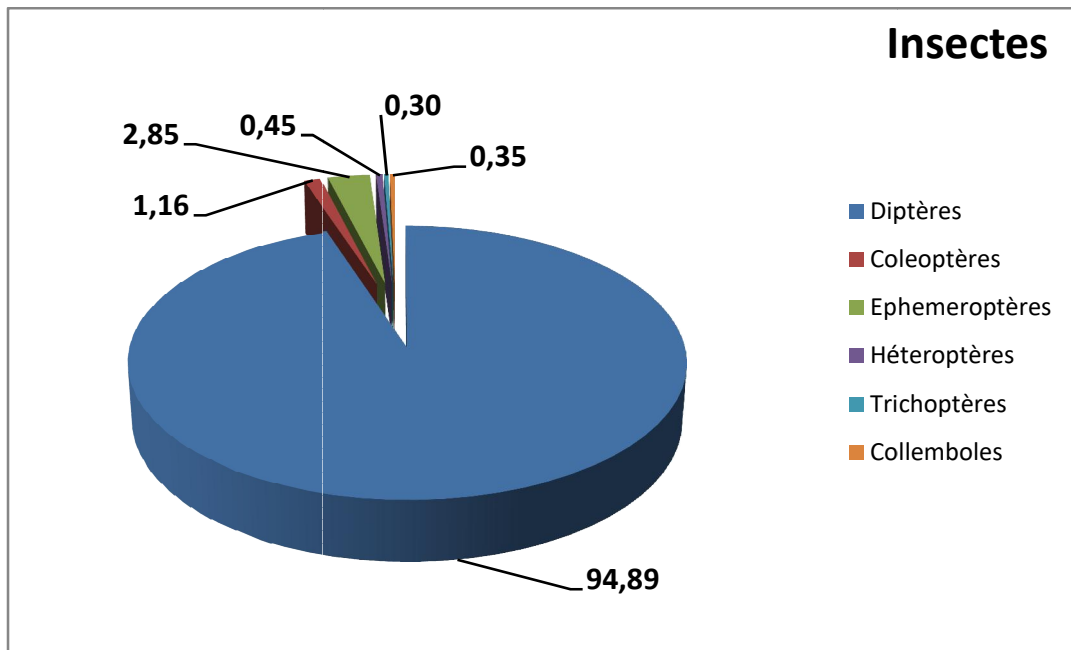


Fig. 25 : Abondance relative des Insectes

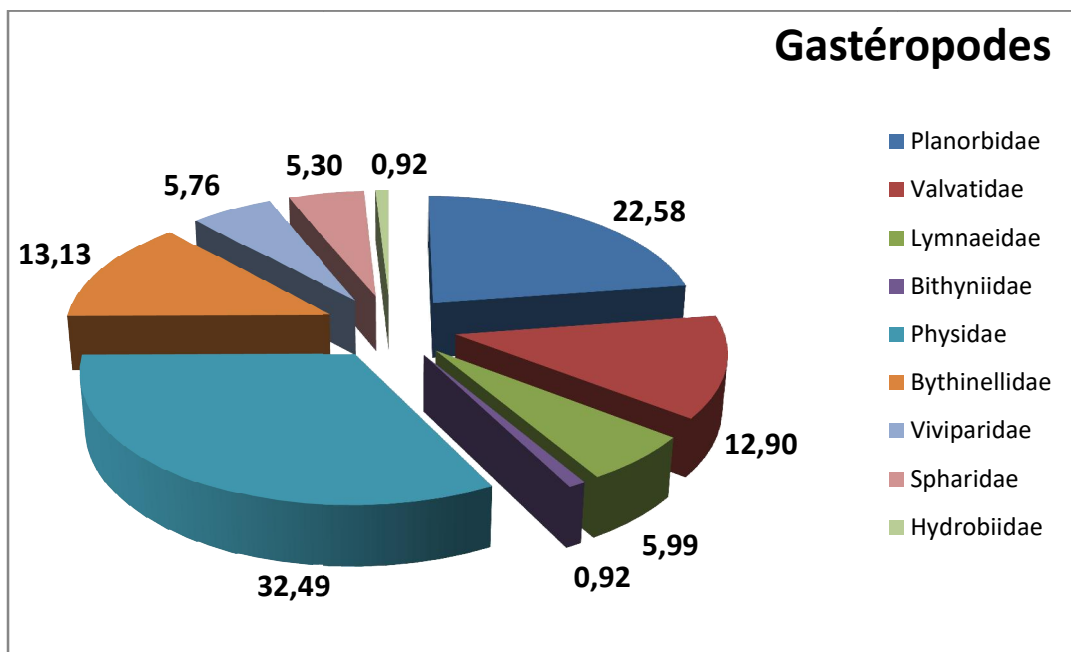


Fig. 26 : Abondance relative des Gastéropodes

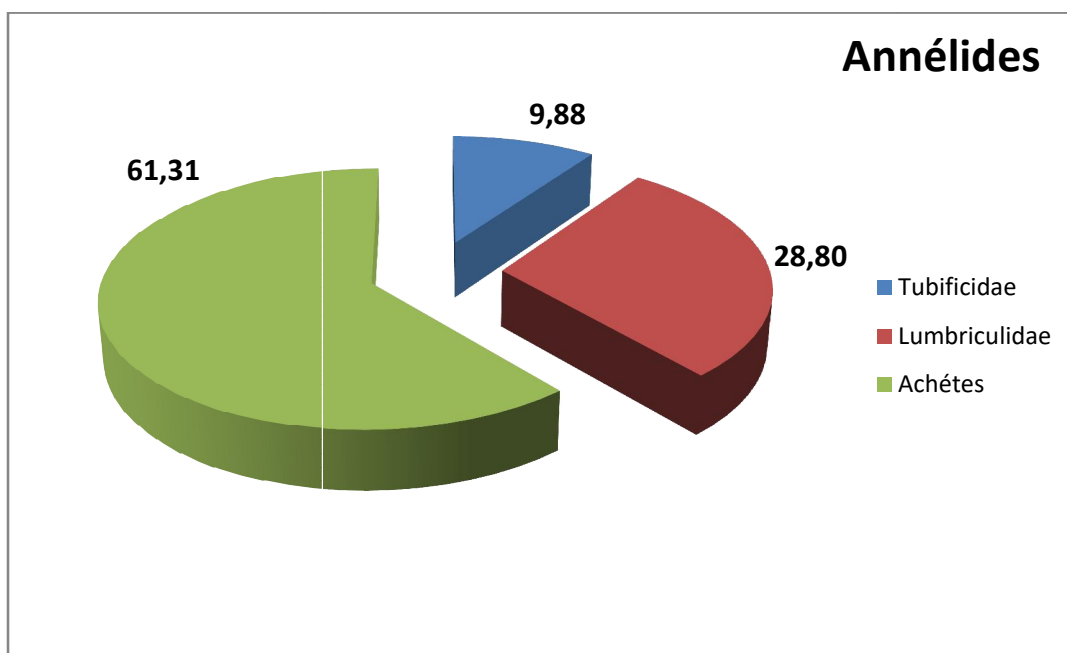


Fig. 27 : Abondance relative des Annélides

2. Peuplement des différents sous-bassins versants :

2.1. Sous-bassin versant de AIN :

La faune récoltée dans l'ensemble des 6 puits est dominée par les Annélides (66,03%). Il s'agit des Oligochètes (90,64% des Annélides) Lumbriculidae (87,76% des Oligochètes) et Tubificidae (2,87% des Oligochètes) et des Achètes (9,35% des Annélides) (Fig.28).

Les autres groupes sont faiblement représentés. Cependant, les Insectes (23,99%) sont dominés par les Diptères (90% des Insectes) suivis par les Coléoptères (4%), les Hétéroptères (3%) et les Collemboles (3%). Notant que les Diptères forment le groupe le plus diversifié avec cinq taxons dont les Culicidae sont les plus abondants avec 68,88% des Diptères.

Les crustacés (7,6%) sont composés par trois taxons, dont 1 espèce stygobie récoltée dans les puits WAT1 et WBSA. Il s'agit de l'Isopode Cirolanide *Typhlocirolana gurneyi* représentant 50% des crustacés, tandis que les Cyclopidae et les ostracodes représentent respectivement 41,17% et 8,82%.

Les Gastéropodes avec trois taxons (Valvatidae, Planorbidae et Viviparidae) ne comptent que 1,66%, suivi par les Arachnides (0,71%).

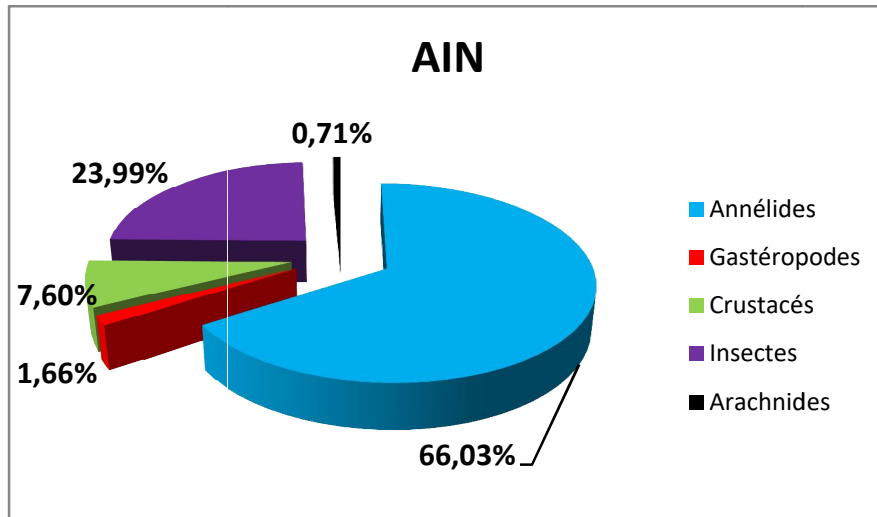


Fig.28 : Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de AIN.

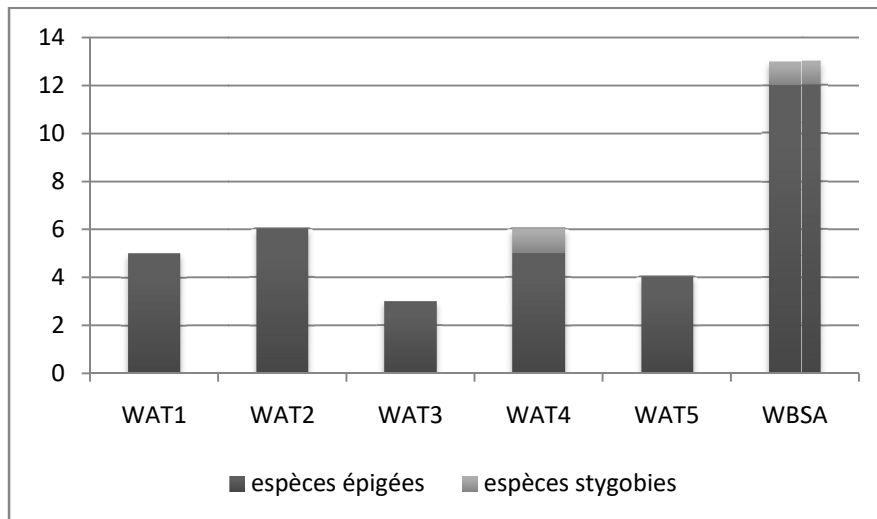


Fig.29 : Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de AIN.

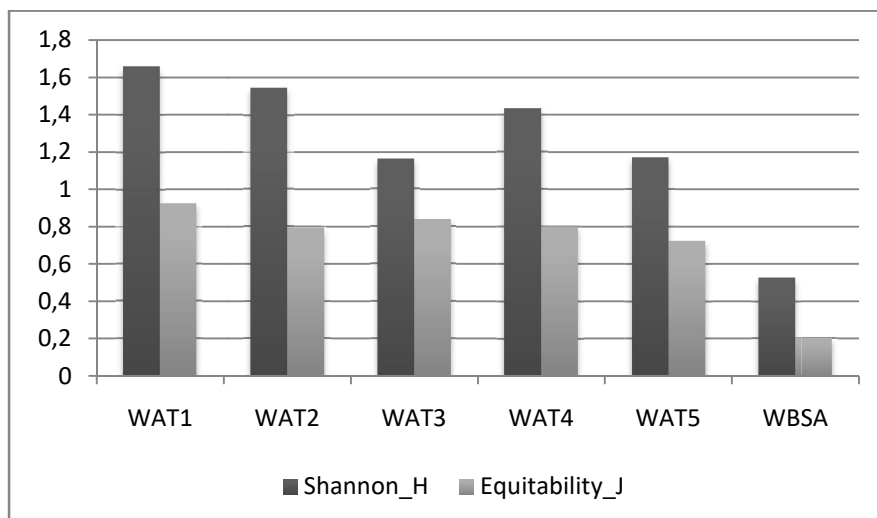


Fig.30 : Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de AIN.

Cette faune est relativement diversifiée puisqu'elle comporte 23 taxons, tandis que la richesse spécifique moyenne au niveau des 7 puits est de l'ordre de 6,83 taxons (Fig.29).

Le puits WBSA présente le nombre de taxon le plus élevé avec 13 taxons, tandis que ce nombre ne dépasse pas 6 taxons dans les autres puits.

Les indices de diversité et d'équitabilité (Fig.30) sont les plus importants dans le puits WAT1 avec respectivement 1,65 et 0,92.

2.2.Sous-bassin versant de GHA :

Les 10 puits sélectionnés dans ce sous bassin versant ont fourni un peuplement dominé par les Crustacés (71,95%), suivis par les insectes (26,84%). Les autres groupes sont rares, il s'agit des Gastéropodes (0,97%), des Arachnides (0,20%) et des Annélides (0,05%) (Fig.31).

Les Isopodes Cirolanidae représentés par l'espèce stygobie *Typhlocirolana fontis* forment 62,52% des crustacés, suivis par les Daphnidae (14,10%), les Ostracodes (12,24%), les Cyclopidae (10,96%) et les *Pseudoniphargus* (0,17%) (Amphipodes Gammaridae). Ce dernier est la deuxième forme stygobie identifiée dans ce sous-bassin.

Parmi les Insectes, l'abondance des Diptères est nettement marquée avec 96,11%, dont les Culicidae représentent 96,67%. Le reste des Insectes sont moins abondant. Il s'agit des Ephéméroptères (2,03%), des Coléoptères (1,27%), des Collemboles (0,34%) et des Hétéroptères (0,23%).

Les Gastéropodes sont diversifiés (6 taxons) dont les Planorbidae forment 77,41%. Le reste représente moins de 5%. Il s'agit par ordre décroissant des Bithyniidae, Lymnaeidae, Bythinellidae, Valvatidae et Physidae.

Quant aux Annélides, les Lumbriculidae et les Tubificidae appartiennent tous au groupe des oligochètes.

Au total, 41 taxons ont été dénombrés dans l'ensemble des puits avec une richesse spécifique moyenne de 9,6. Parmi ces puits, WBKH1 héberge le nombre de taxon le plus élevé avec 15 taxons (Fig.32).

Selon l'indice de diversité, WAG3 présente le puits le plus diversifié avec une valeur de 1,72, et dont l'indice d'équitabilité est de l'ordre de 0,72 (Fig.33).

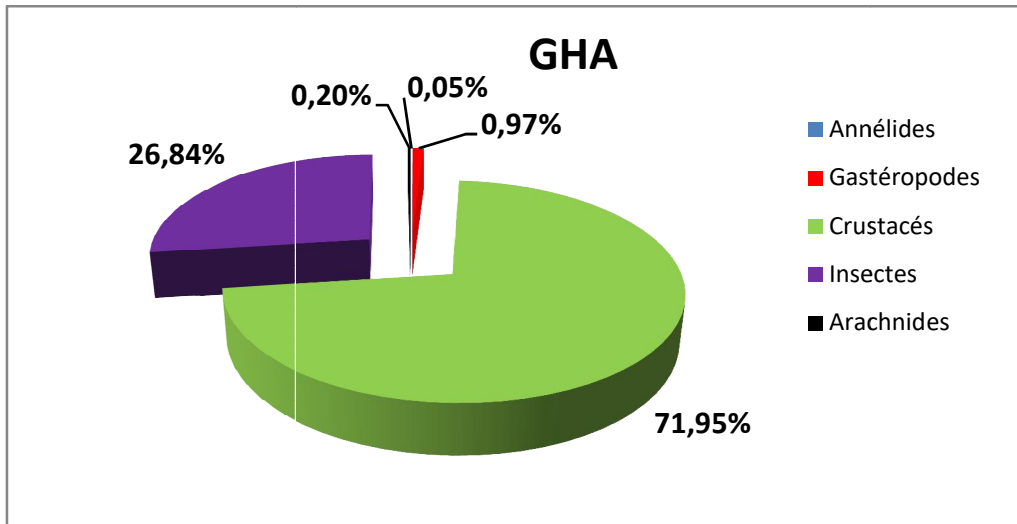


Fig.31 : Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de GHA.

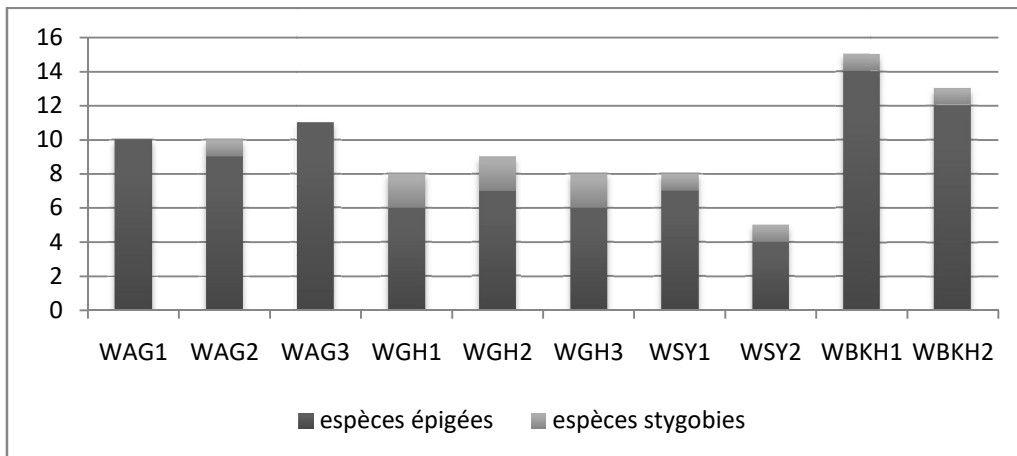


Fig.32 : Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de GHA.

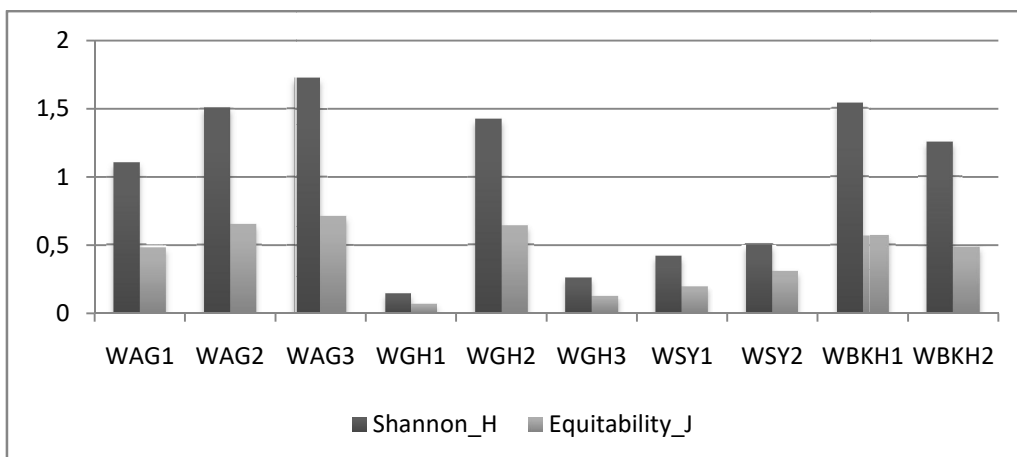


Fig.33 : Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de GHA.

2.3. Sous-bassin versant de EXUT :

La biocénose de ce bassin versant est majoritairement crustacéenne avec 81,60%. Les autres groupes sont faiblement ou rarement représentés. Il s'agit des Insectes (13,87%), des Gastéropodes (3,37%), des Annélides (0,59%) et des Arachnides (0,57%) (Fig.34).

Parmi les Crustacés, les Ostracodes (57,67%) forment le groupe dominant suivis par les Cyclopidae (39,27%). Le reste présente moins de 3% des crustacés dont un seul taxon stygobie, un syncaride (0,07%) récolté au niveau des puits WRA et WWA.

Bien que les Insectes soient moins abondants, ils forment un groupe très diversifié dont les Diptères représentent 73,96%, suivis par les Ephéméroptères (20,76%). Le reste ne forme que moins de 5% des Diptères. Il s'agit par ordre décroissant des Hétéroptères (3,41%), des Coléoptères (1,56%), et des Collembolés (0,28%).

Les Gasteropodes présentent aussi une diversité plus ou moins importante avec 8 taxons, dont les physidae sont les plus abondants avec 46,24%, suivis par les Valvatidae (18,49%), les Lymnaeidae (13,29%), Les Viviparidae (12,71%). Le reste des Gasteropodes ne compte que moins de 6%. Il s'agit des Planorbidae, des Bythinellidae, des Hydrobiidae et des Bythiniidae.

Les Annélides sont composés uniquement des Oligochètes Tubificidae et Lumbriculidae.

Un total de 42 taxons ont été récoltés sur au niveau des 7 puits avec une richesse spécifique moyenne de 11,85. Cependant, le puits WRA enregistre le nombre de taxon le plus élevé avec 20 taxons (Fig.35).

Les valeurs de l'indice de diversité et celui d'équitabilité sont les plus importants au niveau du puits WBGH avec respectivement 1,83 et 0,74 (Fig.36).

2.4. Sous-bassin versant de ISS :

Le peuplement de ce bassin versant est dominé par les Crustacés (87,50%). Les autres groupes sont très faiblement représentés, notamment les Insectes (7%), les Annélides (4,73%), les Gastéropodes (0,66%) et les Arachnides (0,1%) (Fig.37).

Parmi les Crustacés, les Ostracodes sont les mieux représentés avec 63%, suivis des Daphnidae (18,71%) et les Cyclopidae (16,17%). A ces taxons s'ajoutent trois avec moins de 2%, et qui ont été identifiés comme stygobies et récoltés dans 4 puits, WIS1, WIS8, WIS13 et WIS14. Il s'agit de *Typhlocirolana gurney* (Isopode

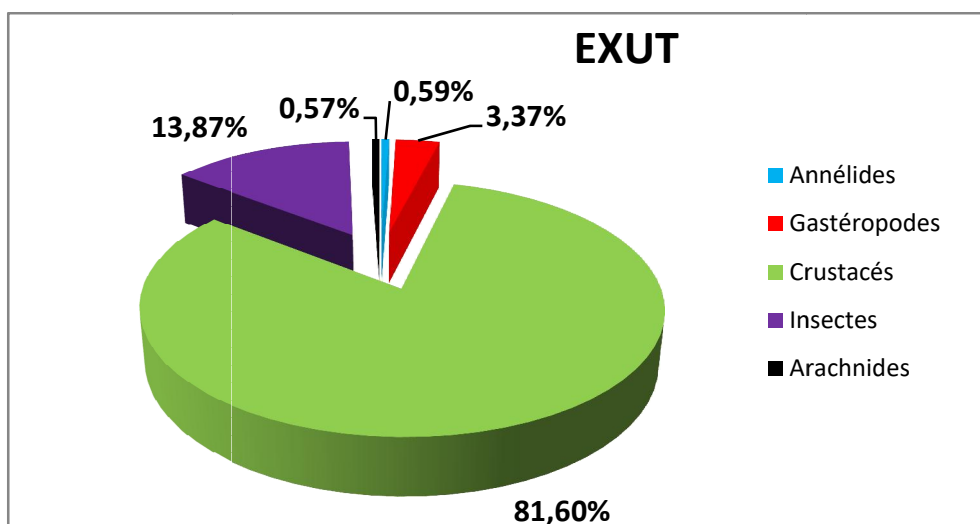


Fig.34 : Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de EXUT.

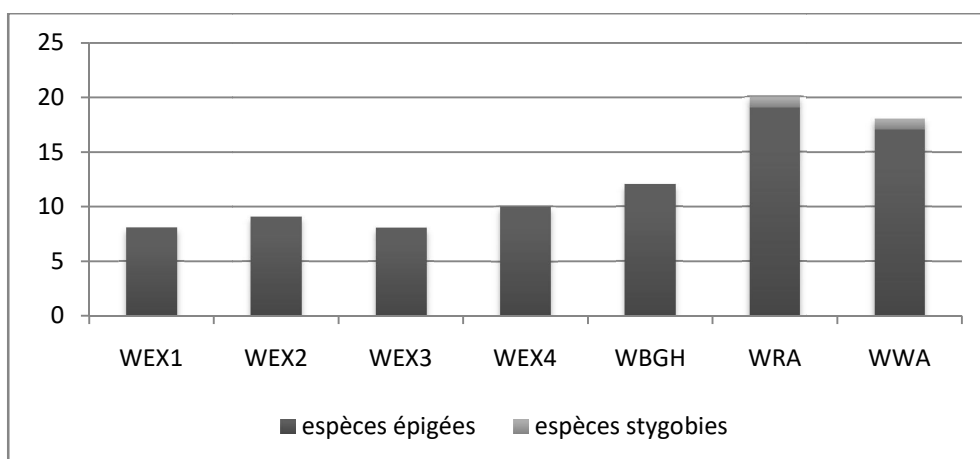


Fig.35 : Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de EXUT.

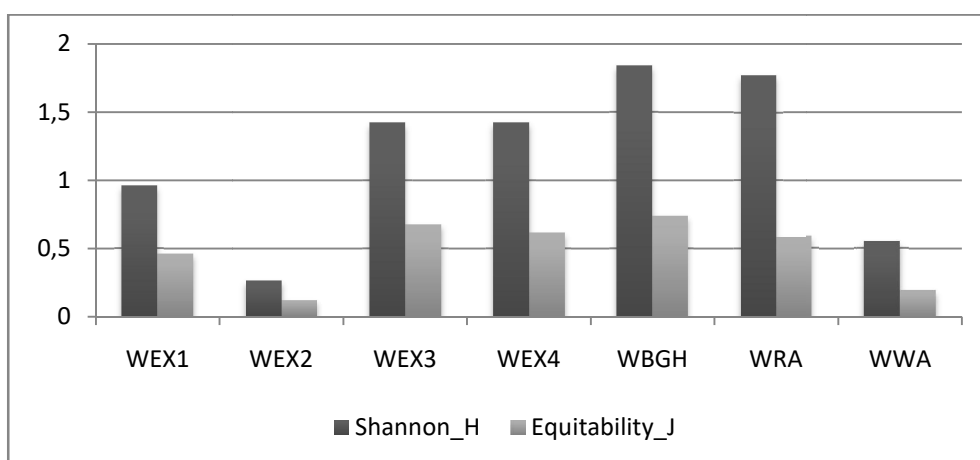


Fig.36 : Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de EXUT.

Chapitre 6: Résultats faunistiques

Cirolanidae), *Proasellus notenboomi* (Isopode Asellidae) et *Pseudonyphargus* (Amphipode Gammaridae).

Les Insectes sont dominés par les Culicidae qui en totalisent 90,39%, alors que les autres taxons ne comptent que moins de 5% des Insectes. Ce sont par ordre décroissant les Ephéméroptères (4,36%), les Coléoptères (2,76%), les Trichoptères (1,96%), les Hétéroptères (0,29%) et les Collembolés (0,21%).

Les Achètes dominant parmi les Annélides avec 83%, tandis que les Oligochètes (lumriculidae et Tubicidae) forment que 16,97%.

Les 14 puits échantillonnés, hébergent au total 37 taxons avec une richesse taxonomique moyenne de 8,64, et un maximum de 16 taxons enregistré dans le puits WIS8 (Fig.38). Ce dernier présente toujours les indices de diversité et d'équitabilité les plus élevés avec respectivement des valeurs de 2 et 0,72 (Fig.39).

2.5. Sous-bassin versant de MOU :

Seulement 3 groupes forment la faune des 8 puits situés dans ce bassin versant. Il s'agit des Insectes qui sont nettement abondants (98,08%), suivis par les deux autres groupes qui sont rares : les Crustacés (1,77%) et les Arachnides (0,15%) (Fig.40).

Parmi les Insectes, l'abondance des Diptères est nettement marquée avec 97,37%. Cette valeur est due à l'abondance des Culicidae qui représentent la quasi-totalité des Diptères avec 95,57%. Le reste est formé de Coléoptères (0,49%), de Collembolés (0,17%), d'Hétéroptères (0,12%) et d'Ephéméroptères (0,06%).

Les Crustacés sont représentés par les Cyclopidae et les Daphnidae qui forment respectivement 64,63% et 35,36%.

Avec une richesse taxonomique totale de 36 taxons, le nombre de taxons moyen (8 taxons) reste proche de celui des autres puits (Fig.41).

L'indice de diversité varie de 0,09 dans le puits WZO7 à 1,36 dans le puits WZO6. Quant à l'indice d'équitabilité, il varie de 0,04 à 0,70 pour les mêmes puits cités (Fig.42).

D'autre part, nous notons une absence totale de la faune stygobie dans ce sous bassin versant.

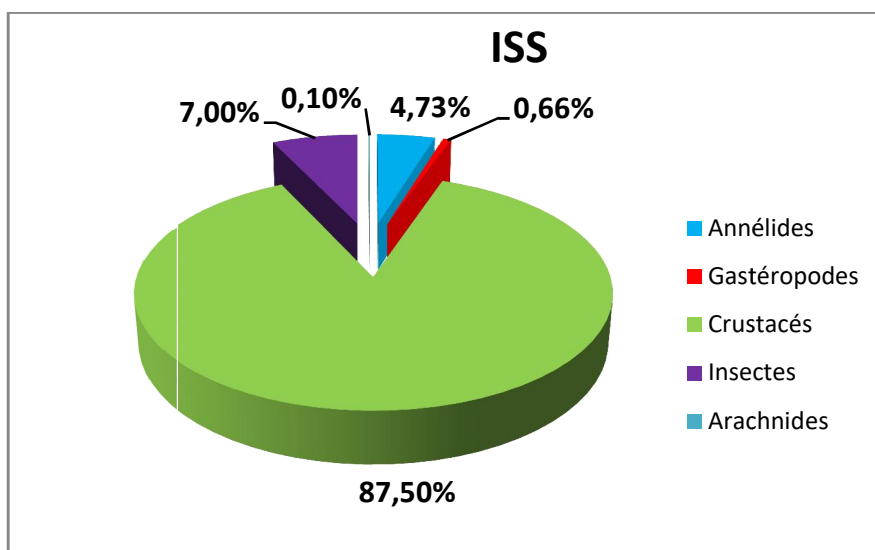


Fig.37 : Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de ISS.

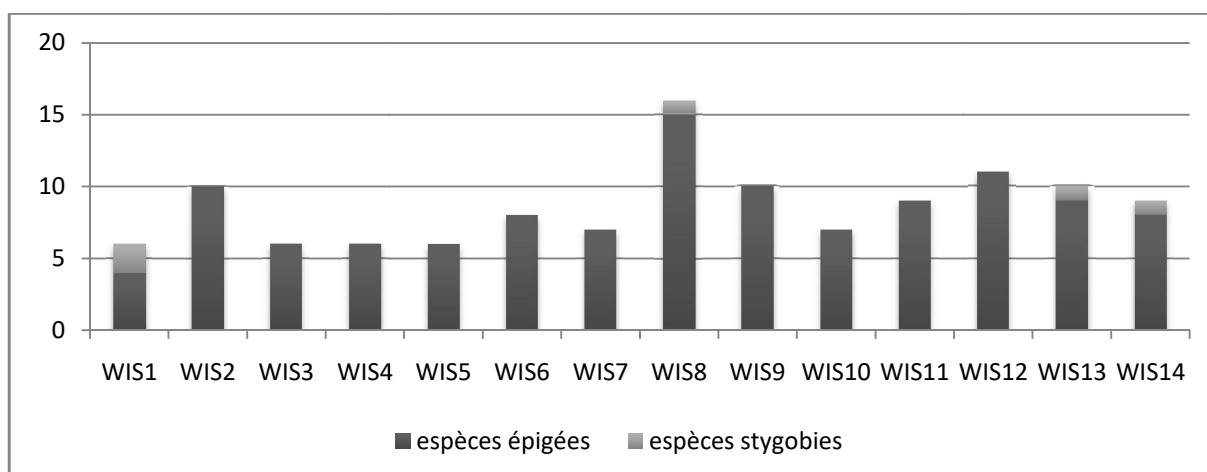


Fig.38 : Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de ISS.

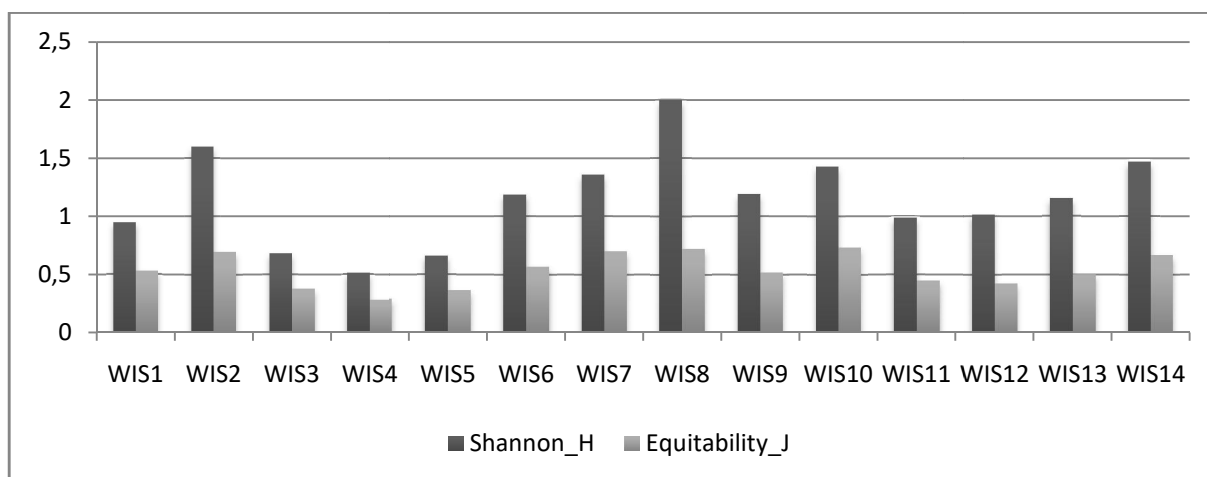


Fig.39 : Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de ISS.

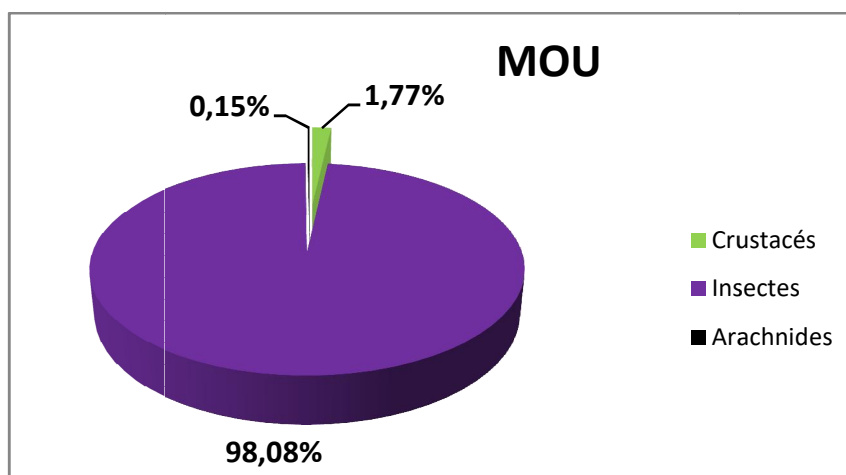


Fig.40 : Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de MOU.

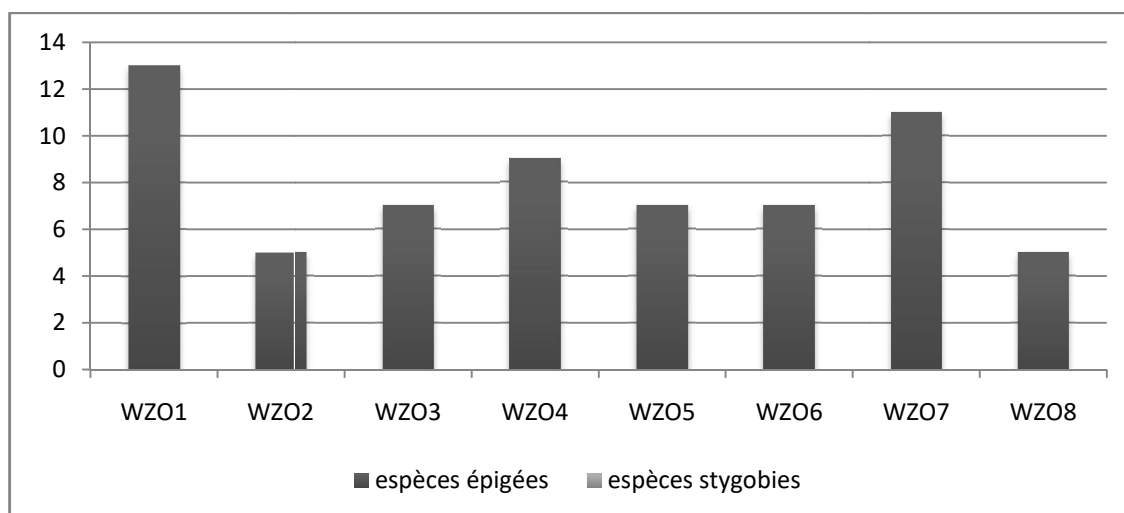


Fig.41 : Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de MOU.

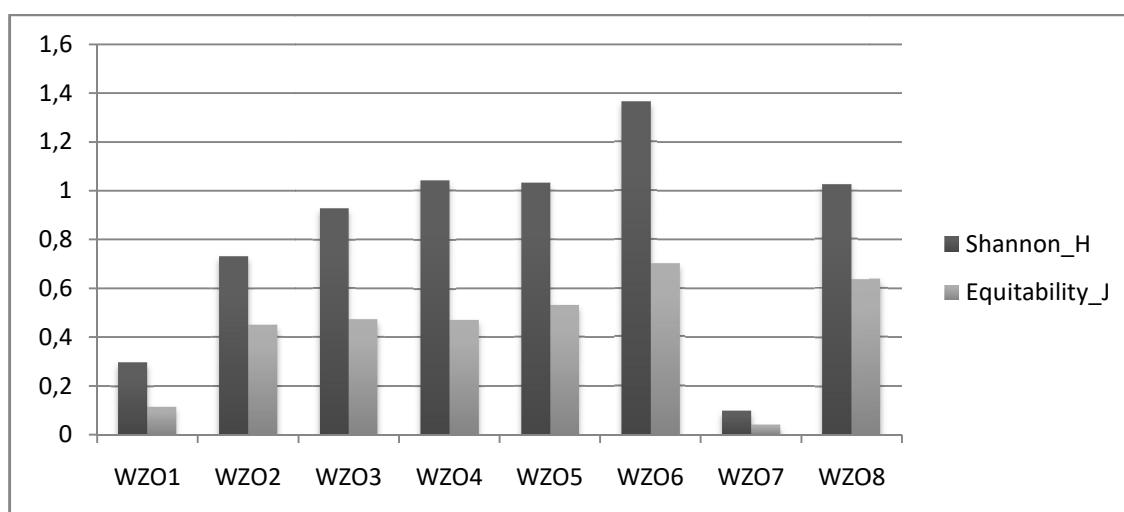


Fig.42 : Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de MOU.

2.6. Sous-bassin versant de SIK :

Comme la plupart des sous bassins versants étudiés, les Crustacés sont le groupe le plus dominant avec 81,40% de la faune récoltée dans ce sous bassin. Pour les autres groupes, ils sont faiblement ou rarement représentés ; il s'agit des Insectes (11,86%), des Annélides (3,25%), des Gastéropodes (3,18%) et des Arachnides (0,31%) (Fig.43).

Les Cyclopidae constituent 54,71% des Crustacés, auxquels s'ajoutent les Isopodes Cirolanidae dont l'espèce *Typhlocirolana fontis* (33,76%), les Ostracodes (10,74%), et dans une moindre mesure les Daphnidae (0,61%) et les Isopodes Microparasellidae (0,076%). Les deux Isopodes déjà cités forment la faune stygobie qui est présente dans la plupart des puits étudiés.

Les Insectes sont dominés par les Diptères (88,38%). Les autres groupes ne dépassent pas 5%. Il s'agit des Coléoptères (5%), des Hétéroptères (4,54%) et des Collemboles (2%).

Les Lumbriculidae (60%) et les Tubificidae (40%) sont les seuls taxons qui forment les Annélides.

Les Gastéropodes sont composés par quatre taxons, les Physidae (50,98%), les Spharidae (43,13%), les Planorbidae (3,92%) et les Lymnaeidae (1,96%).

Un total de 32 taxons a été dénombré pour l'ensemble des 12 puits étudiés dans ce bassin, avec une richesse spécifique moyenne de 6,58. Il varie entre 2 taxons dans le puits WSCH et 14 taxons dans les puits WAY1 et WFH (Fig.44).

L'indice de diversité varie de 0,2 dans le puits WAY3 à 1,72 dans le puits WFH (Fig.45).

2.7. Sous-bassin versant de TAF :

La faune de ce sous bassin versant est caractérisée par l'abondance remarquable des Crustacés (90,59%). Le reste du peuplement est faiblement représenté ; il s'agit des Insectes (8,77%), les Gastéropodes (0,36%), les Annélides (0,19%) et les Arachnides (0,08%) et les Cnidaires (0,02%) (Fig.46).

Les Crustacés sont caractérisés par une dominance en taxons stygobies avec 89%, qui sont présents dans la majorité des puits. Il s'agit de l'isopode cirolanide *Typhlocirolana fontis* (88,83%), des Amphipodes Bogidiellidae (0,12%) et *Salentinella angelieri* (0,03%). Le reste du peuplement crustacéen est composé par des Cyclopidae (9,84%), des Daphnidae (0,58%) et des Ostracodes (0,36%).

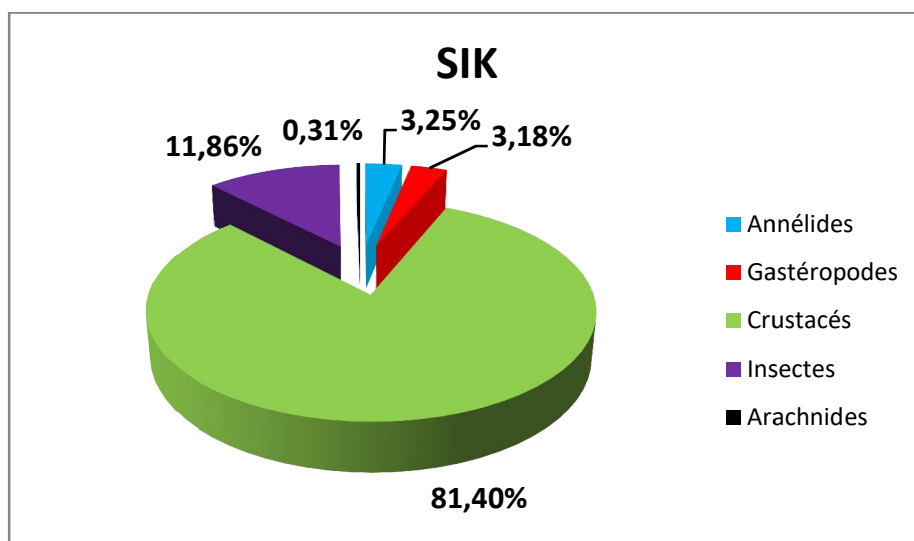


Fig.43 : Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de SIK.

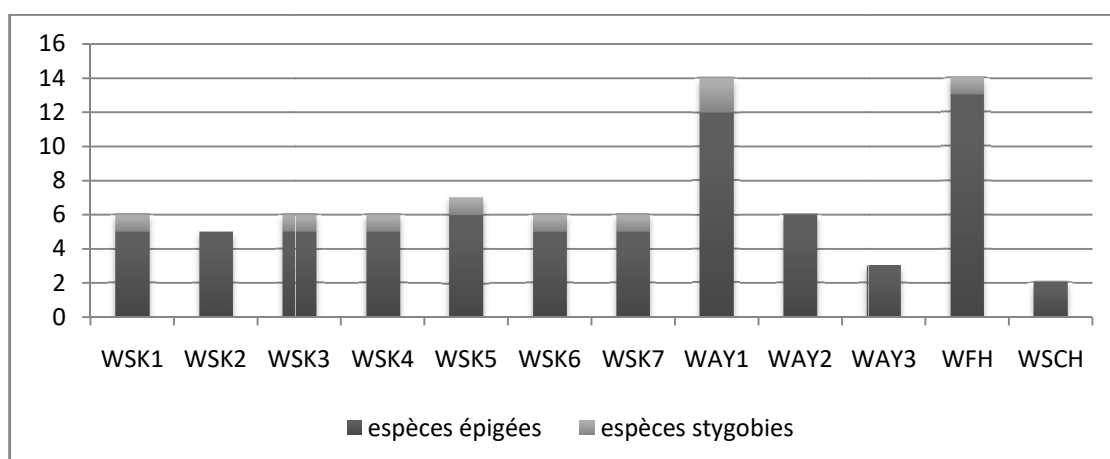


Fig.44 : Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de SIK.

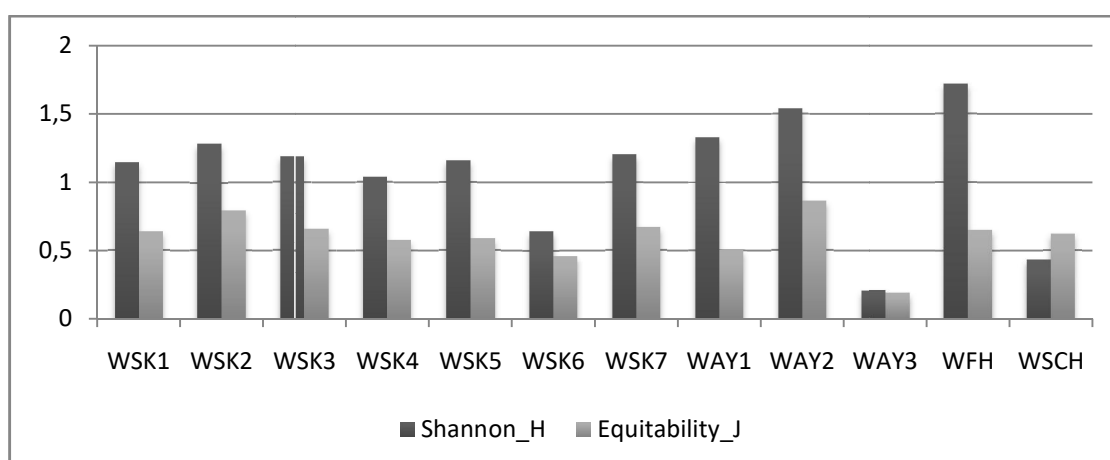


Fig.45 : Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de SIK.

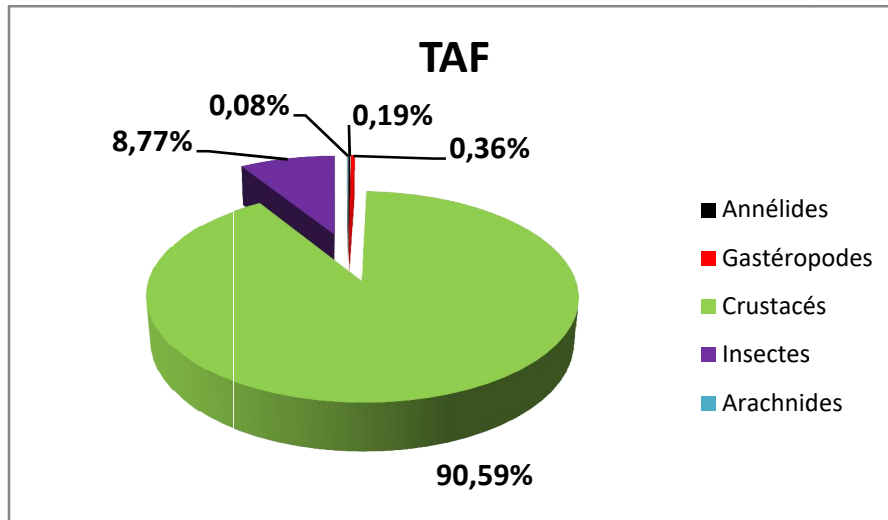


Fig.46 : Structure de la biocénose dans le sous-bassin versant de TAF.

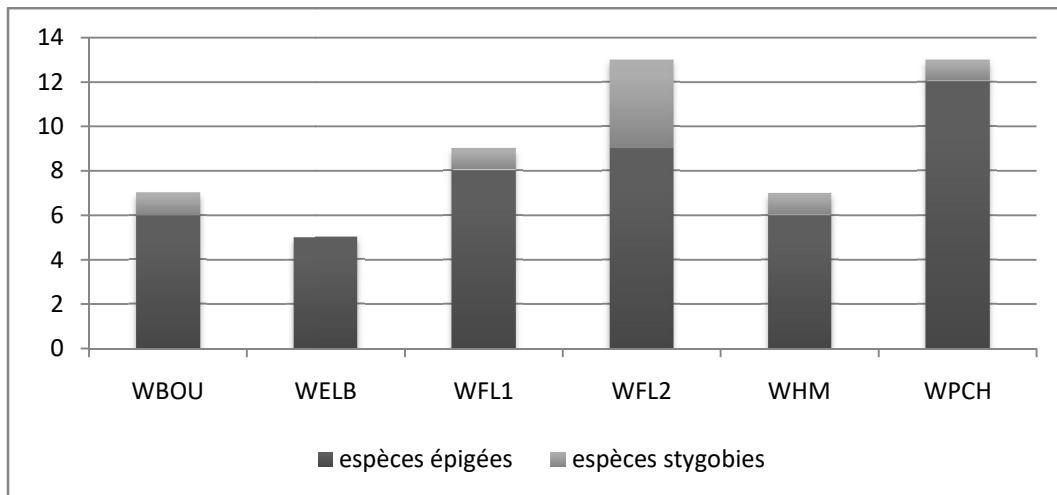


Fig.47 : Richesse taxonomique dans les puits du sous-bassin versant de TAF.

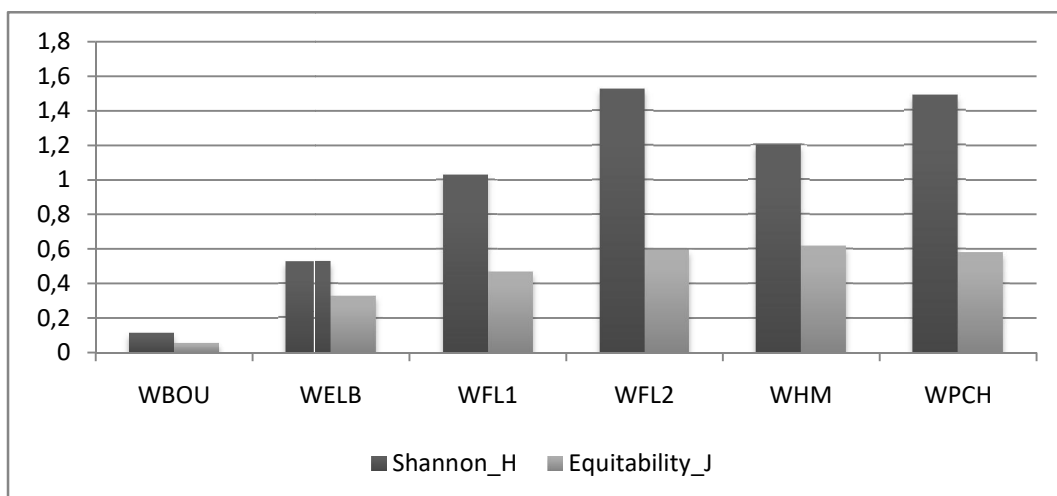


Fig.48 : Diversité faunistique dans les puits du sous-bassin versant de TAF.

Chapitre 6: Résultats faunistiques

Les Diptères forment la majorité des Insectes avec 93,67%. Les autres groupes sont faiblement représentés. Ce sont les Ephéméroptères (3,48%), les Collemboles (1,58%), les Coléoptères (0,63%) et les Hétéroptères (0,31%).

Les Gastéropodes sont répartis sur sept taxons, dont deux sont déterminés comme stygobies au niveau des familles Planorbidae et Hydrobiidae comptant respectivement 50% et 20% des Gastéropodes. Le reste est constitué de Planorbidae, Physidae, Bythinellidae, Hydrobiidae et Spharidae qui représente chacun 10%.

Les Annélides comportent uniquement les Oligochètes dont les Lumbriculidae (57,14%) et les Tubificidae (42,85%).

Avec un total de 28 taxons capturés dans l'ensemble des 6 puits, la richesse taxonomique moyenne est de l'ordre de 9. Le nombre de taxons varie entre 5 dans le puits WELB et 13 dans les puits WFL2 et WPCH (Fig.47).

L'indice de diversité varie de 0,11 dans le puits WBOU à 1,52 dans le puits WFL2 (Fig.48).

3. Comparaison entre les sous-bassins versants :

3.1. Richesse spécifique moyenne:

Les sous-bassins versants étudiés présentent une richesse taxonomique variable (Fig.49a), comptant une moyenne de 25,85 taxons. Elle atteint une valeur maximale de 11,43 taxons enregistrée dans le sous-bassin EXUT et une valeur minimale de 5,67 taxons enregistrée dans le sous-bassin AIN. C'est surtout la richesse taxonomique de la faune épigée qui est à l'origine de cette différence (Fig.49b).

Bien que la faune stygobie est faiblement représentée dans tous les sous-bassins (Fig.49b), elle présente une variation spatiale différente de celle de la faune épigée. Ainsi, et à l'exception du sous-bassin MOU qui n'abrite aucune forme stygobie, le sous-bassin de TAF présente le nombre de taxons stygobie moyen le plus élevé (1,33). Ceux de EXUT et ISS enregistrent la richesse taxonomique la plus faible (0,29)

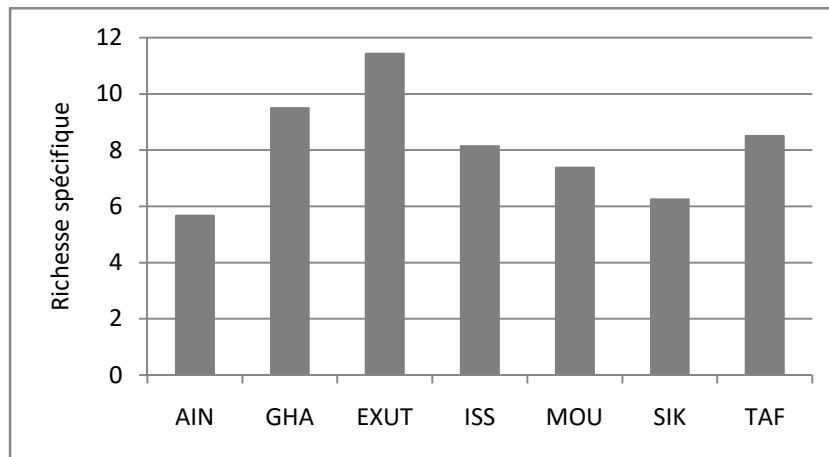


Fig. 49a :Variation de la richesse spécifique moyenne dans les sous-bassins versants.

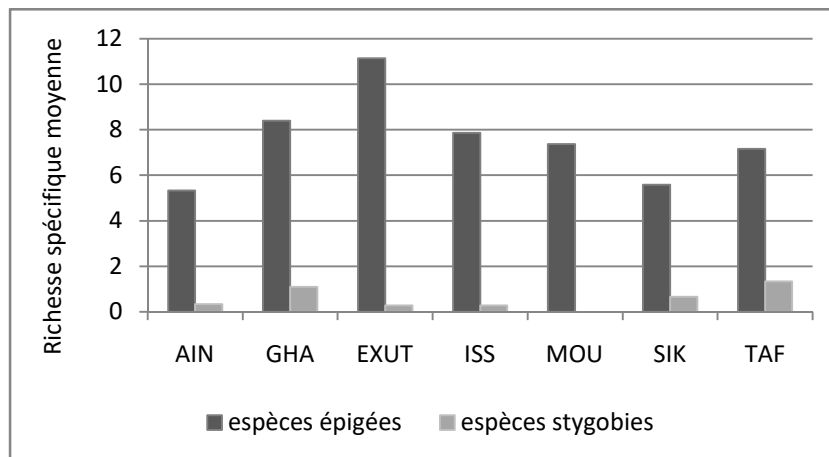


Fig. 49b :Variation de la richesse spécifique moyenne des espèces épigées et hypogées dans les sous-bassins versants.

3.2. Diversité moyenne :

L'indice de diversité de Shannon présente une variation plus ou moins importante variant entre 0,81 dans le sous bassin MOU et 1,24 dans le sous bassin AIN (Fig.50). Notant que la faune du sous-bassin MOU est dominée par les diptères Culicidae qui forment 93% de la faune totale de ce sous-bassin.

Nous remarquons que les sous-bassins avec un indice de diversité moyen proche ou égal à 1, présentent un nombre de taxons stygobies élevé avec une dominance remarquable du taxon stygobie *Typhlocirolana*. C'est le cas des sous-bassins GHA, TAF et SIK.

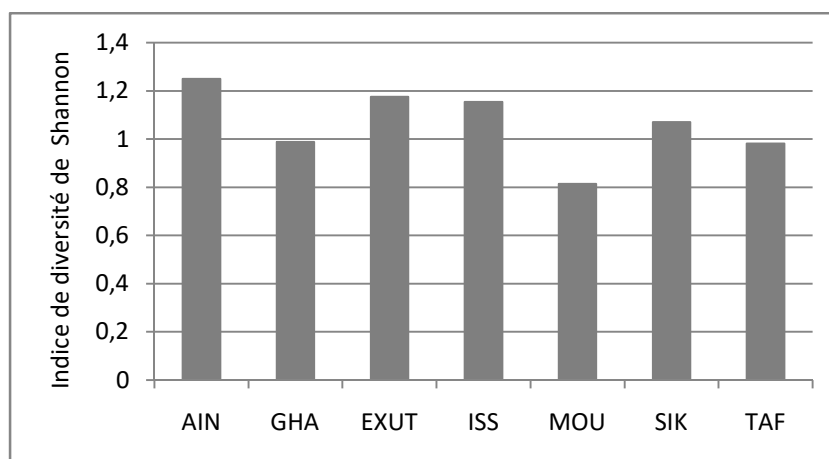


Fig.50 : Variation de la diversité moyenne dans les sous-bassins versants.

4. Analyse statistique de la PERMANOVA :

4.1. Données faunistiques :

Les deux complexes aquifères (L et C) montrent des assemblages significativement différents ($\text{pseudo-F}_{1,625} = 30.748$, $p = 0.001$). La composition faunistique est significativement différente selon les deux facteurs de PERMANOVA, séparément (SAISON: $\text{pseudo-F}_{1,614} = 2.46$, $p = 0.0252$, $\text{perm} = 9951$; BASSIN: $\text{pseudo-F}_{6,614} = 16.32$, $p = 0.0001$, $\text{perm} = 9894$; Tableau 4).

Tableau 4: Nombre et pourcentage des individus dans les sous-bassins versants et entre les deux périodes. (D: Basses eaux, W: Hautes eaux).

	AIN	GHA	EXUT	ISS	MOU	SIK	TAF
Nombre de puits échantillonnés	06	10	07	14	08	12	06
Pourcentage de la faune totale (%)	1,02	15,54	12,28	47,36	11,23	3,88	8,70
D (Nombre)	173	2806	2537	7452	2465	899	2062
W (Nombre)	248	3610	2533	12107	2173	703	1529

Lorsque nous avons effectué la PERMANOVA sur la matrice réduite composée des 5 taxons dominants, nous avons obtenu des résultats similaires : les assemblages biologiques des Cyclopidae, Ostracoda, *Typhlocirolana*, Daphnidae et Culicidae sont différents entre les deux périodes W et D ainsi qu'entre les aquifères (SAISON $\text{pseudo-F}_{1,614} = 2.87$, $p = 0.02$, $\text{perm} = 9998$; BASSIN: $\text{pseudo-F}_{6,614} = 19.884$, $p = 0.001$, $\text{perm} = 9996$). Nous avons collecté 44,54% et 55,45% de la faune

Chapitre 6: Résultats faunistiques

totale respectivement dans les périodes D et W. Parmi les taxons dominants, deux taxons sont les plus abondants durant la période W (*Ostracoda* et *Typhlocirolana*) tandis que les *Culicidae* sont les moins abondants. *Cyclopidae* et *Daphniidae* ne présentent pas des variations significatives de leurs abondances ($p\text{-value} > 0.05$) entre les deux périodes basses et hautes eaux.

Les abondances relatives des taxons varient significativement entre les sous-bassins versants (Tableau 5): au niveau du sous-bassin ISS, nous avons collecté 47,4% du nombre total des taxons, suivi par GHA (15,5%), EXUT (12,3%), MOU (11,2%), TAF (8,7%), SIK (3,8%), et AIN (1%). Le sous-bassin SIK est dominé par les *Cyclopidae* (44%), EXUT par *Ostracoda* (47%) de même que ISS (55%), GHA par *Typhlocirolana* (45%) de même que TAF (80%), AIN et MOU par les *Culicidae* avec respectivement 15% et 93% (Tableau 5).

Tableau 5: Pourcentage des taxons dominants dans les sous-bassins. Le pourcentage de chaque taxon dans chaque sous-bassin est le rapport entre le nombre d'individus du taxon sur le nombre total d'individus du sous-bassin considéré. Le résultat est multiplié par 100.

	F. Cyclopidae	O. Ostracodes	F. Daphniidae	<i>Typhlocirolana</i>	F. Culicidae
AIN	3.33	0.71	0.00	3.56	14.96
GHA	7.89	8.81	10.15	44.98	24.95
EXUT	32.03	47.04	2.41	0.00	7.24
ISS	14.15	55.19	16.38	0.75	4.80
MOU	1.14	0.00	0.63	0.00	93.08
SIK	44.51	8.74	0.50	27.47	9.55
TAF	8.94	0.33	0.53	80.62	7.05

4.2. Influence des facteurs environnementaux sur les assemblages faunistiques souterrains :

Trois axes ont été retenus pour l'interprétation de la CCA et l'étude de la distribution du peuplement d'invertébrés des eaux souterraines en fonction des données environnementales. L'analyse CCA explique 70% de la variation totale

Chapitre 6: Résultats faunistiques

(Monte Carlo test - corrélations espèces-environnement; $p < 0.001$). Les trois premiers axes canoniques présentent 60% de la variance des données biologiques. Le premier axe de CCA explique 25,2% de la variance totale. La conductivité électrique et la géologie sont significativement corrélées (0,82) avec cet axe (Fig.51a). Le deuxième axe de CCA explique 19% de la variance totale ; la distance par rapport à la mer et l'altitude sont significativement corrélés (0,6) avec cet axe (Fig. 51a). Le troisième axe de CCA explique 13% de la variance totale ; la distance par rapport à la rivière est significativement corrélée (0,85) avec cet axe (Fig. 51b). Selon les résultats de CCA, les descripteurs écologiques responsables de la diversité et la distribution de la faune aquatique souterraine dans le bassin versant de la Tafna sont par ordre d'importance : la distance par rapport à la rivière, la conductivité électrique, la géologie, la distance par rapport à la mer et l'altitude (respectivement, 85%, 82%, 81, 60% et 58%). Sur l'axe 1 de CCA, deux gradients peuvent être observés, un gradient géologique allant de la période récente vers l'ancienne période, et un gradient de salinité décroissant. La grande majorité des taxons sont tirés vers les valeurs négatives de l'axe 1 de CCA (Fig. 51a), correspondant à des périodes géologiques récentes et des valeurs élevées de conductivité électrique. Les Collemboles, *Typhlocirolana*, Pleidae, Viviparidae et Ceratopogonidae sont les taxons les plus associés à ce modèle. Les périodes géologiques anciennes (Jurassique et Crétacés) et les faibles valeurs de la conductivité électrique sont étroitement associées aux taxons Daphnidea, *Proasellus* et Beraeidae. Les périodes géologiques intermédiaires sont associées aux Ostracodes. L'axe 2 de CCA résume la variation de la distance par rapport à la mer et l'altitude, qui sont positivement corrélées. Les Achètes et les Orthocladinae sont associés avec des grandes distances par rapport à la mer et à des altitudes élevées. Par contre, les taxons, Beatidae, Hydrobiidae, Cyclopidae et Dyticidae présentent un modèle selon des faibles distances par rapport à la mer et des basses altitudes (Fig. 51b).

Le troisième axe de CCA décrit un gradient de distance par rapport à la rivière ; les puits situés vers le côté gauche du plan (Fig. 51b) sont caractérisés par des faibles distance par rapport à la rivière, associés avec les espèces stygobies telles que Bogidiellidae et *Salentinella angelieri*, qui sont opposées à Syncarida et *Pseudonyphargus* vers la partie droite de diagramme (Fig. 51b).

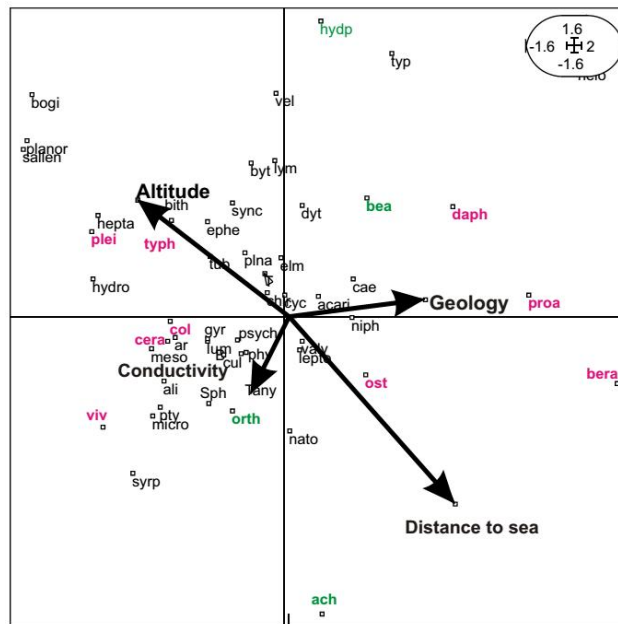


Fig. 51a : CCA avec les axes 1(horizontal) et 2 (vertical). Les abréviations des taxons sont représentées en Annexe E.

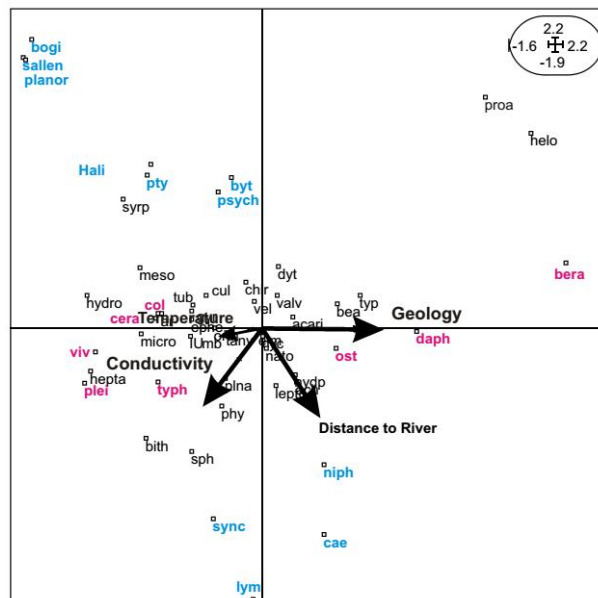


Fig. 51b : CCA avec les axes 1 (horizontal) et 3 (vertical). Les abréviations sont représentées en Annexe E.

La présence de *Caenis* et *Lymaeidae* qui sont négativement corrélés avec *Psycholidae* et *Ptychopteridae* sont étroitement associés avec les puits les plus éloignés de la rivière. La position des points d'échantillonnage sur le diagramme de CCA correspond à ces gradients.

5. Discussion :

La liste des espèces aquatiques, notamment celle des stygobies, reste toujours provisoire et incomplète parce que plusieurs taxons tels que les isopodes, les amphipodes, les copépodes et les ostracodes n'ont pas encore été déterminés au niveau de l'espèce, et ils contiennent probablement plusieurs espèces ou genres distincts. La faune totale des puits (51 taxons collectés au niveau de 63 puits) est dominée par les crustacés (10 taxons), comme il a été déjà signalé par d'autres études (Ferreira et al. 2007; Nana Nkemegni et al. 2015; Glanville et al. 2016). La richesse taxonomique dans 63 puits est plus élevée que celle observée par Merzoug et al. (2010) dans la région de Oum-El-Bouaghi en Algérie (20 taxons dont 8 sont des crustacés), par Belaidi et al. (2011) dans la nappe alluviale du cours d'eau la Tafna (37 taxons dont 9 sont des crustacés) et par El Moustaine et al. (2014) à Meknès au Maroc (20 taxons dont 7 sont des crustacés), mais plus faible par rapport à ce qui a été trouvé par Boutin et Idbennacer (1989) au Sud de l'Anti-Atlas au Maroc (59 taxons dont 14 sont des crustacés) et par Ait Boughrouss et al. (2007) au Sud-Est du Maroc (63 taxons dont 26 sont des crustacés).

Bien que la liste des taxons stygobies est incomplète, nous avons déterminé au moins 9 stygobies. La richesse taxonomique stygobitique est plus élevée que celle trouvée à l'Est de l'Algérie par Merzoug et al. (2010) avec 6 taxons stygobies, et elle est plus faible que celle identifiée au Maroc par Boulal (1988) et Boulanouar (1986) avec respectivement 11 et 18 espèces stygobies. Cependant, en comparaison avec les données enregistrées en Europe, la richesse stygobitique trouvée dans cette étude est insuffisante. Un total de 62 taxons stygobitiques a été recoltés dans 247 sites au département de Jura en France (Castellarini et al. 2005) et 32 taxons stygobitiques dans 202 sites en Belgique (Martin et al. 2009). Selon Hahn et Fuchs (2008), le nombre de sites échantillonnés dans une région détermine en grande partie la richesse des espèces enregistrées. Cependant, dans notre étude la faible richesse taxonomique est probablement liée à l'identification à un niveau taxonomique supérieur à celui de l'espèce.

Chapitre 6: Résultats faunistiques

Les taxons stygobitiques identifiés dans notre étude appartiennent au groupe des isopodes (3), des amphipodes (3), des Bathynellacea (1) et des gastropodes (2). Les Isopodes sont représentés tout d'abord par *Typhlocirolana* sp. (Cirolanidae) qui est décrit avec quatre espèces en Algérie par Racovitza (1912): *T. buxtoni*, *T. gurney* et *T. fontis* et récemment par Mahi et al. (2017): *T. longimera*. En second lieu, par *Proasellus notenboomi* (Asellidae) (Henry et Magniez, 1981). Parmi les huit espèces citées en Algérie, seulement trois sont depigmentées et anophthaliques, il s'agit de *P. notenboomi*, *P. delhezi* et *P. bragadicus* (Decu et al. 2001; Magniez et Henry, 2001). En troisième lieu, par *Microcharon* sp. (Microparasellidae). Deux espèces de ce genre ont été citées en Algérie (Decu et al. 2001): *M. zibani* (Pesce et Tetè, 1978) et *M. karamani* (Pesce et Tetè, 1978). Le deuxième groupe est représenté par *Salentinella angelieri* (Salentinellidae), Bogidiellidae et *Pseudoniphargus* (Gammaridae). Le dernier a été cité précédemment en Algérie avec deux espèces stygobitiques : *P. Africanus* Chevreux 1901 et *P. Macrotelsonis* Chevreux et Gauthier 1924. Le troisième groupe est représenté par les Syncarides (Parabathynellidae) qui a été enregistré dans l'habitat hyporhéique de l'Oued Tafna par Gagneur et Chaoui-Boudghane (1991) et Belaidi et al. (2004). Finalement, les deux gastéropodes stygobiontes appartiennent au Hydrobiidae et Planorbidae.

A l'échelle hydrogéologique, les assemblages biologiques, notamment les copépodes, les ostracodes et les cladocères, ont montré une répartition inégale entre les deux complexes d'aquifères (littoral et continental), en accord avec les variables géochimiques qui ont montré une différence significative entre les deux types. En effet, les études sur l'écologie des eaux souterraines suggèrent que le type d'aquifère est important pour déterminer les communautés écologiques bien que, sur certains sites, des facteurs régionaux ou locaux puissent être plus importants que le type d'aquifère (Maurice, 2009). Cela est en relation avec les préférences écologiques de chaque espèce. Par exemple, les ostracodes ont montré, lors d'une étude menée en Australie par Reeves et al. (2007), une sensibilité vers certaines variables environnementales comme le pH. Alors que les copépodes peuvent dépendre de la conductivité hydraulique, des débits et de la chimie (Galassi et al. 2009a).

Le complexe aquifère continental a montré l'abondance totale la plus élevée (71%) avec une dominance des crustacés (74%), représentés principalement par les ostracodes (50%), copépodes (18%), cirolanides (17%) et les cladocères (15%). La dominance des crustacés, notamment les ostracodes, les copépodes et les

Chapitre 6: Résultats faunistiques

cladocères est observée dans le sous-bassin ISS. Cela est comparable à celui qui a été observé dans d'autres formations des eaux souterraines carbonatées (Galassi et al. 2009b). Les assemblages de crustacés ont également montré une hétérogénéité spatiale au niveau du sous-bassin ISS, avec une abondance plus élevée dans la partie sud plutôt que dans le nord, reflétant l'hétérogénéité du Sud vers le Nord (Terfous et al. 2003), avec le calcaire Jurassique dans le Sud et un substrat tendre (marne) avec intercalation avec le grès vers le Nord (Boughalem et al. 2013). Par conséquent, les cladocères, les copépodes et les ostracodes sont plus abondants dans la partie Sud avec respectivement 100%, 83% et 65%. Concernant les taxons crustacéens stygobitiques, 56% d'entre eux Amphipoda, Isopoda et Bathynellacea ont été collectés dans le complexe aquifère, dominés par les *Typhlocirolana* (Cirolanidae) avec 94%. En outre, l'espèce stygobionte *Proasellus notenboomi*, qui a été notée dans la partie Sud de ISS (Henry et Magniez, 1981), a été collectée seulement dans ce complexe aquifère comme *Microcharon*, Bogidiellidae et Salentinellidae.

Le complexe aquifère continental montre des différences dans la structure physique et la chimie des eaux souterraines dans les quatre sous-bassins versants (SIK, MOU, ISS et TAF) et dans les deux périodes. De même, le modèle de distribution des copépodes, ostracodes et des cladocères est dû probablement aux caractéristiques de chaque sous-bassin, montrant des valeurs différentes dans le pH, l'oxygène dissous, la conductivité électrique et le niveau piézométrique.

Globalement, le complexe aquifère littoral montre une abondance modérée de la faune totale et des assemblages crustacéens, avec une distribution hétérogène au niveau des trois sous-bassins (AIN, GHA et EXUT). Seulement 0,65% des copépodes collectés dans la région d'étude se trouve dans l'aquifère de AIN, suivis par les ostracodes avec 0,1%, alors qu'aucun cladocère n'a été trouvé dans ce sous-bassin. Les eaux souterraines de AIN sont caractérisées par les températures les plus élevées, le pH le plus faible, le niveau piézométrique ainsi que la profondeur des puits les plus élevée par rapport aux autres types d'aquifères. La faible abondance des ostracodes observée dans le sous-bassin AIN peut être due à des faibles valeurs de pH comme il a été déjà signalé par Humphreys (2009). D'autre part, les faibles abondances totales pourraient être due à l'instabilité des habitats d'eau souterraine en raison de l'activité sismique faible à modérée (Yelles-Chaouche et al. 2004 ; Guardia, 1975 ; Sadran, 1958 ; Thomas, 1976 et 1985), que connaît l'aquifère AIN,

Chapitre 6: Résultats faunistiques

comme il a été observé dans d'autres études (Galassi et al. 2014). Quant aux taxons crustacéens, *Typhlocirolana* (Cirolanidae) représente 99,5% des taxons stygobiontes. En outre, les syncarides qui ont déjà été signalés dans l'habitat hyporhéique de l'Oued Tafna par Gagneur et Chaoui-Boudghane (1991) et Belaidi et al. (2004), ont été collectés uniquement dans ce complexe aquifère en particulier dans le sous-bassin EXUT.

Le genre *Typhlocirolana* a montré une distribution particulière entre les cinq sous-bassins versants avec une absence totale dans EXUT et MOU. Cependant, ils ont une sensibilité modérée à la pollution (Fakher El Abiari et al. 1998). Bien que certains auteurs aient montré que les taxons stygobiontiques pouvaient être utilisés comme indicateurs de la qualité de l'eau (Boulanouar, 1995 et Aït Boughrou, 2007), d'autres, au contraire, ont souligné l'importance d'autres facteurs qui régissent la présence ou l'absence des taxons stygobiontes Amphipodes et Isopodes dans les eaux souterraines (Coineau et al. 2013). Les Ostracodes sont absents dans l'aquifère MOU qui est caractérisé par un niveau élevé de la conductivité électrique avec la présence d'une pollution significative (Taleb et al. 2008). Les Ostracodes sont consommés régulièrement durant l'année par de nombreux prédateurs tels que les diptères (Vignes, 1995) et les larves de moustiques (Campos et Lounibos, 2000). Les Daphnidae montrent les abondances les plus élevées dans les sous-bassins GHA et EXUT qui sont caractérisés par le niveau d'eau souterraine le plus élevé et la profondeur des puits la plus basse. La présence des crustacés épigée est d'une indication claire d'une grande connexion entre la surface et l'aquifère (Lafont et al. 1992; Schmidt et al. 2007; Di Lorenzo et al. 2013). Selon Toumi et al. (2013), la présence des cladocères est souvent liée à une salinité élevée des eaux dans les aquifères alluviaux. Dans notre étude, nous avons observé que les Daphnidae étaient tolérantes à une salinité jusqu' à 1,96 (salinité moyenne de EXUT). Cependant, elles sont presque absentes dans les aquifères avec une salinité moyenne supérieure à cette valeur moyenne comme c'est le cas du bassin TAF.

Les assemblages biologiques montrent une différence dans l'abondance entre les périodes des hautes et basses eaux, comme il a été observé par Nana Nkemegni et al. (2015) dans les eaux souterraines du Cameroun. Nos résultats sont différents à ceux trouvés dans l'Ouest de l'Australie par Eberhard et al. (2009).

Finalement, dans la présente étude la structure et la distribution des communautés des eaux souterraines peuvent être attribuées aux effets causaux des

Chapitre 6: Résultats faunistiques

variables mesurées. En effet, la distribution de la faune des eaux souterraines dans toute la région d'étude a été principalement affectée par la distance par rapport à la rivière, la période géologique et la conductivité électrique selon l'analyse de CCA. *Bogidiellidae* et g. *Salentinella angelieri* et aussi *Typhlocirolana* montrent de l'abondance croissante dans les puits proches de la rivière. Ce modèle pourrait être dû au fait que la quasi-totalité de l'oxygène et de la matière organique requise par la stygofaune provient de l'eau de surface (Belaidi et al. 2011; Ward et Palmer, 1994). Ainsi, il pourrait y avoir un rôle clé de la connectivité entre les eaux souterraines et les eaux de surface comme il a été précédemment identifié par Dole-Olivier (1998), Gagneur et Chaoui-Boudghane (1991), Belaidi et al. (2004) et Taleb et al. (2008). Dans le même sens, la période géologique semble être un moteur de richesse totale des espèces. Une richesse taxonomique élevée a été trouvée dans une période géologique plus récente (dépôts alluviaux récents) en comparaison avec la période géologique ancienne (Jurassique et Crétacé) selon Thulin (2008). Par ailleurs, Dole-Olivier et al. 2009 ont démontré que les niveaux les plus élevés de la biodiversité stygobitique était en relation avec l'eau bien oxygénée des aquifères de formations géologiques perméables.

Chapitre 7 :
Taxonomie et répartition du genre
Typhlocirolana

Chapitre 7: Taxonomie et répartition du genre *Typhlocirolana*

La famille des Cirolanidae est l'une des familles les plus importantes des Isopodes, avec plus de 497 espèces appartenant à 61 genres. Approximativement, 26 genres dont 89 espèces habitent les eaux souterraines (Botosaneanu et al. 1986 ; Botosaneanu et Vilorio, 1993 ; Coineau et al. 1994 ; Holsinger et al. 1994 ; Botosaneanu, 2001 ; Coineau et Boutin, 2015).

L'un des taxons le plus intéressant des isopodes cirolanides est le genre stygobionte de l'Ouest méditerranéen *Typhlocirolana* Racovitza, 1905. Largement répandu dans la région, il a colonisé les eaux souterraines continentales de la Sicile, de la péninsule ibérique, des îles Baléares, de Tunisie, d'Algérie et du Maroc avec plusieurs espèces (Racovitza, 1912 ; Monod, 1934 ; Boutin et al. 2002 ; Baratti et al. 2004). Ce genre se trouve dans la Méditerranée occidentale avec dix espèces décrites et plusieurs espèces encore non décrites, dont les relations phylogénétiques ont été étudiées (Baratti et al. 2004) et ont encore besoin d'examen plus approfondi, surtout après le changement récent de l'espèce *T. leptura* Botosaneanu et al. 1985 vers un nouveau genre *Botolana* Coineau et Boutin, 2015 (Coineau et Boutin 2015). Durant notre investigation des eaux souterraines du Nord-Ouest algérien, plusieurs spécimens de *Typhlocirolana* ont été récoltés dans plusieurs puits de la région. La plupart des spécimens collectés ont été attribués aux espèces déjà décrites *T. fontis* (Gurney, 1902) et *T. gurneyi* Racovitza, 1912.

La partie présente de notre travail porte sur la description d'une nouvelle espèce du genre *Typhlocirolana* du Nord de l'Afrique, ainsi qu'une présentation de la situation des autres espèces algériennes de ce genre.

1. *Typhlocirolana longimera* :

1.1. Description :

Les épimères péréiaux II-VII carénés. Meros du premier péréiopode long dépassant le carpus et atteignant les 2/3 de la longueur de propus, pénis environ 1/4 de la longueur de péréonite 7. Un pleotelson triangulaire, portant 8 à 13 tiges simples sur la marge distale et 5 à 10 tiges simples sub-marginales (Fig.52).

Lame frontale (Fig.53g): lancéolo-clavée et fortement tridimensionnelle, latéralement aplatie, pointe arrondie. *Clypeus*: triangulaire avec des marges latérales arrondies, labrum subtriangulaire avec des marges arrondies.

Antennes (Fig.52d): les antennes arrivent à la marge distale de péréonite 5. Flagelle s'étendant jusqu'à la partie postérieure de péréonite 4, et presque deux fois

Chapitre 7: Taxonomie et répartition du genre Typhlocirolana

plus longue que la hampe, avec environ 32 articles chez le mâle et 35 chez la femelle. La longueur des articles diminue progressivement vers la pointe ; tous les articles possèdent 5 à 9 tiges principalement longues et simples. Les articles 5 et 4 de la hampe possèdent chacun 1 – 3 longues tiges plumeuses, avec 1 tige ciliée (t.acoustiques) en plus sur l'article 4.

Antennules (Fig.52e): des antennules courtes, arrivant à la moitié de la longueur de péréionite 1. Flagelle plus court que la hampe et formé de 6 articles, avec quelques tiges simples et des lamelles olfactives qui sont présentes du second au quatrième article. La formule des lamelles olfactives est 022210 chez le mâle et 012220 ou 012210 ou 011110 chez la femelle.

Mandibules (Fig.53a): Acies droite et gauche divisés respectivement en trois (Fig.53a) et quatre (Fig.53b) dents irrégulières. Lacinia mobilis avec 13 à 16 fortes épines dentées ; pars molaris gauche pourvue de 24 (male) à 33 (femelle) courtes épines. L'article 1 du palpe pourvu de 1 tige simple au bord distal ; l'article 2 pourvu de 16 à 20 tiges (2 – 3 longues tiges simples distales, 2 – 4 tiges simples basales, 11 – 13 tiges barbelées médianes) ; l'article 3 est le plus court des autres articles et pourvu de 9 à 11 tiges barbelées (les trois dernières sont longues).

Maxille I (Fig.53d): Lobe interne pourvu de 3 fortes tiges plumeuses et 2 courtes tiges simples. Lobe externe garni de 10 à 11 dents robustes et coniques (dont 3 sont dentées) et 2 tiges barbelées (sur un côté).

Maxille II (Fig.53c): Lobe externe muni de 3 à 4 tiges barbelées sur leur partie distale et sur un côté; lobe médian porte 3 à 4 tiges semblables à ceux du lobe externe. Lobe interne pourvu de 9 tiges de longueur différente, délicatement plumeuse sur les deux côtés ainsi que sur la pointe. A l'angle postéro-interne du même lobe, se trouve une courte tige simple.

Maxillipèdes (Fig.53e,f): Un lobe masticatoire bien développé et une palpe pourvue de 5 articles munis de tiges. Article 1 du palpe avec une tige simple sur la face interne ; article 2 avec 2 tiges simples sur la marge externe et 6 autres sur la marge interne ; article 3 avec 4 tiges sur le bord externe et 14 à 18 tiges sur le bord interne ; article 4 avec 2 tiges sur le bord externe et 12 autres sur le bord interne (2 parmi elles sont plumeuses sur un seul côté) ; article 5 avec 13 à 17 tiges distales (toutes les tiges sont simple sauf 4 – 5 tiges qui sont plumeuses sur un seul côté).

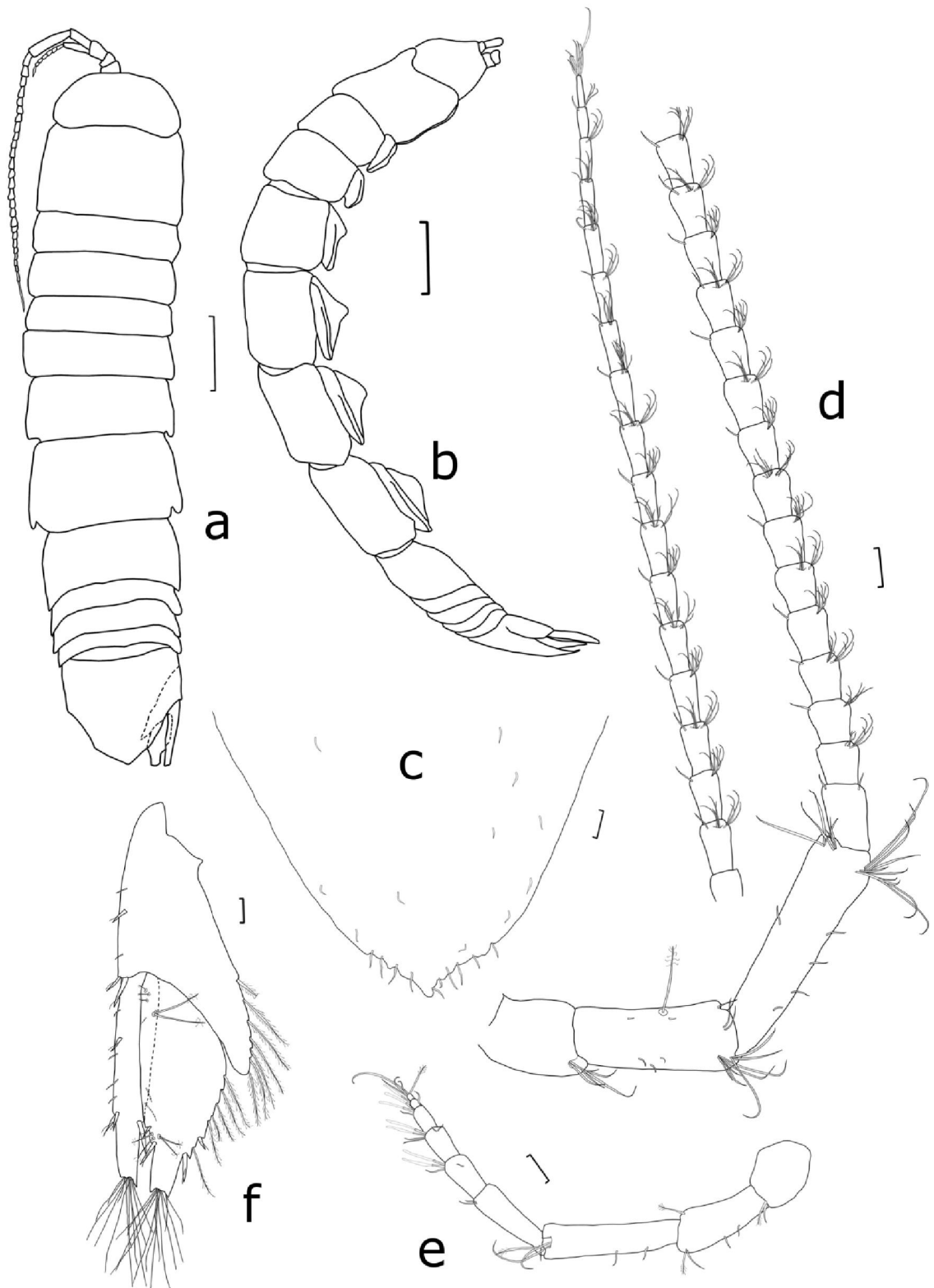


Fig. 52 : *Typhlocirolana longimera* sp. n. Mâle. 10.9 mm. **a** aspect extérieur ; **b** Vue latérale ; **c** marge postérieure du pleotelson ; **d** antenne ; **e** antennulle ; **f** uropode. Echelle: **a, b** = 1 mm ; **c-f** = 0.1 mm.

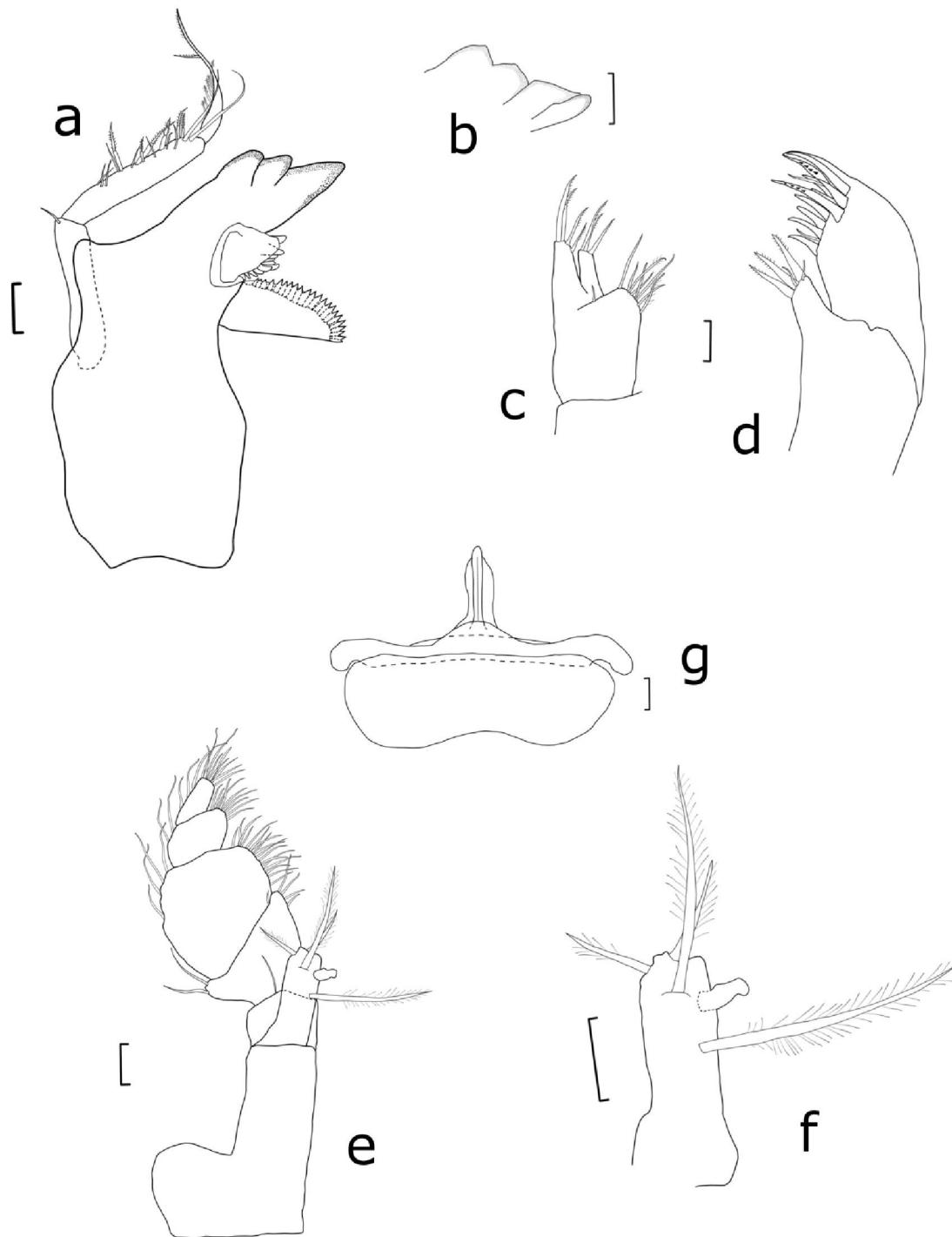


Fig.53 : *Typhlocirolana longimera* sp. n. **a** mandibule droite ; **b** Acies, mandibule gauche ; **c** maxilla ; **d** maxillule ; **e** maxilliped ; **f** lobe masticatoire du maxillipède ; **g** lame frontale.

Echelle: **a–g** = 0.1 mm.

Chapitre 7: Taxonomie et répartition du genre Typhlocirolana

Lobe masticatoire pourvu au sommet et sur l'arête inféro-interne de 2 fortes tiges ciliées chacun, la face interne ne porte qu'un seul crochet.

Péréiopode 1 (Fig.54a): Basis garni de 1 tige ciliée (t.acoustique) et 1 tige simple sur la marge externe. Sur la marge interne, 4 tiges simples (2 médianes et 2 sur l'angle distal). Ischium porte 5 tiges simples (3 sur la marge interne et 2 distales près de l'angle externe) et 1 épine sur l'angle distal interne. Merus avec une marge interne allongée, dépassant le carpus et arrivant aux 2/3 de la longueur de propus, pourvu de 3 tiges sur l'angle distal externe ; la marge interne avec 6 tubercules et 2 fortes tiges courtes avec soie additionnelle, et 1 longue tige simple. Cette armature est constante et similaire chez le mâle ainsi que la femelle. Deux à trois tiges simples sont proches des trois tubercules proximales. Carpus muni de 2 tiges simples et 1 épine avec soie additionnelle sur l'angle distal interne. Propodus pourvu d'une marge interne crénelée sur le côté proximale, avec 2 épines distales (avec soie additionnelle) et un groupe de 5 tiges apicales (une d'entre elles est barbelée sur un seul côté) ; deux tiges simples sur l'angle distal externe. Dactylus avec 5 tiges simples courtes et 1 épine (avec soie additionnelle) sur l'angle distal interne, 4 tiges sub-distales sur la face latérale.

Péréiopodes 2 – 7 (Fig. 54b – g): ils sont similaires dont la longueur croît progressivement de 2 à 7. Les péréiopodes 2 et 3 portent l'organe propodial chez le mâle et la femelle. Ces péréiopodes diffèrent par leur chaetotaxy, pourvus de 2 à 5 tiges acoustiques sur le bord externe du basis, 4 à 5 le long du bord de P2 et P3, 2 tiges proximales sur le P4, 2 proximale avec 1 tige distale sur P5, 4 longues tiges sur P6 et 3 tiges proximales.

Pléopode 1 (Fig. 55a): Le sympodite est garni de 5 à 8 crochets à l'angle potéro-interne, et d'une tige simple courte à l'angle distal externe. Endopodite 1/2 fois plus étroit que l'exopodite, pourvu de 14 à 16 tiges ciliées chez le mâle (16 – 20 chez la femelle). Exopodite avec 28 à 29 tiges ciliées chez le male (28 – 36 chez la femelle).

Pléopode 2 (Fig. 55b,c): Le sympodite porte à l'angle postéro-interne 4 à 6 crochets et 0 à 2 tiges ciliées ; une seule tige simple à l'angle distal externe. Exopodite oval, avec 31 à 34 tiges ciliées chez le mâle (32 – 39 chez la femelle). Endopodite avec 9 à 14 tiges ciliées. L'organe copulateur a une forme cimenterre dirigée vers l'extérieur ; 2/3 fois plus long que l'exopodite.

Pléopode 3 (Fig. 55d): Le sympodite avec 3 à 5 crochets et 0 à 4 tiges ciliées

Chapitre 7: Taxonomie et répartition du genre Typhlocirolana

à l'angle postéro-interne ; et une seule tige simple à l'angle distal externe. Exopodite oval, avec 24 à 31 tiges ciliées chez le mâle (29 – 37 chez la femelle) ; quelques écailles et 1 à 3 tiges simples sur la marge latérale interne ; une articulation transversale incomplète.

Pléopode 4 (Fig. 55e): Le sympodite avec 2 à 3 crochets et 1 à 3 tiges ciliées à l'angle postéro-interne; et une seule tige simple à l'angle distal externe. Exopodite, sur le bord postéro-externe porte 8 à 9 tiges ciliées chez le mâle (10 – 11 chez la femelle) ; sur la marge latérale interne quelques écailles et 1 à 2 tiges simples et sur la marge latérale externe 0 à 2 tiges ciliées ; une articulation transversale complète.

Pléopodes 5 (Fig. 55f): le Sympodite porte une seule tige simple à l'angle postéro-externe. Exopodite avec 5 à 7 tiges ciliées sur le bord postéro-externe ; quelques écailles et 2 à 3 tiges simples sur la marge latérale interne ; une articulation transversale complète.

Uropodes (Fig. 52f): Le sympodite est subtriangulaire, muni sur le bord externe de 3 épines avec soie additionnelle (1 médiane et 2 à l'angle distal) et de 2 tiges simples; 7 à 8 tiges ciliées sur le bord interne chez le mâle (8 – 12 chez la femelle). Exopodite styliforme, moins long que l'endopodite, régulièrement mince de la base au sommet, avec 2 fortes tiges (avec soie additionnelle) sur le bord interne et 1 à 2 fortes tiges (avec soie additionnelle) sur le bord médian accompagnées par 1 à 2 longue tige simple et 1 à 2 tiges simples courtes ; la marge externe avec une petite épine proximale (avec soie additionnelle) et une ligne de 3 à 4 tiges simples courtes. La partie terminale avec environ 13 longues tiges simples de différentes longueurs. Endopodite ayant une forme de bouteille, clairement large que l'exopodite, légèrement long que l'exopodite, avec 6 tiges ciliées sur la marge interne chez le mâle (5 – 8 chez la femelle), et 2 à 3 fortes tiges (avec soie additionnelles). Au total. 9 tiges acoustiques sur le bord externe regroupées en 2 groupes de 2 à 3 tiges sur le côté proximal et distal ; le sommet porte environ 12 tiges simples de différentes longueurs.

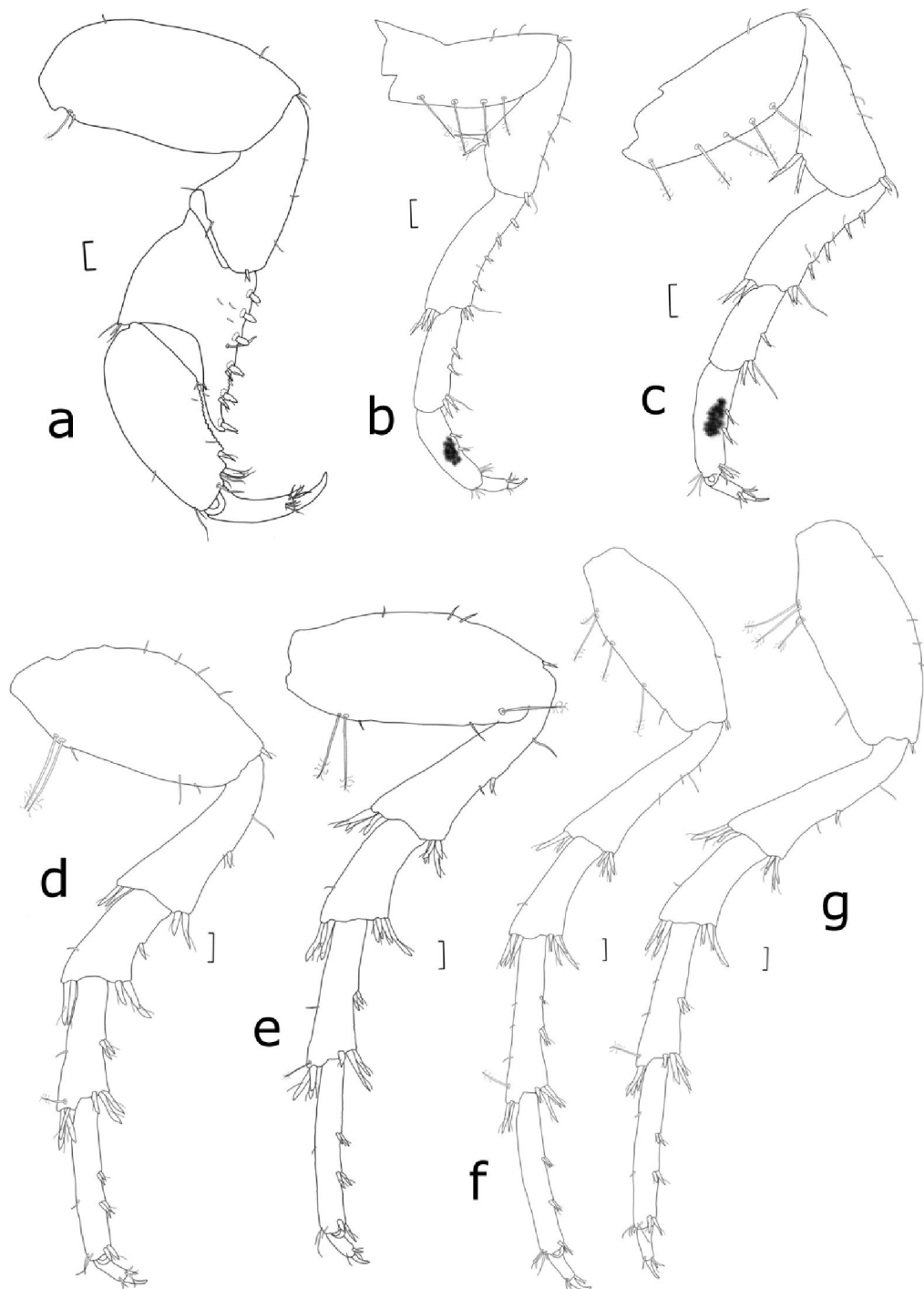


Fig. 54 : *Typhlocirolana longimera* sp. n. a–g péréiopodes 1–7.
Echelle: a–g= 0.1 mm.

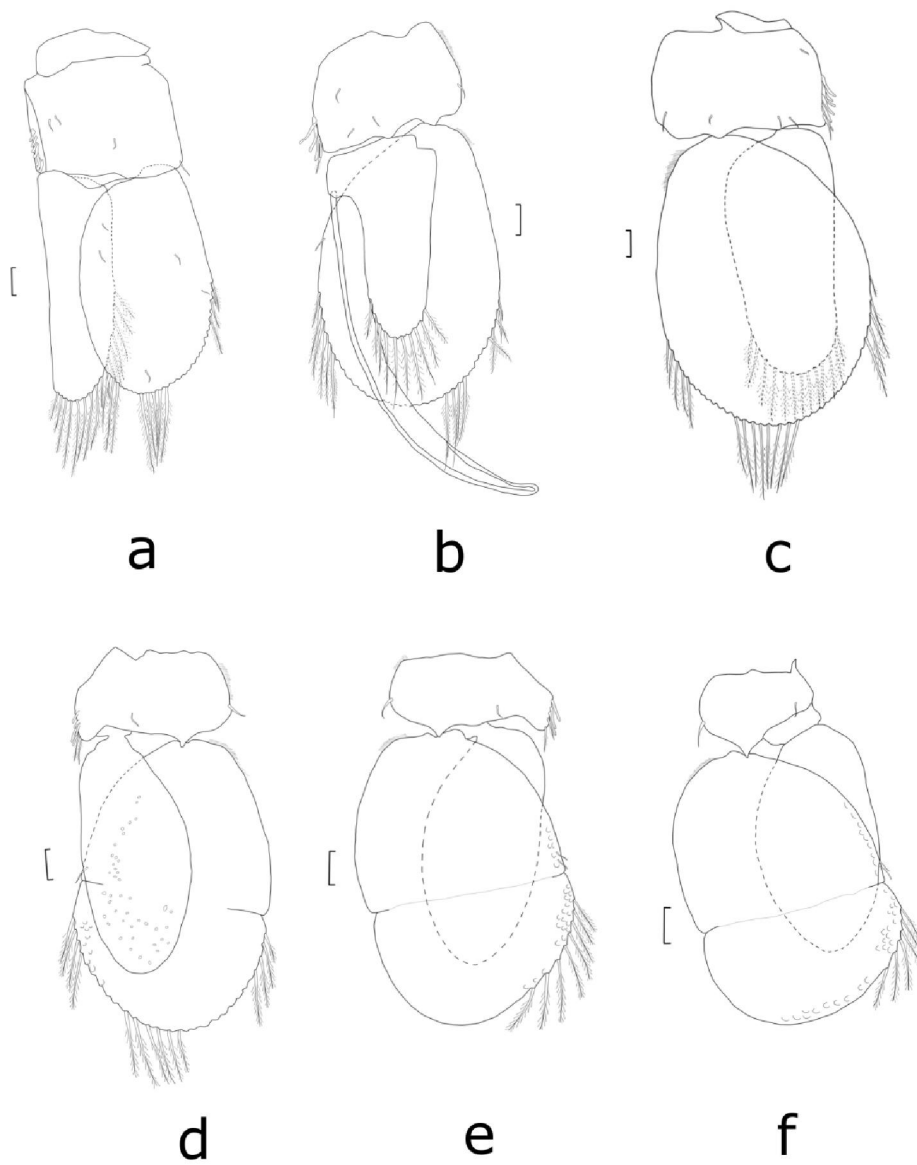


Fig. 55: *Typhlocirolana longimera* sp. n. **a** pléopode 1; **b** pléopode 2; **c** pléopode femelle 2; **d-f** pléopodes 3-5.
Echelle: **a-f** = 0.1 mm.

Chapitre 7: Taxonomie et répartition du genre *Typhlocirolana*

1.2. Diagnostique différentiel avec d'autres matériels examinés:

En nous basant sur l'aspect morphologique général, avec quelques caractères, *Typhlocirolana longimera* n. sp. présente les plus grandes affinités avec *T. fontis* et *T. haouzensis* Boutin, Boulanouar, Coineau & Messouli, 2002. Cependant, il y a un mélange de caractères approchant *T. longimera* à plusieurs espèces de *Typhlocirolana*.

En plus des principaux caractères, qui font la différence avec d'autres espèces du genre *Typhlocirolana*, *T. longimera* se différencie considérablement des autres selon la formule des lamelles olfactives du flagelle des antennules : 122222222212 chez *T. buxtoni* Racovitza, 1912, 12222212 chez *T. fontis*, 12222212 chez *T. gurneyi*, 121221 chez *T. ichkeuli* Ghlala, Della Valle & Messana, 2009, 22210 chez *T. rifana* Margalef, 1953.

La dentition et le nombre des fortes tiges de propodus de péréiopodes I: chez *T. gurneyi* non dentés avec 2 ou 3 fortes tiges, chez *T. buxtoni* non dentés avec 3 fortes tiges, chez *T. fontis* nous ne possédons pas d'information, chez *T. haouzensis* non denté avec 3 fortes tiges médio-distales, chez *T. ichkeuli* Non dentés avec 3 fortes tiges.

L'organe propodial est présent chez le mâle et la femelle pour *T. longimera* et *T. buxtoni*, mais il est présent que chez le mâle pour *T. fontis*, *T. gurneyi*, *T. haouzensis* et *T. tiznitensis* Boulal, Boulanouar et Boutin, 2009, tandis qu'il est absent pour *T. ichkeuli*.

L'article basal du palpe des mandibules chez les espèces algériennes (*T. buxtoni*, *T. fontis* et *T. gurneyi*) y compris *T. longimera*, présente une forte tige ciliée. Par contre, cet article ne possède aucune tige pour les espèces marocaines (*T. haouzensis* and *T. tiznitensis*) et tunisiennes (*T. ichkeuli*).

L'article III du palpe des mandibules porte 30 tiges ciliées pour les espèces algériennes et que 13 à 16 pour les espèces marocaines. Tandis que *T. longimera* présente une position intermédiaire avec 9 à 11 tiges ciliées.

Exopodite de pléopode 1 de *T. longimera* avec 28 ou 29 tiges distales chez le mâle et 28 à 36 chez la femelle, ce qui est différent pour *T. buxtoni* (40), *T. fontis* (24 chez le mâle et 20 chez la femelle), *T. gurneyi* (27), *T. haouzensis* (23–26 chez le mâle et 27 chez la femelle), *T. tiznitensis* (26–30) et *T. ichkeuli* (24–26).

Une articulation transversale est présente au niveau des pléopodes 3, 4 et 5 pour les espèces marocaines (*T. haouzensis* et *T. tiznitensis*) et tunisienne (*T. ichkeuli*),

Chapitre 7: Taxonomie et répartition du genre *Typhlocirolana*

tandis qu'elle présente qu'au niveau des pléopodes 4 et 5 pour les espèces algériennes (*T. buxtoni*, *T. fontis* et *T. gurneyi*) y compris *T. longimera*.

La forme des uropodes de *T. longimera* est similaire à celle de *T. buxtoni*, *T. fontis*, *T. haouzensis* et *T. tiznitensis*.

Le bord distal du pléotelson porte des tiges ciliées chez les espèces algériennes (*T. buxtoni*, *T. fontis* et *T. gurneyi*). Cependant, ces tiges sont simples chez *T. longimera* ainsi que les espèces marocaines (*T. haouzensis* et *T. tiznitensis*) et tunisiennes (*T. ichkeuli*).

2. *Typhlocirolana* cf. *gurneyi* Racovitza, 1912 :

Typhlocirolana gurneyi, Racovitza 1912: 261–266, figs 54–63; Monod 1930: 148, 152–155; Nourisson 1956:103, 110–113, 121.

Les spécimens de la région d'Ain Temouchent sont les plus semblables à *T. gurneyi* par la forme de l'uropode qui est étroit, le pléotelson porte 12 tiges ciliées sur la marge distale du mâle, 3 fortes tiges avec soie additionnelle sur le propodus du périopode 1, et le lobe masticatoire du maxillipède avec 1 à 2 crochets et 3 à 4 tiges ciliées (Fig .56).

3. *Typhlocirolana* cf. *fontis* (Gurney, 1908) :

Cirolana fontis, Gurney 1908: 682–685

Typhlocirolana fontis, Racovitza 1912: 254–261, figs 49–53 ; Monod 1930: 139, 143, 144, 146–150, 152, 153, 155; Nourisson 1956: 103, 113–116, 121.

Ces spécimens sont plus similaires à *T. fontis* par la présence de l'organe propodial dans le mâle, le lobe masticatoire du maxillipède avec 1 à 2 crochets, la chécotaxie des pléopodes 1 (19 tiges ciliées sur l'exopodite et 11 tiges ciliées sur l'endopodite de la collection de Ghazaouet ; et 23 tiges ciliées sur l'exopodite et 14 tiges ciliées sur l'endopodite de la collection de Sidna youchaa) et le pléopode 2 (21 tiges ciliées sur l'exopodite et 7 tiges ciliées sur l'endopodite de la collection de Ghazaouet ; et 26 tiges ciliées sur l'exopodite et 6 tiges ciliées sur l'endopodite de la collection de Sidna youchaa) (Fig.57).

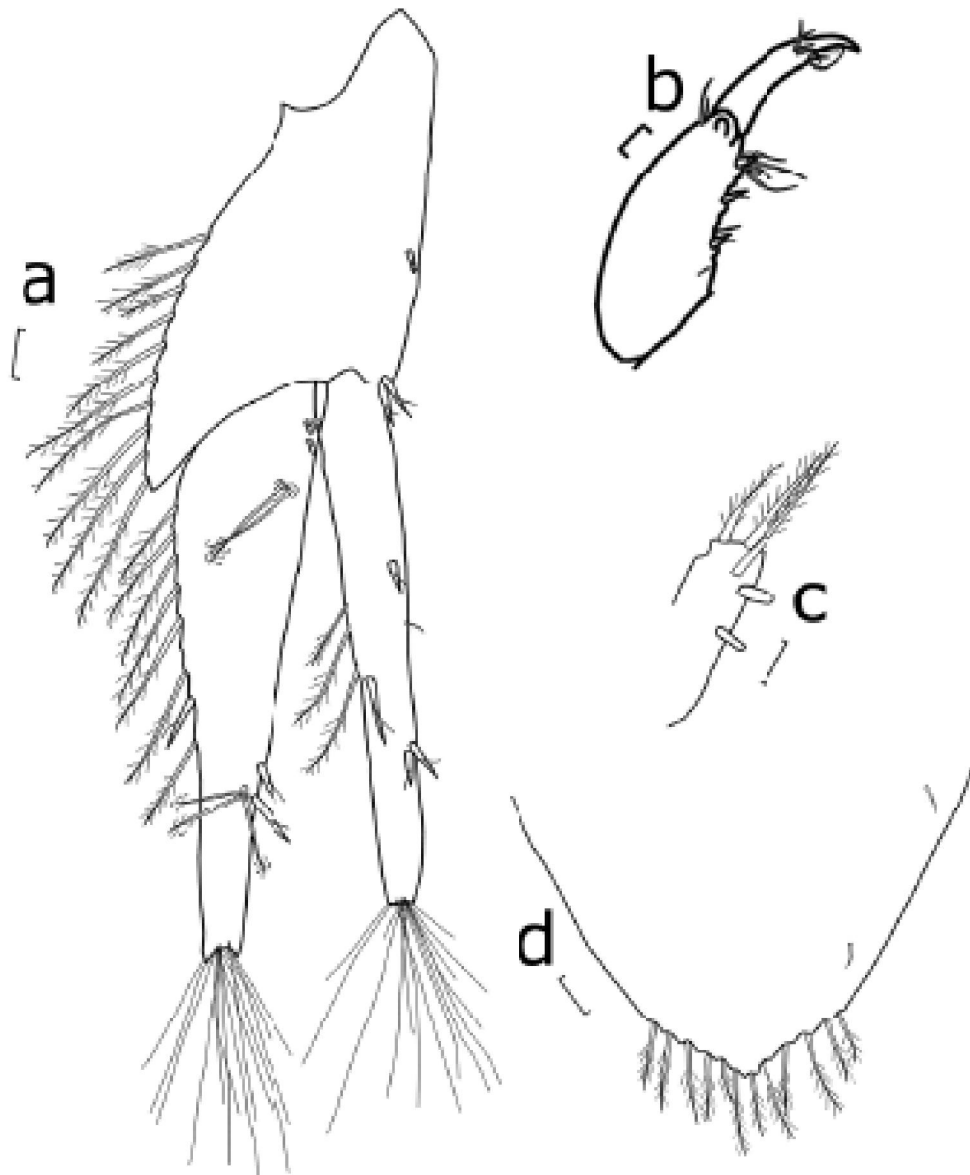


Fig. 56 : *Typhlocirolana* cf. *gurneyi*. **A** uropode ;**b** propodus et dactylus du périopode 1 ;**c** lobe masticatoire du maxillipède ;**d** apex du pléotelson.
Echelle: **a–d** = 0.1 mm.

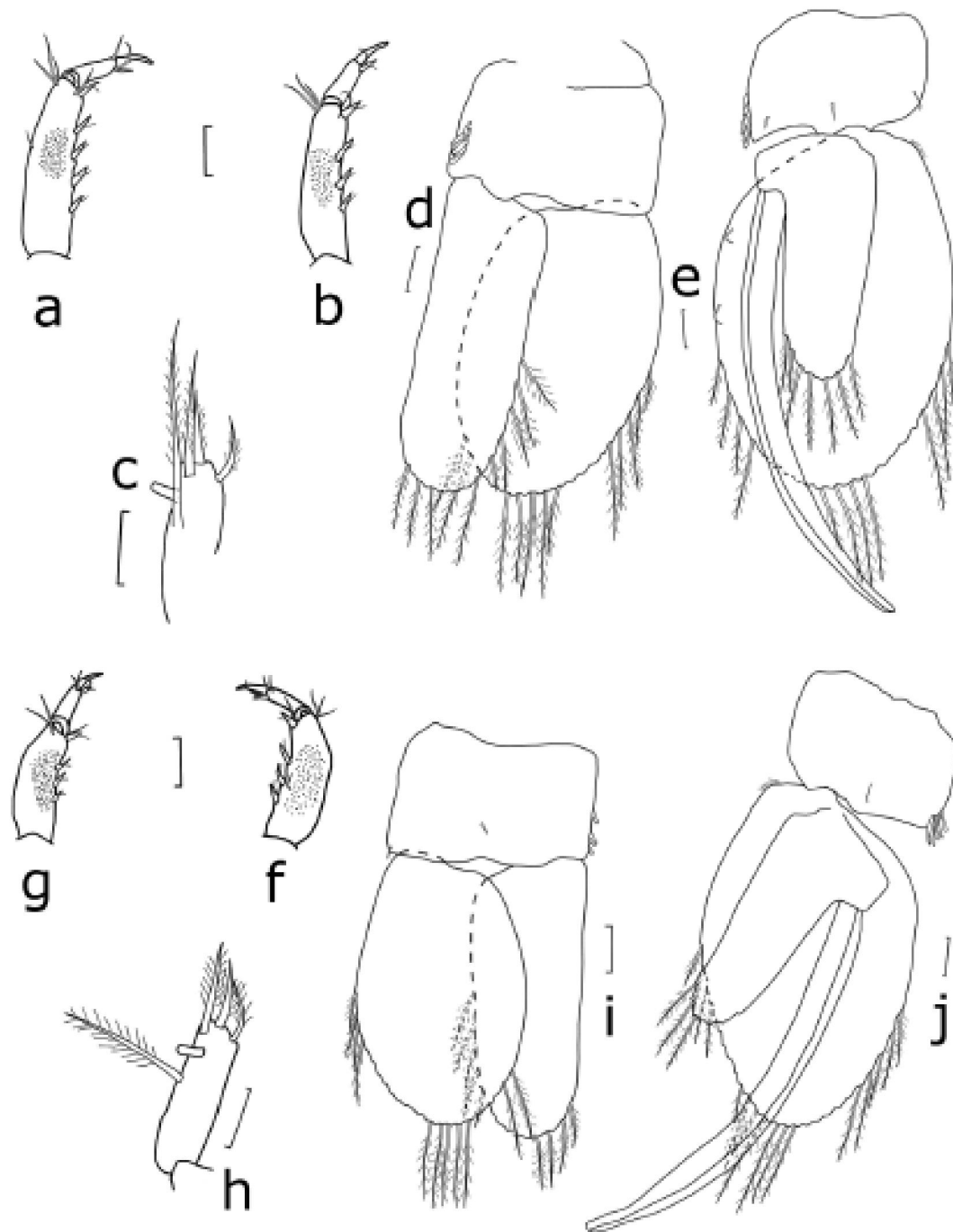


Fig. 57: *Typhlocirolana* cf. *fontis*. Ghazaouet (a–e): a péréiopode 1; b péréiopode 2; c lobe masticatoire du maxillipède; d pléopode 1; e pléopode 2. Sidna Youcha (f–j): f péréiopode 1; g péréiopode 2; h lobe masticatoire du maxillipède; i pléopode 1; j pléopode 2. Echelle: a–j = 0.1 mm. (L'armature des pléopodes a été partiellement omis)

4. Distribution géographique des trois espèces du genre *Typhlocirolana* récoltées dans le Nord-Ouest algérien:

Le genre *Typhlocirolana* peuple les eaux souterraines de nombreuses régions. Les trois espèces récoltées dans cette étude, *T.longimera*, *T.fontis* et *T.gurney*, montrent globalement une répartition différente entre les sous-bassins (Fig.58) avec une séparation de leurs niches écologiques. En effet, *T.fontis* a été récoltée en abondance dans les sous-bassins ISS, SIK et TAF. En revanche, elle est moins abondante dans le sous-bassin GHA avec 23,25% où elle cohabite avec *T.longimera* dans les puits GH1, GH2 et GH3. Cette dernière est présente exclusivement dans ce sous-bassin avec 76,75% des *Typhlocirolana*. Quant à *T.gurney*, elle est localisée uniquement dans le sous-bassin des cotiers oranais (AIN).

A noter que les trois espèces sont absentes dans les sous-bassins de l'exutoire (EXUT) et Mouilah (MOU).

Plusieurs facteurs peuvent déterminer la distribution des trois espèces de ce genre. L'analyse de l'ACC réalisée dans cette étude nous a permis de déterminer les facteurs suivants : la distance par rapport à la rivière, la conductivité électrique, la géologie, la distance par rapport à la mer et l'altitude (Fig.59). Cependant, *Typhlocirolana gurney* est la seule espèce connue dans le bassin versant des cotiers oranais centre. Sa répartition est influencée surtout par la géologie récente.

Quant à l'espèce *Typhlocirolana fontis*, sa répartition est influencée beaucoup plus par la conductivité électrique élevée ($3230,33 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 1429,36$) et la géologie récente. En outre, elle présente une aire de distribution plus large que les deux autres espèces, avec une présence dans 4 sous-bassins (GHA, SIK, ISS et TAF).

Pour l'espèce *Typhlocirolana longimera*, sa distribution est influencée beaucoup plus par la distance par rapport à la mer et les basses altitudes. Elle est influencée également selon l'analyse de PERMANOVA par la conductivité électrique élevée ($2898 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 90,91$).

Chapitre 7: Taxonomie et répartition du genre *Typhlocirolana*

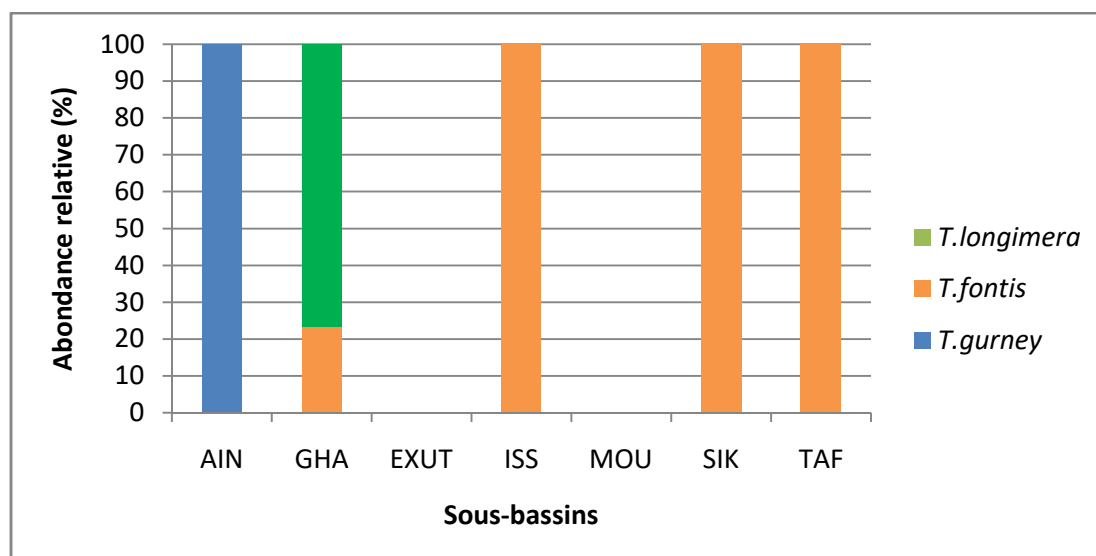


Fig.58 :Distribution des espèces du genre *Typhlocirolana* au sein des sous-bassins.

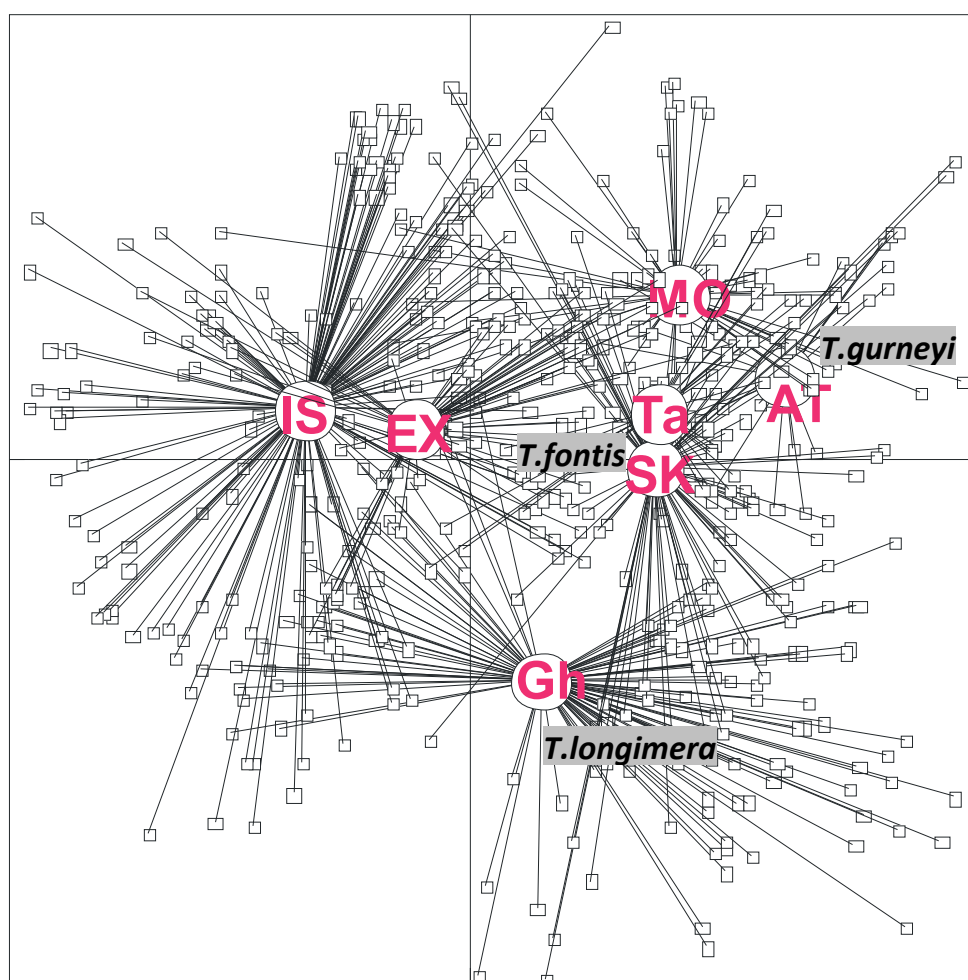


Fig. 59 : Distribution des trois espèces du genre *Typhlocirolana*.

5. Discussion :

Les premières investigations sur la faune aquatique souterraine en Algérie menées par Gurney (1908) et Racovitza (1912), Conduisent à la découverte de trois espèces de *Typhlocirolana* : *T. fontis*, *T. gurneyi* et *T. buxtoni*. Cependant, Monod (1930, 1934) et Nourisson (1956), ont discuté le statut des deux espèces, *T. fontis* et *T. gurneyi*, suggérant qu'elles pourraient être une seule espèce. Ces auteurs soulignent la grande variabilité des caractères utilisés par Racovitza (1912). *Typhlocirolana buxtoni* a été maintenu comme une espèce indépendante probablement par la présence d'organe propodial dans les deux sexes (Por, 1962). Plus tard, d'autres auteurs suggèrent de maintenir la séparation entre les trois espèces algériennes (Botosaneanu et al. 1985, Boutin et al. 2002). Nous sommes d'accord sur ce point, parce que nous n'avons pas assez d'arguments pour séparer les trois espèces. D'autre part, nous avons besoin d'autres nouvelles observations pour une comparaison exhaustive.

L'histoire de l'évolution de *Typhlocirolana* et la colonisation des eaux souterraines, comme celle de plusieurs autres crustacés stygobitiques (Baratti et al. 2010), est le résultat de multiples événements de vicariance, qui s'est passé dans le bassin méditerranéen dans les dernières 90 à 15 millions d'années. En particulier, la région Ouest du Maghreb a connu de nombreuses régressions marines dans différentes périodes qui ont permis une connexion entre le bassin de Tethys et l'océan Atlantique. L'histoire paléogéographique de la région a entraîné un complexe d'espèces strictement liées morphologiquement et génétiquement dont la position n'est pas facile à éclaircir (Boutin et al. 2002 ; Baratti et al. 2004, 2010 ; Ait Boughrous et al. 2007 ; Boulal et al. 2009). La situation algérienne est plutôt compliquée et nécessitera une révision morphologique et moléculaire précise des taxons.

Conclusion générale

Conclusion générale

Du fait de son contexte géographique assez particulier, la partie nord-ouest de l'Algérie se trouve privée d'une bonne partie des perturbations venant de l'Atlantique par la chaîne montagneuse du Rif (Maroc). En conséquence, cette zone se trouve limitée en terme de ressource en eau qui doit satisfaire la demande de tous les secteurs actifs dans cette partie du pays.

Le travail réalisé dans cette étude s'inscrit dans le contexte de connaissance et analyse de la structure et la distribution des peuplements aquatiques souterrains. Il présente trois volets :

- Inventaire de la faune aquatique souterraine : ce volet a été déjà abordé lors de quelques études dans le bassin versant de la Tafna, Belaidi (2004), Belaidi et al. (2011). En continuité, nous avons élargi notre investigation vers un autre bassin versant, celui des côtiers oranais avec la partie centre et Ouest pour la première fois.
- Corrélation faune-environnement : en associant les caractéristiques hydrogéologiques aux structures d'assemblage biotiques, nous arrivons à une meilleure compréhension des interrelations entre les eaux souterraines et les organismes vivants dans les écosystèmes souterrains. Dans la présente étude, cela a été établi à grande échelle en intégrant sept sous-bassins (GHA, AIN, EXUT, MOU, ISS, SIK et TAF) appartenant à deux bassins versants (Tafna et côtiers oranais).

De point de vue biologique, les prospections faites au niveau des sept sous-bassins versants nous ont permis d'obtenir des résultats intéressants. En effet, la richesse taxonomique est importante, composée d'une faune majoritairement stygoxène et stygophile nettement plus importante quantitativement et qualitativement que celle d'origine interstitielle habitant la nappe phréatique dite stygobie. Cette dernière reste plus importante puisqu'elle nous renseigne sur l'état des eaux souterraines.

Onze taxons stygobies ont été identifiés dans cette étude, appartenant aux Gastéropodes et aux Crustacés. Le premier groupe est représenté par la famille des Hydrobiidae et celle des Planorbidae. Ainsi, l'identification a été faite à ce niveau taxonomique.

Quant au deuxième groupe. Il est représenté par les Isopodes Cirolanidae (*Typhlocirolana longimera*, *T.fontis* et *T.gurney*), Asellidae (*Proasellus notenboomii*) et Microparasellidae (*Microcharon*), les Amphipodes représentés par les Gammaridae (*Pseudonyphargus*), les Bogidiellidae (identification jusqu'à la famille), et les Salentinellidae (*Salentinella angelieri*). A noter que le genre *Sallentinella* est

Conclusion générale

classé parmi *S.angelieri*, une espèce dont la détermination est remise en question, vu sa large répartition géographique (Messana comm. Pers.).

Nos prospections nous ont permis de capturer certaines espèces qui n'ont pas été récoltées que dans le milieu hyporhéique de la moyenne Tafna, dont les Syncarides stygobies. D'autres sont connues par leur dominance dans d'autres régions, c'est le cas du genre *Pseudonyphargus* qui domine dans la région Est de l'Algérie et qui est caractérisées par leur fort endémisme.

De point de vue systématique, une espèce nouvelle pour la science a été récoltée. Il s'agit de *Typhlocirolana longimera*, un crustacé isopode appartenant à la famille des Cirolanidae, signalée dans les eaux des puits de la région de Ghazaouet. Pour le même genre, nous avons récolté deux autres espèces, *Typhlocirolana gurney* et *Typhlocirolana fontis*. Les trois espèces montrent une séparation de leur habitat à l'exception des eaux souterraines de la région de Ghazaouet, où nous avons noté une cohabitation entre *T.longimera* et *T.fontis* avec une dominance notable de la première espèce.

De point de vue écologique, l'analyse CCA a identifié des relations significatives entre les invertébrés et les facteurs environnementaux. Les modèles de distribution des assemblages faunistiques des eaux souterraines semblent être liés principalement à la distance par rapport à la rivière, la conductivité électrique, la géologie (l'âge de la formation géologique sous-jacente) et à la distance par rapport à la mer. La distribution des assemblages reflète fortement la différence dans l'hydrochimie et l'hydrogéologie des aquifères étudiés.

La distribution des copépodes, des ostracodes et des cladocères est inégale entre les deux complexes d'aquifères littoral et continental, confirmée par la différence significative des facteurs géochimiques entre les deux types d'aquifères.

Dans le complexe aquifère continental, les cladocères, les copépodes et les ostracodes sont plus abondants dans le sous-bassin ISS, notamment dans sa partie Sud caractérisée par un calcaire jurassique. De même, l'espèce stygobionte *Proasellus notenboomia* été notée uniquement dans cette partie (partie Sud du sous-bassin ISS).

L'absence des ostracodes dans l'aquifère MOU peut être justifiée par un niveau élevé de la conductivité électrique avec la présence d'une pollution significative.

Les taxons stygobiontes *Microcharon*, Bogidiellidae et *Salentinella angelieri* ont révélé de leur part une présence unique dans ce complexe aquifère.

Conclusion générale

Les syncarides ont été collectées uniquement dans le complexe aquifère littoral en particulier dans le sous-bassin EXUT.

Les abondances les plus élevées des Daphnidae dans ce complexe notamment dans les sous-bassins GHA et EXUT est en relation avec le niveau d'eau souterraine le plus élevé et la profondeur des puits la plus basse.

Les *Typhlocirolana*, connus par leur sensibilité modérée à la pollution, peuvent être utilisés comme indicateurs de la qualité de l'eau.

Nous espérons que ce travail va être étudié dans un cadre de biomonitoring, en déterminant les espèces indicatrices d'eau polluée ou de bonne qualité.

Références bibliographiques

A

- Achour S., Guergazi S., 2002.** Incidence de la minéralisation des eaux algériennes sur la réactivité de composés organiques vis-à-vis du chlore. *Rev. Sci. Eau*, 15 (3) : 649-668.
- Adjim H., 2004.** Evaluation et affectation des ressources hydriques superficielles du bassin versant de la Tafna, Approche pluviométrique, Mémoire de Magister, Université de Tlemcen : 157p.
- Aït Boughrous A., 2007.** Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc: le Tafilalet et la région de Marrakech, Thèse de doctorat, Fac. Sc. Semlalia. Univ. Cadi Ayyad, Marrakech (Maroc) : 207p.
- Aït Boughrous A., Yacoubi Khebiza M., Boulanouar M., Boutin C., Messana G., 2007.** Groundwater Quality in Two Arid Areas of Morocco: Impact of Pollution on Biodiversity and Paleogeographic Implications. *Environmental Technology*, 28 (11): 1299-1315.
- Ameur M., 1978.** Etude stratigraphique et sédimentologique du Jurassique inférieur et moyen de la partie orientale de la chaîne du Fillaoussène. Thèse de 3^{ème} cycle. Univ. d'Oran: 192p.
- Anderson M.J., 2001.** A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26: 32–46. doi: 10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x
- Anderson M.J., 2005.** Permanova: A Fortran Computer Program for Permutational Multivariate Analysis of Variance. Department of Statistics, University of Auckland, Auckland.
- Anderson M.J., Gorley R.N., Clarke K.R., 2008.** PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER–E Ltd, Plymouth.

B

- Baratti M., Filippelli M., Nardi F., Messana G., 2010.** Molecular phylogenetic relationships among some stygobitic cirolanid species (Crustacea, Isopoda). *Contributions to Zoology*, 79(2): 57–67.
- Baratti M., Yacoubi-Khebiza M., Messana G., 2004.** Microevolutionary processes in the stygobitic genus *Typhlocirolana* (Isopoda Flabellifera Cirolanidae) as inferred by partial 12S and 16S rDNA sequences. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 42: 27–32. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.2004.00232.x>

Références bibliographiques

- Barthes B., Roose E., 2001.** La stabilité de l'agrégation un indicateur de la sensibilité des sols au ruissellement et l'érosion : validation à plusieurs échelles. *CahAgric* 10: 185-93.
- Belaidi N., Taleb A., Gagneur J., 2004.** Composition and dynamics of hyporheic and surface fauna in a semi-arid stream in relation to the management of a polluted reservoir. *Ann.Limnol. - Int. J. Lim.* 40: 237-250.
- Belaidi N., Taleb A., Mahi A., Messana G., 2011.** Composition and distribution of stygobionts in the Tafna alluvial aquifer (north-western Algeria). *Subterranean Biology*, 8: 21-32.
- Belaidi-Aliane N., 2004.** Rôle du milieu hyporhéique dans le fonctionnement de l'écosystème oued. Dynamique de la faune hyporhéique à l'aval d'un barrage pollué. Thèse. Doc. Univ. Tlemcen (Algérie): 83p.
- Ben Abbes Taarji R., 1986.** Paléogéographie et stygobiologie dans le bassin hydrogéologique d'Essaouira-Chichaoua (Maroc). Mém. C.E.A. Fac. Sc. Marrakech: 75p.
- Benaouda B., 2005.** Contribution à l'étude du genre *Typhlocirolana* (Isopode, Crustacée) de la moyenne Tafna: Ouest algérien. Mém. Ing. Fac. Sc. Univ. Tlemcen: 46p.
- Benazzouz A., 1983.** Recherche de la faune interstitielle dans la vallée de l'Oued Gheris (Versant sud du Haut-Atlas occidental, Maroc). Mem. C.E.A., Univ. Marrakech: 28 p.
- Bencala K.E., 1993.** A perspective on stream-catchment connections. *Journal of the North American Benthological Society*, 12 (1): 44 – 47.
- Benest M., 1986.** Le Jurassique supérieur et le Crétacé basai de la plate-forme ouest-algérienne; âge des formations et corrélations stratigraphiques. V^e Conf. scient, intern., PIGG n° 183, Marrakech, Maroc (1985). *Rev. Fac. Se. Marrakech*, n° sp. 2 : 47-74.
- Benhamou M., 1983.** Stratigraphies et milieu de dépôt du jurassique inférieur et moyen de Beni-Ouarsous et Beni-Khaled (Massif de Traras, Oranie ouest). Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle. Université d'Oran.
- Bermond R., Vuichaard R., 1973.** Les paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris : 179p.
- Bernard R., 1979.** Contribution à l'étude hydrogéochimique de la nappe de la craie dans le Nord de la France. Thèse 3^{ème} cycle géol. Appl. Université de Lille: 180p.

Références bibliographiques

- Berrady I., Essafi K., Mathieu J., 2000.** Comparative physico-chemical and faunal studies of two thermal spring brooks near Sidi Harazem (Morocco). *Ann.Limnol. - Int. J. Lim.* 36: 261-274.
- Bonnet P., 1966.** La plaine de Maghnia: les réservoirs et les nappes jurassiques - rapport au SES.
- Bosca C., 2002.** Groundwater law and administration of sustainable development. *Mediterranean Magazine, Science Training and Technology*, 2: 13-17.
- Botosaneanu L., 1986.** Stygofauna Mundi. A Faunistic, Distributional and Ecological Synthesis of the World Fauna Inhabiting Subterranean Waters (Including the Marine Interstitial). Brill, Backhuys, Leiden : 740p.
- Botosaneanu L., 2001.** Morphological rudimentation and novelties in stygobiontic Cirolanidae (Isopoda, Cymothoidea). *Vie et Milieu*, 51(1/2): 133–138.
- Botosaneanu L., Boutin C., Henry J.P., 1985.** Deux remarquables cirolanides stygobies nouveaux du Maroc et de Rhodes – Problématique des genres *Typhlocirolana Racovitza*, 1905 et *Turcolana* Argano & Pesce, 1980 (Isopoda). *Stygologia*, 1: 186–207.
- Botosaneanu L., Vilorio A., 1993.** *Zulialana coalescens* gen. et. spec. n., a stygobitic cirolanid (Isopoda, Cirolanidae) from a cave in north-western Venezuela. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique*, 63: 159–173.
- Bou C., 1974.** Les méthodes de récolte dans les eaux souterraines interstitielles. *Annales de Spéléology*, 29: 611-619.
- Bouderbala A., 2015.** Groundwater salinization in semi-arid zones: an example from Nador plain (Tipaza, Algeria). *Environ. Earth. Sci.* 73: 5479–5496.
- Boughalem M., Mazour M., Grecu F., Abdellaoui A., Hamimed A., 2013.** Evaluation par analyse multicritères de la vulnérabilité des sols à l'érosion : cas du Bassin versant de l'Isser-Tlemcen – Algérie, *Analele Universităţii Bucureşti, Geografie*, LXII : 5-26.
- Boulal M., 1984.** Premières données sur la faune souterraine de la région de Tiznit (Maroc). *Mém. de C.E.A. ; Université Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech*: 43p.
- Boulal M., 1988.** Recherches écologiques sur la faune aquatique des puits de la région de Tiznit (Anti Atlas occidental, Maroc). Thèse de 3^e cycle, Fac. Sc. Marrakech : 228p.
- Boulal M., Boulanouar M., Boutin C., Yacoubi-Khebiza M., 2009.** Biodiversity in the stygobiontic cirolanids (Crustacea, Isopoda) from the Mediterranean Basin: II -

Références bibliographiques

- Systematics, ecology and historical biogeography of *Typhlocirolana tiznitensis* sp. n., the first representative of the genus, South of the Moroccan High Atlas. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 145: 11–28.
- Boulanouar M., 1982.** Premières recherches sur la faune des puits de Marrakech, Méthodes de capture de la faune stygobie par piégeage, Fac. Sc., Semlalia, Marrakech, Mém. C.E.A: 49p.
- Boulanouar M., 1986.** Etude écologique comparée de quelques puits de la région de Marrakech. Impact des pollutions sur la zoocénose des puits. Thèse 3ème cycle, Faculté des Sciences, Marrakech : 171p.
- Boulanouar M., 1995.** Faune aquatique des puits et qualité de l'eau dans les régions de Marrakech et des Jbilet. Statut et dynamique d'une population de *Proasellus coxalis africanus* (Crustacé Isopode) des Jbilet. Thèse de Doctorat d'Etat, Fac. Sc. Univ. Marrakech : 159p.
- Bournaud M., Amoros C., 1984.** Des indicateurs biologiques aux descripteurs de fonctionnement : quelques exemples dans un système fluvial. *Bull. Ecol.* 15 (1) : 57-66.
- Bousfield E.L., 1958.** Fresh-water amphipod crustaceans of glaciated North America. *Canadian Field Naturalist*, 72: 55–113.
- Boutin C., 1984.** Sensibilité à la pollution et répartition de quelques Crustacés phréatobies à Marrakech (Maroc occidental). *Mém. de Biospéologie*, 11(38): 55-64.
- Boutin C., Boulanouar M., 1983.** Méthodes de capture de la faune stygobie: Expérimentation de différents types de pièges appâtés dans les puits de Marrakech. *Bull. Fac. Sc. Univ. Marrakech*, 2: 5-21.
- Boutin C., Boulanouar M., 1984.** Premières données sur la faune des puits des environs de Marrakech (Maroc occidental). *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 22 : 1762-1765.
- Boutin C., Boulanouar M., Coineau N., Messouli M., 2002.** Biodiversity of the stygobitic cirolanids (Crustacea: Isopoda) from the Mediterranean Basin. I. A new species of *Typhlocirolana* in Morocco, taxonomic, ecological and biogeographic data. *Journal of Natural History*, 36: 797–817. <https://doi.org/10.1080/00222930010028920>
- Boutin C., Dias N., 1987.** Impact de l'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech sur la nappe phréatique. *Bull. Fac. Sc. Marrakech (Section Sc. Vie)* 3 : 5-25.
- Boutin C., Idbennacer B., 1989.** Faune stygobie du Sud de l'anti- Atlas marocain: Premier résultats. *Rev. Sc. Eau*, 2: 891-904.

Références bibliographiques

- Boutin C., Messouli M., 1988a.** *Longipodacranconyx maroccanus* n. gen., n. sp., nouveau représentant du groupe *Metracranconyx* (Crustacés, Amphipoda) dans les eaux souterraines du Maroc. *Crustaceana. Suppl.* 13 : 156-271.
- Boutin C., Messouli M., 1988b.** *Metracranconyx gineti* n. sp. D'une source du Haut-Atlas marocain et la famille des *Metracranconyctidae* n. fam. (Crustacés Amphipodes stygobies). *Vie et Milieu*, 38 (1) : 67-84.
- Brancelj A., 2002.** Microdistribution and high diversity of Copepoda (Crustacea) in a small cave in central Slovenia. *Hydrobiologia*, 477: 59–72.
- BRGM., 2008.** Carte hydrogéologique de l'Afrique à l'échelle du 1/10 Million. Hydrogeological map of Africa, France.
- Buhay J.E., Moni G., Mann N., Crandall K.A., 2006.** Molecular taxonomy in the dark: evolutionary history, phylogeography, and diversity of cave crayfish in the subgenus *Aviticambarus*, genus *Cambarus*. *Mol Phylogen Evol.* 42: 435–448.

C

- Camacho A.I., 2003.** An overview of the distribution of the Parabathynellidae (Crustacea, Syncarida Bathynellacea) on the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Graellsia*, 59: 63–78.
- Campos R.E., Lounibos L.P., 2000.** Natural prey and digestion times of *Toxorhynchites rutilus* (Diptera: Culicidae) in southern Florida. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 93:1280–1287.
- Castany G., 1965.** Prospection et exploitation des eaux souterraines. Dunod. Paris: 683p.
- Castany G., 1998 :** Hydrologie. Principes des méthodes. Ed. Dunod, Paris : 238p.
- Castellarini F., Dole-Olivier M-J., Malard F., Gibert J., 2005.** Improving the assessment of groundwater biodiversity by exploring environmental heterogeneity at a regional scale. In: Gibert J ed. World Subterranean Biodiversity. Université Claude Bernard, Lyon, France: 83–88.
- Chapman M.G., Underwood A.J., 2008.** Scales of variation of gastropod densities over multiple spatial scales: comparison of common and rare species. *Marine Ecology Progress Series*, 354: 147-160.
- Chappuis P.A., 1953.** Un nouvel Isopode psammique du Maroc : *Microcerberus remyi*. *Vie Mil.* 4 (4): 659-663.
- Chebika R., 2003.** Contribution à l'étude de la faune de quelques puits de la moyenne Tafna (région de Maghnia). Mém. Ing. Fac. Sc. Tlemcen (Algérie): 65p.

Références bibliographiques

- Chevreux E., 1901.** Amphipodes des eaux souterraines de France et d'Algérie. V. *Pseudoniphargus africanus* nov. gen. et sp. *Bull. Soc. Zool. France*, 26: 211-216.
- Chevreux E., Gauthier H., 1924.** Description d'un nouveau gammare de Tunisie. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord*, 15 (1): 53-55.
- Coineau N., 1971.** Les Isopodes interstitiels, documents sur leur écologie et leur biologie. Mem. Mus. Nat. Hist. Nat. Paris. LXIV (A) : 170 p.
- Coineau N., Boutin C., 2015.** *Botolana*, a new genus of groundwater cirolanid isopod (Crustacea) from Morocco. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 151: 29–34.
- Coineau N., Boutin C., Artheau M., 2013.** Origin of the interstitial isopod *Microcharon* (Crustacea, Microparasellidae) from the western Languedoc and the northern Pyrenees (France) with the description of two new species. *Subterranean Biology*, 10: 1-16.
- Coineau N., Henry J.P., Magniez G., 1994.** Isopoda aquatica. In: Juberthie C, Decu V (Eds) *Encyclopaedia Biospeologica*, Moulis : 123–140.
- Collignon B., 1984.** Contribution de la spéléologie à la compréhension de l'hydrogéologie des monts de Tlemcen Spéléologie algérienne 1984 S.C.O.F., E.R.E de C.E.E. et G.E.S de la S.E.M, P.Benoit, Collignon B., B.Lips, L.H.Fage, B.Pablo, J.Rieu.
- Collignon B., 1986.** Hydrogéologies appliquées des aquifères karstiques des monts de Tlemcen. Thèse de doctorat, Université d'Avignon. France : 293p.
- Collignon B., 1993.** Les aquifères karstiques des monts de Tlemcen (Algérie), ressource en eau et exploitation. 11th UIS, Congress, Beijing, China, august 1993. Proceedings: 166p.
- Committee on Animals as Monitors of Environmental Hazards of the US National Research Council., 1991.** Animals as sentinels of environmental health hazards. National Academy Press, Washington, DC.
- Costello M.J., Pohle G., Martin A., 2004.** Evaluating biodiversity in marine environmental assessments. Research and Development Monograph Series, vol. 2001. Canadian Environmental Assessment Agency, Ottawa. Available at http://www.ceaa.gc.ca/015/001/019/title_e.htm.
- Culver D.C., 1982.** Cave life: Evolution and Ecology. Harvard Univ. Press, Cambridge Massachusetts: 189 p.
- Cvetkov L., 1968.** Un fi let phréatobiologique. *Bull. Inst. Zool. Mus. Sofia*, 22: 215-219.

D

- Daget J., 1976.** Les modèles mathématiques en écologie. Collection d'écologie 8, Masson, Paris : 172p.
- Dajoz R., 1985.** Précis d'écologie. Dunod : 505p.
- Danielopol D.L., Pospisil P., Dreher J., Mösslacher F., Torreiter P., Geiger-Kaiser M., Gunatilaka A., 2000.** A groundwater ecosystem in the wetlands of the Danube at Vienna (Austria). In: Subterranean Ecosystems. Ecosystems of the World Volume 30, ed. H. Wilkens, D.C. Culver & W.F. Humphreys: 581–602. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier
- Danielopol D.L., Rouch R., 1991.** L'adaptation des organismes au milieu aquatique souterrain. Réflexions sur l'apport des recherches écologiques récentes. *Stygologia*, 6 (3): 129-142.
- Danielopol D.L., Rouch R., Baltanas A., 2002.** Taxonomic diversity of groundwater Harpacticoida (Copepoda, Crustacea) in southern France. A contribution to characterise hot-spot diversity sites. *Vie. Mil.* 52: 1–15.
- Decu V., Juberthie C., Collignon B., Lebreton B., 2001.** Algérie: 1477- 1496. In: Juberthie C, Decu V eds. Société internationale de Biospéologie. Encyclopædia Biospeologica III. Moulis-Bucarest.
- Deharveng L., Stoch F., Gibert J. et al., 2009.** Groundwater biodiversity in Europe. *Freshwater Biology*, 54: 709–726.
- Delamare Debouteville C., 1960.** Biologie des eaux souterraines littorales et continentales. Hermann, Paris : 740p.
- Derradji E.F., Benmeziane F., Maoui A., Bousnoubra H., Kherici N., 2011.** Evaluation of Salinity, Organic and Metal Pollution in Groundwater of the Mafragh Watershed, NE Algeria. *Arab. J. Sci. Eng.* 36: 573–580.
- Di Lorenzo T., Cifoni M., Lombardo P., Fiasca B., Galassi D.M.P., 2015.** Ammonium threshold values for groundwater quality in the EU may not protect groundwater fauna: evidence from an alluvial aquifer in Italy. *Hydrobiologia*, 743: 139–150. DOI 10.1007/s10750-014-2018-y.
- Di Lorenzo T., Galassi D.M.P., 2013.** Agricultural impact in Mediterranean alluvial aquifers: do groundwater communities respond? *Fund. Appl. Limnol.* 182: 271–282.
- Di Lorenzo T., Stoch F., Galassi D.M.P., 2013.** Incorporating the hyporheic zone within the river discontinuum: longitudinal patterns of subsurface copepod assemblages in an Alpine stream. *Limnologia*, 43: 288–296.

Références bibliographiques

- Diop S., Rekacewicz P., 2004.** Atlas mondial de l'eau. Une pénurie annoncée, 2004. Autrement, Paris : 70p.
- Djebaili S., 1978.** Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse Doct., Montpellier : 229p.
- Dole-Olivier M.J., 1998.** Surface water-groundwater exchanges in three dimensions on a backwater of the Rhone River. *Freshw. Biol.* 40: 93-109.
- Dole-Olivier M.J, Malard F., Martin D., Lefebure T., Gibert J., 2009.** Relationships between environmental variables and groundwater biodiversity at the regional scale. *Freshw. Biol.* 54 (4):797–813
- Dumont H.J., 1981.** Cteniobathynella essameuri n. sp., the first representative of the Bathynellacea (Crustacea) in the central Sahara. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 14 (1): 59-62.
- Dussart B., 1966.** Limnologie : Etude des eaux continentales. Gauthier- Villars, Ed., Paris.

E - F

- Eberhard S.M., Halse S.A., Williams M., Scanlon M., Cocking J., Barron H., 2009.** Exploring the relationship between sampling efficiency and short-range endemism for groundwater fauna in the Pilbara region, Western Australia. *Freshw. Biol.* 54: 885–901.
- Eisendle-Flöckner U., Hilberg S., 2014.** Hard rock aquifers and free-living nematodes – an interdisciplinary approach based on two widely neglected components in groundwater research. *Ecohydrology*, 8: 368–377. DOI: 10.1002/eco.1516.
- El Moustaine R., Chahlaoui A., Rour E.H., 2014.** Relationships between the physico-chemical variables and groundwater biodiversity: a case study from Meknes area, morocco. *Inter. J. Cons. Sc.* 5 (2): 203-214.
- Elftouh N., 2008.** Étude de tests de permutation en régression multiple. Mémoire. Montréal (Québec, Canada), Université du Québec à Montréal, Maîtrise en mathématiques : 71p.
- Elmi S., 1971.** Les faunes à Prohctoceras du Bathonien inférieur et moyen des confins Algero-Marocains. *Geobios*, 4 : 243 – 263.
- Elmi S., 1972.** L'instabilité des monts de Tlemcen et de Rhar - Roubane (ouest algérien) pendant le Jurassique. Interprétation paléogéographique. C. R. Acad. Géol. France, Paris:1521 - 1524.

Références bibliographiques

- Fakher El Abiari A., 1999.** Rôle des facteurs abiotiques dans la répartition de la faune aquatique souterraine du Maroc : Cas des Crustacés Péracarides stygobies. Thèse de doctorat National, Fac. Sc. Semlalia, Marrakech : 208p.
- Fakher El Abiari A., Oulbaz Z., Yacoubi Khebiza M., Coineau N., Boutin C., 1998.** Etude expérimentale de la sensibilité comparée de trois crustacés stygobies vis-à-vis de diverses substances toxiques pouvant se rencontrer dans les eaux souterraines. *Mém. Biospéol.* XXV : 167-181.
- Ferreira D., 2005.** Biodiversité aquatique souterraine de France : base de données, patrons de distribution et implications en termes de conservation. Thèse de doctorat, Université Lyon 1 : 441p.
- Ferreira D., Dole-Olivier M.J., Malard F., Deharveng L., Gibert J., 2003.** Faune aquatique souterraine de France: base de données et éléments de biogéographie. *Karstologia*, 42: 15–22.
- Ferreira D., Malard F., Dole-Olivier M.J., Gibert J., 2007.** Obligate groundwater fauna of France: diversity patterns and conservation implications. *Biodiversity and Conservation*, 16: 567–596.
- Findlay S., 1995.** Importance of surface-subsurface exchange in stream ecosystems: the hyporheic zone. *Limnology and Oceanography*, 40: 159 – 164.
- Finlay J.B., Buhay J.E., Crandall K.A., 2006.** Surface to subsurface freshwater connections: phylogeographic and habitat analyses of *Cambarus tenebrosus*, a facultative cave-dwelling crayfish. *Anim. Conserv.* 9:375–387.

G

- Gagneur J., 1994.** Flash floods and drying up as major disturbances upon benthic communities in North-African wadis. *Verhandlungen International Vereins Limnology*, 25: 1807–1811.
- Gagneur J., Chaoui-Boudghane C., 1991.** Sur le rôle du milieu hyporhéique pendant l'assèchement des oueds de l'ouest Algérien. *Stygologia*, 6: 77-89.
- Galassi D.M.P., Lombardo P., Fiasca B., Di Cioccio A., Di Lorenzo T. et al., 2014.** Earthquakes trigger the loss of groundwater biodiversity. *Sci Rep.* doi: 10.1038/srep06273 (last access: January 2015).
- Galassi D.M.P., Huys R., Reid J.W., 2009a.** Diversity, ecology and evolution of groundwater copepods. *Freshwater Biology*, 54(4): 691-708.
- Galassi D.M.P., Stoch F., Fiasca B., Di Lorenzo T., Gattone E., 2009b.** Groundwater biodiversity patterns in the Lessinian Massif of northern Italy. *Freshwater Biology*, 54(4): 830-847.

Références bibliographiques

- Gauthier H., 1928.** Recherches sur la faune des eaux continentales de l'Algérie et de la Tunisie. Imp. Minewa, Alger: 419p.
- Gentil L., 1903.** Esquisse stratigraphique et pétrographique du bassin de la Tafna (Algérie). Serv. Carte géol. France. et Carte géol. Algérie : 521p.
- Ghlala A., Della Valle D., Messina G., 2009.** First record of the genus *Typhlocirolana* Racovitza, 1905 (Isopoda: Cirolanidae) from Tunisia and description of a new species from the National Park of Ichkeul. *Zootaxa*, 2176: 57–64.
- Ghlala A., Messina G., 2006.** Description d'un nouvel asellide épigé (Isopoda, asellota) du nord de la Tunisie. *Proasellus tunisiensis* sp. Troisième congrès Franco-Tunisien de Zoologie, Tabarka (Tunisia). NESCO, Paris, 24–28 janvier 2005.
- Gibert J., Deharveng L., 2002.** Subterranean ecosystems: a truncated function biodiversity. *Bioscience*, 52: 473–481.
- Ginet N., Decou V., 1977.** Initiation à la biologie et à l'écologie souterraines. Paris : Jean-Pierre Delarge éditeur : 245p.
- Ginet N., Juberthie C., 1987.** Le peuplement animal des Karsts de France (éléments de biogéographie souterraine pour les invertébrés). Première partie : la faune aquatique. *Karstologia*, 10 : 43-51.
- Glanville K., Schulz C., Tomlinson M., Butler D., 2016.** Biodiversity and biogeography of groundwater invertebrates in Queensland, Australia. *Subterranean Biology*, 17: 55–76. doi: 10.3897/subtbiol.17.7542
- Gower J.C., 1966.** Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. *Biometrika*, 53: 325-338.
- Graf F., 1966.** Description d'un piège à Niphargus. International. *Journal of Speleology*, 2 : 287-289.
- Griebler C., Lueders T., 2009.** Microbial biodiversity in groundwater ecosystems. *Freshwater Biology*, 54 (4): 649-677.
- Guardia P., 1975.** Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord-occidentale. Relations structurales et paléogéographiques entre le Rif externe, le Tell et l'avant-pays atlasique. Doctorat d'Etat, Univ. Nice, France : 286 p.
- Gurney R., 1908.** A new species of *Cirolana* from a freshwater spring in the Algerian Sahara. *Zoologischer Anz.* 32: 682-685.
- Guzik M.T., Abrams K.M., Cooper S.J.B., Humphreys W.F., Cho J.L., Austin A.D., 2008.** Phylogeography of the ancient Parabathynellidae (Crustacea:

Références bibliographiques

Bathynellacea) from the Yilgarn region of Western Australia. *Invertebrate Systematics*, 22: 205–216.

H

Hahn H.J., Matzke D., 2005. A comparison of stygofauna communities inside and outside groundwater bores. *Limnologica*, 35: 31–44.

Hahn H.J., 2006. The GW-Fauna-Index: A first approach to a quantitative ecological assessment of groundwater habitats. *Limnologica*, 36 (2): 119-137.

Hahn H.J., Fuchs A., 2008. Distribution patterns of groundwater communities across aquifer types in southwestern Germany. *Freshwater Biology*, 54 (4): 848-860.

Hahn H.J., Fuchs A., 2009. Distribution patterns of groundwater communities across aquifer types in south-western Germany. *Freshwater Biology*, 54: 848–860.

Haicha B., 2008. Contribution à l'étude de la faune aquatique de quelques puits de la haute Tafna (Nord-Ouest Algérien). Mém. Ing. Fac. Sc. Univ. Tlemcen: 56p.

Haicha B., 2013. Contribution à la connaissance de la stygofaune d'Algérie. Etude de la faune des puits de la nappe alluviale de la basse Tafna .Thèse. Magistère. Univ. Tlemcen (Algérie).

Hancock P.J., Boulton AJ, 2009. Sampling groundwater fauna: efficiency of rapid assessment methods tested in bores in eastern Australia. *Freshwater Biology*, 54 (4): 902-917.

Hayane S.M., 1983. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'oued Sikkak (région de Tlemcen). These de Dotorat 3e cycle, Univ. Oran, Algerie: 236 p.

Hébert S., Légaré S., 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoq no ENV-2001-0141, rapport n° QE-123 : 24 p.

Henry J.P., 1976. Recherches sur les Asellidae hypogés de la lignée *Cavaticus* (Crustacea, Isopoda, Asellota). These. Dijon. 270 p.

Henry J.P., Magniez G., 1972. Un Aselle interstitiel de Tunisie: *Proasellus bagradicus*. *Annales de Spéléologie*, 17: 183-193.

Henry J.P., Magniez G., 1976. *Bragasellus comasi* n.sp., Crustacea Isopoda Asellota cavernicole d'Espagne occidentale. *International Journal of Speleology*, 8: 359-364.

Références bibliographiques

- Henry J.P., Magniez G., 1981.** Un aselle cavernicole d'Algérie: *Proasellus notenboomi* n.sp. et nouvelles données sur les asellides d'Afrique du Nord. *Crustaceana*, 41: 208-215.
- Holsinger J.R., 1972.** The freshwater amphipod crustaceans (Gammaridae) of North America. Biota of freshwater ecosystems, Identification. Manual U. S. *Environmental Agency*, 5: 1-89.
- Holsinger J.R., 1986.** Zoogeographic patterns of North American subterranean amphipod crustaceans. In : R.H. Gore and K.L. Heck (Eds.), *Crustacean Biogeography*. *Crustacean*, 3: 85-106.
- Holsinger J.R., 1994.** Pattern and process in the biogeography of subterranean amphipod crustaceans. In D.C. Culver and J.R. Holsinger (Eds.), *Biogeography of Subterranean Crustaceans : the effects of different scales*. *Hydrobiologia*, 287 (1) : 131-145.
- Holsinger J.R., 2000.** Ecological derivation, colonization, and speciation. In : H. Wilkens, D.C. Culver, & W.F. Humphreys, (Eds.), *Ecosystems of the World 30 : Subterranean Ecosystems*. Elsevier. Amsterdam, New York, 399-415.
- Holsinger J.R., Hubbard D.A., Bowman T.E., 1994.** Biogeographic and ecological implications of newly discovered populations of the stygobiont isopod crustacean *Antrolana lira* Bowman (Cirolanidae). *Journal of Natural History*, 28: 1047–1058. <https://doi.org/10.1080/00222939400770551>
- Humphreys W.F., 2009.** Hydrogeology and groundwater ecology: does each inform the other? *Hydrogeol J.* 17: 5–21.

I – J – K - L

- Idbennacer B., 1990.** Recherches écologiques, biogéographiques et démographiques sur la faune aquatique souterraine de la région de Guelmim (Sud-Ouest de l'Anti-Atlas marocain). Thèse de 3ème cycle. Fac. Sc. Semlalia. Marrakech : 275p.
- Iepure S., Rasines-Ladero R., Meffe R., Carreno F., Mostaza D., Sundberg A., Di Lorenzo T., Barroso J.L., 2017.** The role of groundwater crustaceans in disentangling aquifer type features – a case study of the Upper Tagus Basin, central Spain. *Ecohydrology*, DOI: 10.1002/eco.1876.
- Johns T., Jones I., Knight L., Maurice L., Wood P., Robertson A., 2015.** Regional scale drivers of groundwater faunal distributions. *Freshwater Sci.* 34 (1): 316–328. doi:10.1086/678460

Références bibliographiques

- Jones J.B., Holmes R.M., 1996.** Surface-subsurface interactions in stream ecosystem. *Trends in Ecology and Evolution*, 11 (6): 239 – 242.
- JORA., 2011.** Décret exécutif n° 11-219, fixant les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations.
- Juberthie C., Decu V., 1994.** Encyclopaedia Biospeologica I, Société de Biospéléologie. Moulis –Bucarest.
- Juberthie C., Decu V., 1998.** Encyclopaedia Biospeologica II, Société de Biospéléologie. Moulis– Bucarest.
- Juberthie C., Decu V., 2001.** Encyclopaedia Biospeologica III, Société de Biospéléologie. Moulis– Bucarest.
- Juberthie C., Decu V., Aellen V., Strinati P., 2001.** Tunisie, in Juberthie, C., and Decu, V., eds., Encyclopaedia Biospeologica, Tome III: Bucarest, Société Internationale de Biospéologie: 1719–1728.
- Juberthie C., Ginet R., 1994.** France. In: Juberthie C, Decu V. (eds) Encyclopoedia Biospeologica I, Société de Biospéologie, Moulis-Bucarest, 1 : 665–692.
- Khaldoun L., Merzoug D., Boutin C., 2013.** Faune aquatique et qualité de l'eau des puits et sources de la région de Khenchela (Aurès, Algérie Nord-orientale). *Bull. Soc. zool.Fr.* 138 (1-4): 273-292.
- Koenemann S., Holsinger J.R., 2001.** Systematics of the North American subterranean amphipod genus *Bactrurus* (Crangonyctidae). *Beaufortia (Bull. Zool. Mus. Univ. Amsterdam)* 51 (1) : 1-56.
- Kouassi A.M., Okaingni J.C., Baka D., Lasm T., Kouamé K.F., Biémi J., 2012.** Application des méthodes statistiques et géostatistiques à l'étude de la conductivité électrique des eaux souterraines de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire), *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6, 2 : 897-912.
- Lafont M., Durbec A., Ille C., 1992.** Oligochaete worms as biological describers of the interactions between surface and groundwater: a first synthesis. *Regul.Riv. Resear.Manag.* 7: 65-73.
- Lakhdari F.T., 2014** :Contribution à la connaissance de la stygofaune d'Algérie: Etude de la qualité de l'eau et la faune aquatique des puits de la région de Mascara (Nord Ouest Algérien).Thèse.Magistère.Univ. Tlemcen (Algérie).
- Lambs L., Labiod M., 2009.** Climate change and water availability in north-west Algeria. Investigation by stable water isotopes and dendochronology. *Water Inter.* 34 (2): 280–286.

Références bibliographiques

Langbein W.B., Schumm S.A., 1958. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Trans. Amer. Geophys. Un.* 39: 1076-1084.

Lescher-Moutoué F., 1967. Note sur la biogéographie et les biotopes du genre *Speocyclops* dans la région pyrénéenne. *Spelunca Mem.* 5 : 277-284.

M

Magniez G., 1976. Contribution à la connaissance de la biologie des Stenasellidae (Crustacea Isopoda Asellota des eaux souterraines). Thèse. Dijon : 227p.

Magniez G., Henry J.P., 2001. Explorations Biologiques et Speleologiques Neerlandaises en Algérie 8: Crustacea, Isopoda, Aselloidea; Description de cinq Proasellus stygobies. *Mémoires de Biospéologie*, 28: 191-199.

Maguire B.Jr., 1964. Crustacea : a primitive Mediterranean group also occurs in North America. *Science*, 146 : 931-932.

Mahi A., 2007. Contribution à l'étude de la faune stygobie de la région de Tlemcen (NordOuest Algérien). Thèse. Magistère. Univ. Tlemcen (Algérie): 127p.

Mahi A., Belaidi N., Taleb A., 2011. Les méthodes de capture de la faune dans les puits de la moyenne Tafna. *Rev. Sciences, Technologie et Développement*, 2 (8).

Mahi A., Taleb A., Belaidi N., Messana G., 2017. *Typhlocirolana longimera* sp. n. (Crustacea, Isopoda, Cirolanidae) from north-western Algerian ground waters with notes on Algerian *Typhlocirolana*. *Subterranean Biology*, 22: 27–41. <https://doi.org/10.3897/subtbiol.22.11824>

Majdoub R., Dridi L., M'nasri S., 2014. Caractérisation de la nappe profonde Gafsa nord suite à la surexploitation des eaux souterraines. *Larhyss J.* 17: 179-192.

Malard F., Boutin C., Camacho A.I., Ferreira D., Michel G., Sket B., Stoch F., 2009. Diversity patterns of stygobiotic crustaceans across multiple spatial scales in Europe. *Freshwater Biology*, 54 (4): 756-776.

Malard F., Plénet S., Gibert J., 1996. The use of invertebrates in ground water monitoring: a rising research field. *Groundw Monitor Remediat*, 16:103–113.

Malard F., Reygrobellet J.L., Mathieu J. et al., 1994. The use of invertebrate communities to describe groundwater flow and contaminant transport in a fractured rock aquifer. *Arch Hydrobiology*, 131:93–110

Marmonier P., Vervier P., Gibert J., Dole-Olivier M.J., 1993. Biodiversity in ground waters. *Trends in ecology and evolution*, 8: 392-395.

- Martin P., De Broyer C., Fiers F., Michel G., Sablon R., Wouters K., 2009.** Biodiversity of Belgian groundwater fauna in relation to environmental conditions. *Freshwater Biology*, 54: 814–829. doi:10.1111/j.1365-2427.2008.01993.x
- Mathieu J., Essafi K., Chergui H., 1999.** Spatial and temporal variations of stygobite Amphipod populations in interstitial aquatic habitats of karst/floodplain interfaces in France and Morocco. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 35 : 133-139.
- Maurice L., 2009.** Investigations of Rapid Groundwater Flow and Karst in the Chalk. Unpublished PhD Thesis, University College, London: 453p.
- Maurice L., Bloomfield J., 2012.** Stygobitic invertebrates in groundwater – a review from a hydrogeological perspective. *Freshwater Rev.* 5: 51-71.
- Meleg I.N., Moldovan O.T., Iepure S., Fiers F., Brad T., 2011.** Diversity patterns of fauna in dripping water of caves from Transylvania. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 47: 185–197.
- Merzoug D., Khiari A., Aït Boughrous A., Boutin C., 2010.** Faune aquatique et qualité de l'eau des puits et sources de la région d'Oum-El-Bouaghi (Nord-Est algérien). *Hydroécologie Appl.* 17: 77-97.
- Messouli M., 1984.** *Recherches sur la faune aquatique endogée des sources du Haouz.* Mém. C.E.A. Fac. Sc. Semlalia. Marrakech : 46p.
- Messouli M., 1994.** Évolution, Phylogénie et Biogéographie historique des Metacrangonyctidae, Crustacés Amphipodes stygobies du Nord de l'Afrique et des régions voisines. Thèse de doctorat d'Etat, Faculté des Sciences Marrakech : 311p
- Messouli M., 2006.** The first African Crangonyctidae, *Crangonyx africanus* nov. sp. (Crustacea Amphipoda) in the groundwaters of Western Morocco: systematics and biogeographical implications. *Subterranean Biology*, 4: 67-78.
- Monod Th., 1924.** Sur un type nouveau de Malacostrace, *Thermosbaena mirabilis* nov. gen., n. sp. *Bull. Soc. Zool. France*, 49 : 58-68.
- Monod Th., 1930.** Contribution à l'étude des Cirolanidae. *Annl. Sc. Nat. Zool.* 13: 129–183.
- Monod Th., 1934.** *Typhlocirolana fontis* (Gurney) à Hassi Chebaba. In: Seurat LG (Ed.) Études zoologiques sur le Sahara central. Mémoires de la Société d'Histoire Naturel de L'Afrique du Nord. N° 4. Mission du Hoggar III : 87–89.
- Montesanto G., 2015.** A fast GNU method to draw accurate scientific illustrations for taxonomy. *Zookeys* 5015: 191–206. <https://doi.org/10.3897/zookeys.515.9459>

- Mori N., Kanduč T., Opalički Slabe M., Brancelj A., 2015.** Groundwater drift as a tracer for identifying sources of spring discharge. *Groundwater*, 53 (Suppl.1):123-132.
- Mösslacher F., 1998.** Subsurface-dwelling crustaceans as indicators of hydrological conditions, oxygen concentrations and sediment structure in an alluvial aquifer. *Inter. Rev. der gesamten Hydrobiol.* 83 : 349–364.
- Mösslacher F., Griebler C., Notenboom J., 2001.** Biomonitoring of groundwater systems: methods, applications and possible indicators among the groundwater biota. In: Griebler C, Danielopol DL, Gibert J et al (eds) *Groundwater ecology: a tool for management of water resources*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg: 173–182.

N - P

- Najib S., Fadili A., Mehdi K., Riss J., 2015.** Étude de l'évolution de l'intrusion marine dans l'aquifère de la Chaouia côtière. *Journal of SAWIS*, 1: 5-12.
- Nana Nkemegni G., ZébazéTogouet S.H., Fomena A., Pountougnigni O.F., Piscart C., 2015.** Distribution of groundwater invertebrates in a tropical mountain climates; the case of the Bamoun tablel and of the West region of Cameroon. *Afri. J. Aqua. Sci.* 40: 393-401.
- Notenboom J., Plénet S., Turquin M.J., 1994.** Groundwater contamination and its impact on groundwater animals and ecosystems. In: Gibert J, Danielopol DL, Stanford JA (eds) *Groundwater ecology*. Academic, London : 477–504.
- Nourisson M., 1956.** Etude morphologique comparative et critique des *Typhlocirolana* (Crustacés Isopodes Cirolanidae) du Maroc et d'Algérie. *Bull. Soci. Sci. Natur. Phys. Maroc*, 36: 103-124.
- Pesce G.L., 1985.** The groundwater fauna of Italy: a synthesis. *Stygologia*, 1(2): 129-159.
- Pesce G.L., Tete P., 1978.** Microparasellides d'Algérie (Crustacea: Isopoda). *Rev. Zool. Afric.* 92: 992-1002.
- Pesce G.L., Tete P., De Simone M., 1981.** Ricerche faunistiche in acque sotterranee freatiche del Maghreb (Tunisia, Algeria, Morocco) e dell'Egitto. *Natura Soc. Ital. Sc. Nat. Museo civ. Stor. Nat. E Acquario civ. Milano*, 72: 63-98.
- Pesce G.L. Tete P., 1978.** Microparasellides d'Algerie (Crustacea: Isopoda). *Revue de Zoologique Africaines*, 92 (4): 992-1002.
- Petitta M., Caschetto M., Galassi D.M.P., Aravena R., 2015.** Dual-flow in karst aquifers toward a steady discharge spring (Presciano, central Italy): influences on

Références bibliographiques

a subsurface groundwater dependent ecosystem and on changes related to post-earthquake hydrodynamics. *Environ. Earth Sci.* 73: 2609-2625.

Pipan T., Culver D.C., 2007a. Regional species richness in an obligate subterranean dwelling fauna – epikarst copepods. *Journal of Biogeography*. 34: 854-861. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01667.x>

Pipan T., Culver D.C., 2007b. Copepod distribution as an indicator of epikarst system connectivity. *Hydrogeology J.* 15: 817-822. <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-006-0114-4>

Piscart C., Merzoug D., Hafid H., 2013: A new species of *Echinogammarus* from Algerian fresh waters, *Echinogammarus haraktis* n. sp. (Peracarida, Amphipoda). *Crustaceana*, 86(13-14):1623–1633. doi: [10.1163/15685403-00003252](https://doi.org/10.1163/15685403-00003252)

Plénet S., Marmonier P., Gibert J., Stanford J.A., Bodergat A.M., Schmidt C.M., 1992. Groundwater hazard evaluation: a perspective for the use of interstitial and benthic invertebrates as sentinels of aquifer metallic contamination. In: Stanford JA, Simons JJ (eds) Proc. First Int. Conf. groundwater ecology. Am Water Resour Assn, Bethesda, MD:319–329.

Por F.D., 1962. *Typhlocirolana reichi* sp. n. un nouvel Isopode Cirolanide de la dépression de la Mer Morte. *Crustaceana*, 4: 247–252. <https://doi.org/10.1163/156854062X00229>

R - S

Racovitza E.G., 1912. Cirolanides , 1ère série. *Arch. Zool. Expér. Génér.* 10: 203-329.

Ramade F., 1984. *Eléments d'Ecologie: Ecologie fondamentale.* Me Graw-Hill: 397p.

Ramula S., Pihlaja K., 2012. Plant communities and the reproductive success of native plants after the invasion of an ornamental herb. *Biological Invasions*, 14: 2079–2090.

Reeves J.M., De Deckker P., Halse S.A., 2007. Groundwater Ostracods from the arid Pilbara region of northwestern Australia: distribution and water chemistry. *Hydrobiologia*, 585: 99-118.

Robertson A.L., Smith J.W.N., Johns T., Proudlove G.S., 2009. The distribution and diversity of stygobites in Great Britain: an analysis to inform groundwater management. *Q J Eng Geol Hydrogeol.* 42 (3): 359–368.

Rodier J., 1984. *L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer)*, 7th ed. Dunod Edition, Paris, France : 177p.

Références bibliographiques

- Rouch R., 1968.** Contribution à la connaissance des harpacticides hypogés (Crustacés – Copépodes). *Ann. Spéléol.* 23 : 5 – 167.
- Rouch R., Danielopol D.L., 1997.** Species richness of microcrustacea in subterranean freshwater habitats. Comparative analysis and approximate evaluation. *Internat. Rev. ges. Hydrobiol.* 82: 121–145.
- Sadran G., 1958.** Les formations volcaniques tertiaires et quaternaires de Tell Oranais. Bull. Serv. Carte Géol. Algérie Nouv. série, Bull. 8 : 533p.
- Schmidt H.G., Loyens S.M.M, Van Gog T., Paas F., 2007.** Problembased learning is compatible with human cognitive architecture: Commentary on Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psycho.* 42 : 91–97.
- Seiad N.L., 2003.** Les ressources en eau et leurs utilisations dans le secteur agricole en Algérie. *Hom. Ter. Eaux*, 33 (125): 94-101.
- Seurat L.G., 1921.** Faune des eaux continentales de la Berbérie: Alger, Publications de la Faculté des Sciences, Travaux du Laboratoire de Zoologie appliquée : 66 p.
- Seurat L.G., 1934.** Faune aquatique du sud et de l'extrême sud de la Tunisie: Annales des Sciences Naturelles. *Zoologie*, 17 :441–450.
- Shapouri M., da Fonseca C.L., Iepure S., Stigter T., Ribeiro L., Silva A., 2016.** The variation of stygofauna along a gradient of salinization risk in a coastal Mediterranean aquifer. *Hydrology Resear.* 47: 89-103.
- Simon K.S., Buikema A.L., 1997.** Effects of organic pollution on an Appalachian cave: changes in macroinvertebrate populations and food supplies. *Am Midl Natur* 138:387–401.
- Sinton L.W., 1984.** The macroinvertebrates in a sewage-polluted aquifer. *Hydrobiologia*, 119:161–169.
- Sket B., 1999.** The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. *Biodivers. Conserv.* 8: 1319–1338.
- Sket B., Bole J., 1981.** Organizmi kot indikatorji podzemeljskih vodnih povezav/Organisms as indicators of subterranean water connections. *Naš Krš* 10-11: 243-252.
- Stein H., Griebler C., Berkhoff S., Matzke D., Fuchs A., Hahn H.J., 2012.** Stygoregions – a promising approach to a bioregional classification of groundwater systems. *Scientific Reports*, 2: 1–9.
- Stoch F., 1995.** The ecological and historical determinants of Crustacean diversity in groundwaters, or: why are there so many species? *Mém.Biospéléol.* 22: 139–160.

Stoch F., 2001. How many species of *Diacyclops*? New taxonomic character and species richness in a freshwater cyclopid genus (Copepoda Cyclopoida). *Hydrobiologia*, 453 (1 – 3): 525 – 531.

Stoch F., Fiasca B., Di Lorenzo T., Porfirio S., Petitta M., Galassi D.M.P., 2016. Exploring Copepod Distribution Patterns at Three Nested Spatial Scales in a Spring System: Habitat Partitioning and Potential for Hydrological Bioindication. *J. Limnol.* 75 (1): 1-13.

T

Taleb A., Belaidi N., Gagneur J., 2004. Water quality before and after dam building on a heavily polluted river in semi-arid Algeria. *Riv. Resear. Appli.* 20: 1-14.

Taleb A., Belaidi N., Sanchez Perez J.M., Vervier P., Sauvage S., Gagneur J., 2008. The role of the hyporheic zone in the nitrogen dynamics within a semi-arid gravel bed stream located downstream of a heavily polluted reservoir (Tafna wadi, Algeria). *Riv. Resear. Appli.* 24: 183-196.

Ter Braak C.J.F., 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67 :1167-1179.

TerBraak C.J.F., Verdonschot P.F.M., 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sci.* 57: 255-289.

Terfous A., Megnounif A., Bouanani A., 2003. Détermination des dégradations spécifiques dans trois bassins versants des régions méditerranéennes algériennes : Hydrology in the mediterranean and semi-arid regions. Servat E, Nadjem W, Leduc C, Shakeel A eds. (Proc. Sympo. Montpellier, France, avril, 366-372. IAHS Pub. 278, IAHS Press, Wallingford, UK.

Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S., Olivier J., 1997. Ade-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Stat. Comput.* 7: 75–83.

Thomas G., 1976. Mise en valeur de décrochements dextres Est-Ouest d'âge quaternaire en Algérie Nord-occidentale. C.R. Acad. Sces. Paris, série D, t, 283 : 893 – 896.

Thomas G., 1985. Géodynamique d'un bassin intramontagneux, le bassin du bas Chelif occidental (Algérie) durant le mio-plio-quaternaire. Thèse d'état, Univ. De Pau : 594 p.

Thoms M.C., 2003. Floudplain-river ecosystems : lateral connections and the implications of human interference. *Geomorphology*, 56: 335 – 349.

Thulin B., Innova A.B.G., Hahn H.J., Grundwasserökologie A., 2008. Ecology and living conditions of groundwater fauna. Technical Report TR-08-06: 55p.

Références bibliographiques

- Tidjani A.E.B., Yebdri D., Roth J.C., Derriche Z., 2006.** Exploration des séries chronologiques d'analyse de la qualité des eaux de surface dans le bassin de la Tafna (Algérie). *Revue des Sciences de l'Eau*, 19 (4) : 315- 324.
- Tomlinson M., Boulton A.J., Hancock P.J., Cook P.G., 2007.** Deliberate omission or unfortunate oversight: should stygofaunal surveys be included in routine groundwater monitoring programs? *Hydrogeol J.* 15:1317–1320.
- Toumi H., Bejaoui M., Boumaiza M., 2013.** Contribution to the ecological study of epigeal *Cladocera* and *Copepoda* (Cyclopoida) from groundwater in Northern Tunisia. *Nat. Technol. J. C- Environmental Sci.* 8: 12-18.

V – W – Y - Z

- Vandel A., 1964.** Biospéléologie. Ed. Gauthier-Villars, Paris : 619 p.
- Vernoux J.F., Lions J., Petelet-Giraud E., Seguin J.J., Stollsteiner P., Lalot E., 2011.** Contribution à la caractérisation des relations entre eau souterraine, eau de surface et écosystèmes terrestres associés en lien avec la DCE, rapport BRGM/RP-57044-FR : 207 p.
- Vigna Taglianti A., 1969.** Un nuovo Doderotrechus cavernicolo delle Alpi Occidentali (Coleoptera, Carabidae). *Fragmenta entomologica*, 6: 253-269.
- Vigna Taglianti A., Cottarelli V., Argano R., 1969.** Messa a punto di metodiche per la raccolta della fauna interstiziale e freatica. *Archivio Botanico e Biogeografico Italiano*, 45 (14): 375-380.
- Vignes J.C., 1995.** Résultats préliminaires sur l'alimentation naturelle de la grenouille rousse, *Rana temporaria* L. à l'émergence. *Munibe*, 47: 107–110.
- Ward J.V., Palmer M.A., 1994.** Distribution patterns of interstitial freshwater meiofauna over a range of spatial scales, with emphasis on alluvial river-aquifer systems. *Hydrobiologia*, 287: 147-156.
- White D.S., 1993.** Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. *Journal of the North American Benthological Society*, 12 (1): 61-69.
- Yacoubi-Khebiza M., 1990.** Écologie, Biogéographie des biocénoses aquatiques des nappes alluviales de quelques vallées du Haut-Atlas de Marrakech (Maroc). Paléogéographie des crustacés phréatiques. Thèse doctorat 3ème cycle, Université Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia Marrakech : 246p.
- Yelles-Chaouche A.K., Djellit H., Beldjoudi H., Bezzeghoud M., Buforn E., 2004.** The Ain Temouchent (Algeria) Earthquake of December 22nd, 1999. *Pure appl. Geophys* 161: 607-621.

Références bibliographiques

Zaksek V., Sket B., Gottstein S., Franjevic D., Trontelj P., 2009. The limits of cryptic diversity in groundwater: phylogeography of the cave shrimp *Troglocaris anophthalmus* (Crustacea: Decapoda: Atyidae). *Mol. Ecol.* 18 : 931-946.

Zourhi L., 2003. Étude de la salinité des eaux souterraines dans la partie occidentale du Maroc, bassin du Rharb. *Journal of Environmental Hydrology*, 11(9) : 1-8.

Zourhi L., Carlier E., 2002. Caractérisation hydrochimique d'une nappe côtière, Maroc. *Journal of Environmental Hydrology*, 9 (4) : 1-7.

Annexes

Annexe A: Quelques caractéristiques des puits étudiés pour chaque sous-bassin versant Mouilah. **A** : altitude (m); **D** : diamètre (m); **P** : profondeur (m).

Sous-bassin	Code	Puits	Coordonnées	A	D	P	Protection du puits	Utilisation du puits	Environnement	Nombre de prélèvement par puits
Mouilah	MOU	ZO1	N 34°42'23,91" W 001°45'51,77"	548	2,6	20,03	Non protégé	Non utilisé	Champ non exploité	8
		ZO2	N 34°42'38,68" W 001°45'45,31"	545	2,3	18,8	Protégé	Non utilisé	Champ non exploité	8
		ZO3	N 34°42'43,28" W 001°45'23,16"	549	3,6	22,8	Protégé	Irrigation	Champ agricole	8
		ZO4	N 34°41'10,99" W 001°42'38,57"	598	2	3,6	Non protégé	Non utilisé	Champ non exploité	7
		ZO5	N 34°44'59,62" W 001°39'51,21"	495	3	7,8	Non protégé	Irrigation	Champ agricole	8
		ZO6	N 34°45.689' W 001°40.177'	500	1,5	5,1	Non protégé	Non utilisé	Champ agricole	8
		ZO7	N 34°46'26,14" W 001°40'8,14"	400	1,3	3,17	Non protégé	Consommation	Colline	8
		ZO8	N 34°44'53,63" W 001°39'30,81"	520	0,94	3,4	Non protégé	Non utilisé	Champ non exploité	7
Sikkak	SIK	AY1	N 35° 02' 39" W 001° 22' 26"	270	1,8	21	Faible	Non utilisé	Au voisinage d'une maison non logée	9
		AY2	N 35° 02' 29" W 001° 21' 24"	275	2	18	Très bonne	Irrigation	Champ agricole	9
		AY3	N 35° 05' 20" W 001° 24' 25"	280	1,5	16	Non protégé	Irrigation	Champ agricole	9
		FH	N 35° 06' 17" W 001° 17' 57"	166	3	7,5	Non protégé	Irrigation	Champ abandonné	9
		SCH	N 35° 09' 27" W 001° 15' 47"	710	1,3	17,5	Très bonne	Irrigation du jardin	Au voisinage d'une maison	9

		SK1	N 34°58'34,54" W 001°22'2,53"	354	2,4	17	Protégé	Irrigation	Champ agricole	12
		SK2	N 34° 59' 0,84" W001°22'10,22"	337	2,6	24,5	Protégé	Irrigation	Champ agricole	11
		SK3	N 34° 59' 7,14" W 001°22'12,50"	335	2,2	18,5	Moyennement protégé	Irrigation	Champ agricole	12
		SK4	N 34° 59' 21,28" W 001° 22' 14"	329	2,5	24,5	Moyennement protégé	Irrigation	Champ agricole	12
		SK5	N 34° 59' 19,68" W001°22'17,97"	329	2,7	10	Non protégé	Non utilisé	Champ agricole	12
		SK6	N 34° 59' 13,31" W001°21'57,10"	334	1,9	27,5	Moyennement protégé	Irrigation	Champ agricole	12
		SK7	N 34° 58' 52,95" W001°22'21,73"	343	1,7	24	Moyennement protégé	Irrigation	Champ agricole	12
Exutoire	EXUT	EX1	N 35° 27' 1,32" W 001°27'46,19"	1	3,5	7,5	Non protégé	Irrigation	Champ agricole	12
		EX2	N 35° 16' 55,34" W 001°27'42,58"	3	1,54	9	Non protégé	Irrigation	Champ agricole	12
		EX3	N 35° 16' 16,55" W 001°27'44,18"	6	1,7	11	Moyennement protégé	Irrigation	Champ agricole	12
		EX4	N 35° 14' 45,30" W 001°25'25,74"	17	1,6	14,5	Non protégé	Irrigation	Champ agricole	12
		BGH	N 35° 25' 00" W 001° 31'	65	2,5	15,5	Très bonne	Irrigation	Champ d'agrumes	9
		WRA	N 35° 17' W 001° 31'	15	4,2	9	Non protégé	Irrigation	Champ agricole	9
		WWA	N 35° 15' 01" W 001° 27' 00"	15	1,4	6,5	Moyenne	Usage domestique	Au voisinage d'une maison	9
Isser	ISS	IS1	N 34°52'46,54" W 001°05'50,51"	740	1,8	19	Protégé	Alimentation de bétail	Maison abandonnée	12
		IS2	N 34°54'17,48" W 001°02'36,41"	690	2,35	10,5	Non protégé	Non utilisé	Champ agricole	12
		IS3	N 34°57'32,49"	631	1,7	12,3	Non protégé	Alimentation	Champ agricole	12

			W 001°05'1,76"					de bétail		
		IS4	N 34°57'33,71" W 001°04'58,34"	630	1,95	13,5	Non protégé	Non utilisé	Champ agricole	12
		IS5	N 34°59'3,80" W 001°05'13,33"	590	2,5	11	Moyennement protégé	Non utilisé	Champ agricole	12
		IS6	N 34°59'6,31" W 001°04'56,66"	585	1,1	3,5	Non protégé	Non utilisé	Près d'une petite route	8
		IS7	N 35°1'18,60" W 001°06'26,44"	540	2,1	17,5	Non protégé	Non utilisé	Une chambre	12
		IS8	N 34° 53' 11,89" W 001° 1' 9,19"	745	5,56	14,7	Non protégé	Usage domestique	Champ agricole	13
		IS9	N 34° 47' 1,38" W 001° 6' 27,29"	987	1,9	6	Non protégé	Non utilisé	Champ agricole	13
		IS10	N 34° 47' 1,05" W 001° 6' 30,29"	990	2,16	6,35	Non protégé	Irrigation	Champ agricole	13
		IS11	N 34° 47' 2,35" W 001° 6' 29,33"	981	5	2,9	Non protégé	Irrigation	Champ agricole	13
		IS12	N 34° 46' 58,96" W 001° 6' 29,44"	982	2	35	Protégé	Non utilisé	Champ non exploité	13
		IS13	N 34° 44' 59,32" W 001° 9' 28,32"	1100	5	8	Non protégé	Non utilisé	Champ non exploité	13
		IS14	N 34° 43' 31,82" W 001°11'29,07"	1112	2,7	10	Moyennement protégé	Usage domestique	Maison	13
Côtiens oranais ouest	GHA	SY1	N 35°05'48,77" W 001° 46' 51"	55	1,85	12,3	Non protégé	Irrigation	Champ agricole	12
		SY2	N 35° 06'58,96" W001°46'41,33"	10	1,7	9,3	Moyennement protégé	Irrigation	Champ agricole	12
		GH1	N 35° 5' 13,20" W 001°50'59,91"	18,5	1,55	11,8	Moyennement protégé	Non utilisé	Champ non exploité	12
		GH2	N 35°04' 58,46" W 001°50'55,86"	17	2	17	Moyennement protégé	Usage domestique	Champ non exploité	12
		GH3	N 35° 04' 34,53" W 001°50'11,64"	25	1,3	15	Non protégé	Usage domestique	Champ non exploité	12
		AG1	N 35° 12' 20,89"	4	2,7	4,7	Non protégé	Non utilisé	Champ non	12

			W 001° 38' 3,60"						exploité	
		AG2	N 35° 12' 9,38" W 001° 38' 4,32"	6	2,1		Protégé	Irrigation	Champ agricole	12
		AG3	N 35° 12' 11,76" W 001° 38' 5,38"	4	3	4,2	Protégé	Irrigation	Champ agricole	12
		BKH1	N 35° 12' 34" W 001° 33' 36"	174	2,5	26,5	Non protégé	Irrigation	Champ agricole	9
		BKH2	N 35° 12' 55" W 001° 33' 35"	171	2	15,5	Non protégé	Non utilisé	Champ agricole	9
Côtiers oranais centre	AIN	AT1	N 35° 27' 26,58" W 001° 9' 47,78"	23	1,35	12,8	Non protégé	Non utilisé	Champ non exploité	3
		AT2	N 35° 27' 33,43" W 001° 9' 25,03"	27	1,9	14,5	Non protégé	Irrigation	Champ agricole	3
		AT3	N 35° 27' 33,64" W 001° 9' 22,84"	27	0,98	17	Protégé	Irrigation	Champ agricole	3
		AT4	N 35° 27' 45,41" W 001° 9' 10,12"	32	1	19,5	Non protégé	Irrigation	Champ agricole	3
		AT5	N 35° 27' 90" W 001° 8' 76"	41	1,8	18,7	Moyennement protégé	Irrigation	Champ agricole	3
		BSA	N 35° 16' 07" W 001° 26' 06"	27	1,1	27,5	Bonne	Irrigation	Champ d'agrume	9
Tafna	TAF	FL1	N 35° 03' 18" W 001° 33' 41"	168	2,8	11,5	Non protégé	Non utilisé	Champ agricole	9
		FL2	N 35° 03' 10" W 001° 35' 32"	162	1	9	Non protégé	Non utilisé	Champ abandonné	9
		ELB	N 35° 01' 12" W 001° 32' 13"	134	1,25	13	Non protégé	Non utilisé	Champ de céréale	9
		BOU	N 34° 59' 01" W 001° 35' 05"	202	2,3	14	Moyenne	Irrigation + eau de boisson	Champ agricole	9
		HM	N 35° 62' 05" W 001° 33' 05"	234	1,95	29	Faible	Non utilisé	Jardin d'une résidence	9
		PCH	N 35° 09' 30" W 001° 27' 33"	48	2,2	29,5	Bonne	Irrigation	Champ agricole	9

		OCT 2010		OCT 2010		OCT 2010		OCT 2010		MAR 2010		MAR 2010						
		NOV 2010		NOV 2010		NOV 2010		JUN 2010		JUN 2010								
		DEC 2010		DEC 2010		DEC 2010		JUL 2010		JUL 2010								
		JNV 2011		JNV 2011		JNV 2011		SEPT 2010		SEPT 2010								
		MAR 2011		MAR 2011		MAR 2011		OCT 2010		OCT 2010								
		AVR 2011		AVR 2011		AVR 2011		NOV 2010		NOV 2010								
		JUN 2011		JUN 2011		JUN 2011		DEC 2010		DEC 2010								
		JUL 2011		JUL 2011		JUL 2011												
		AUT 2011		AUT 2011		AUT 2011												
		SEPT 2011		SEPT 2011		SEPT 2011												
	WWA	MAY 2010																
		AVR 2010																
		MAR 2010																
		JUN 2010																
		JUL 2010																
		SEPT 2010																
		OCT 2010																
		NOV 2010																
		DEC 2010																
ISS	WIS1	AUT 2010	WIS2	AUT 2010	WIS3	AUT 2010	WIS4	AUT 2010	WIS5	AUT 2010	WIS6	SEPT 2010						
		SEPT 2010		SEPT 2010		SEPT 2010		SEPT 2010		SEPT 2010		OCT 2010						
		OCT 2010		OCT 2010		OCT 2010		OCT 2010		OCT 2010		NOV 2010						
		NOV 2010		NOV 2010		NOV 2010		NOV 2010		NOV 2010		DEC 2010						
		DEC 2010		DEC 2010		DEC 2010		DEC 2010		DEC 2010		JNV 2011						
		JNV 2011		JNV 2011		JNV 2011		JNV 2011		JNV 2011		MAR 2011						
		MAR 2011		MAR 2011		MAR 2011		MAR 2011		MAR 2011		JUN 2011						
		AVR 2011		AVR 2011		AVR 2011		AVR 2011		AVR 2011		SEPT 2011						
		JUN 2011		JUN 2011		JUN 2011		JUN 2011		JUN 2011								
		JUL 2011		JUL 2011		JUL 2011		JUL 2011		JUL 2011								
		AUT 2011		AUT 2011		AUT 2011		AUT 2011		AUT 2011								
		SEPT 2011		SEPT 2011		SEPT 2011		SEPT 2011		SEPT 2011								
		WIS7		AUT 2010		WIS8		FEV 2012		WIS9		FEV 2012	WIS10	FEV 2012	WIS11	FEV 2012	WIS12	FEV 2012
				SEPT 2010				MAR 2012				MAR 2012		MAR 2012		MAR 2012		MAR 2012
	OCT 2010		AVR 2012	AVR 2012	AVR 2012		AVR 2012	AVR 2012										
	NOV 2010		MAY 2012	MAY 2012	MAY 2012		MAY 2012	MAY 2012										
	DEC 2010		JUN 2012	JUN 2012	JUN 2012		JUN 2012	JUN 2012										
	JNV 2011		JUL 2012	JUL 2012	JUL 2012		JUL 2012	JUL 2012										
	MAR 2011		AUT 2012	AUT 2012	AUT 2012		AUT 2012	AUT 2012										
	AVR 2011		SEPT 2012	SEPT 2012	SEPT 2012		SEPT 2012	SEPT 2012										
	JUN 2011		OCT 2012	OCT 2012	OCT 2012		OCT 2012	OCT 2012										

		JUL 2011		NOV 2012		NOV 2012		NOV 2012		NOV 2012		NOV 2012						
		AUT 2011		FEV 2013		FEV 2013		FEV 2013		FEV 2013								
		SEPT 2011		MAR 2013		MAR 2013		MAR 2013		MAR 2013								
		JUN 2013		JUN 2013		JUN 2013		JUN 2013										
	WIS13	FEV 2012																
		MAR 2012																
		AVR 2012																
		MAY 2012																
		JUN 2012																
		JUL 2012																
		AUT 2012																
		SEPT 2012																
		OCT 2012																
		NOV 2012																
FEV 2013																		
MAR 2013																		
JUN 2013																		
MOU	WZO1	AVR 2012	WZO2	AVR 2012	WZO3	AVR 2012	WZO4	AVR 2012	WZO5	AVR 2012	WZO6	AVR 2012						
		JUN 2012		JUN 2012		JUN 2012		JUN 2012		JUN 2012								
		JUL 2012		JUL 2012		JUL 2012		SEPT 2012		SEPT 2012								
		SEPT 2012		SEPT 2012		SEPT 2012		OCT 2012		OCT 2012								
		OCT 2012		OCT 2012		OCT 2012		NOV 2012		NOV 2012								
		NOV 2012		NOV 2012		NOV 2012		FEV 2013		FEV 2013								
		FEV 2013		FEV 2013		FEV 2013		MAR 2013		MAR 2013								
	MAR 2013	MAR 2013		MAR 2013														
	WZO7	AVR 2012		WZO8		JUN 2012												
		JUN 2012				JUN 2012												
		JUL 2012				SEPT 2012												
		SEPT 2012				OCT 2012												
		OCT 2012				NOV 2012												
		NOV 2012				FEV 2013												
FEV 2013		MAR 2013																
MAR 2013																		
SIK	WAY1	MAR 2010	WAY2	MAR 2010	WAY3	MAR 2010	WFH	MAR 2010	WSCH	MAR 2010	WSK1	AUT 2010						
		AVR 2010		AVR 2010		AVR 2010		AVR 2010		SEPT 2010								
		MAY 2010		MAY 2010		MAY 2010		MAY 2010		OCT 2010								
		JUN 2010		JUN 2010		JUN 2010		JUN 2010		NOV 2010								
		JUL 2010		JUL 2010		JUL 2010		JUL 2010		DEC 2010								
		SEPT 2010		SEPT 2010		SEPT 2010		SEPT 2010		JNV 2011								

Annexe C : Les moyennes, maximum, minimum et l'écart-type (SD) des valeurs des paramètres physico-chimiques et les caractéristiques des puits mesurées, dans les deux périodes hautes eaux (W) et basses eaux (D). Le nombre de prélèvements pour chaque sous-bassin versant est entre parenthèse. EC: conductivité électrique; Niv.piéz: niveau piézométrique; Dist. riv: distance entre le puits et la rivière; Dist. mer: distance entre le puits et la mer.

	T (°C)	pH	O ₂ %	EC (µS/cm)	Sal.	Niv.piéz. (m)	Dist. riv. (m)	Dist. mer (m)
AIN (n=24)								
Min	19.3	7.1	31.3	2830	1.3	6.9	100	1700
Max	25.0	7.8	90.0	6290	4.8	25.2	300	7000
Moy	22.1	7.3	59.8	4181	2.6	14.7	300	4900
SD	1.8	0.2	16.4	1225	1.4	6.4	141	2816
MoyD	21.7	7.4	57.8	3945	2.3	13.4		
MoyW	23.8	7.1	69.7	5360	4.0	21.3		
GHA (n=114)								
Min	11.0	7.9	19.5	1200	0.5	2.2	100	200
Max	23.0	7.9	99.0	4600	2.2	20.3	3500	4000
Moy	18.1	7.5	49.3	2909	1.5	5.8	625	1800
SD	3.0	0.2	16.0	727	0.5	3.3	1028	1470
MoyD	19.5	7.5	47.7	3088	1.6	6.3		
Moy W	16.1	7.7	51.4	2662	1.4	5.2		
EXUT (n=75)								
Min	15.4	7.2	27.5	1500	0.6	2	260	1500
Max	28.9	8.3	78.0	5520	4.2	14.3	4200	8300
Moy	21.3	7.8	47.2	3305	2.0	6.9	944	4883
SD	3.1	0.2	14.3	1145	1.0	2.9	1439	2759
Moy D	22.8	7.9	44.8	3673	2.1	7.4		
Moy W	19.4	7.7	50.3	2810	1.8	6.1		
ISS (n=171)								
Min	13.9	6.8	8.0	645	0.1	1.2	40	50000
Max	42.2	8.6	70.0	3820	2.4	14.1	3800	70000
Moy	18.5	7.4	31.5	1725	0.8	6.1	1012	58750
SD	2.47	0.3	11.6	966	0.6	2.7	1138	8539
Moy D	19.7	7.4	34.8	1887	0.8	6.4		
Moy W	17.0	7.4	27.4	1522	0.7	5.7		
MOU (n=62)								
Min	15.9	6.9	15.3	460	0.1	2.0	25	40000
Max	23.6	7.9	49.2	4950	2.6	22.6	1000	48000
Moy	19.7	7.4	31.2	2398	1.2	8.8	436	44000
SD	2.0	0.2	9.6	1170	0.7	6.6	389	2915
Moy D	20.7	7.5	30.7	2582	1.2	9.2		
Moy W	18.7	7.3	31.7	2215	1.1	8.4		
SIK (n=128)								
Min	15.0	6.8	24.3	1610	0.6	0.5	950	3200
Max	22.9	8.4	80.0	5120	3.2	16.7	5500	31000
Moy	18.8	7.5	46.6	2694	1.6	8.2	1962	22700

SD	2.0	0.3	16.6	890	0.7	4.6	1260	10213
Moy D	19.7	7.5	45.3	2779	1.6	9.4		
Moy W	17.5	7.5	48.4	2577	1.5	6.7		
TAF (n=54)								
Min	18.5	7.1	37.0	2630	2.0	4.4	35	14000
Max	24.8	8.0	85.0	9450	7.2	17.4	1500	26000
Moy	21.5	7.5	68.9	5704	4.3	11.0	489	19600
SD	1.5	0.2	10.7	1915	1.4	3.9	543	4775
Moy D	22.0	7.5	69.0	5737	4.4	11.3		
Moy W	20.9	7.5	68.8	5662	4.3	10.7		

Annexe D: Liste et abondance des taxons collectés.

Taxons	AIN	GHA	EXUT	ISS	MOU	SIK	TAF
Annélides							
Oligochètes							
Tubificidae	0,019	0,0002	0,0006	0,0047		0,0131	0,0008
Lumbriculidae	0,580	0,0003	0,0053	0,0033		0,0194	0,0011
Achètes	0,062			0,0393			
Gastéropodes							
Planorbidae	0,005	0,0083	0,0020	0,0013		0,0012	0,0017
Valvatidae	0,005	0,0002	0,0063	0,0011			
Lymnaeidae		0,0003	0,0045			0,0006	
Bithyniidae		0,0005	0,0002				
Physidae		0,0002	0,0158	0,0017		0,0162	0,0003
Bythinellidae		0,0003	0,0006	0,0026			0,0003
Viviparidae	0,007		0,0043				
Spharidae						0,0137	0,0003
Hydrobiidae							0,0011
Crustacés							
Copépodes							
Cyclopidae	0,033	0,0789	0,3203	0,1415	0,0114	0,4451	0,0894
Ostracodes	0,007	0,0881	0,4704	0,5519		0,0874	0,0033
Cladocères							
Daphniidae		0,1015	0,0241	0,1638	0,0063	0,0050	0,0053
Isopodes							
<i>Typhlocirolana gurney</i>	0,036						
<i>Typhlocirolana fontis</i>		0,1046		0,0075		0,2747	0,8062
<i>Typhlocirolana longimera</i>		0,3452					
<i>Proasellus notenboomi</i>				0,0101		0,0006	
Microparasellidae						0,0012	
Amphipodes							
<i>Pseudonyphargus</i>		0,0012		0,0003			
Bogidiellidae							0,0011
<i>Salentinella angelieri</i>							0,0006
Syncarides			0,0012				
Insectes							
Culicidae	0,150	0,2495	0,0724	0,0480	0,9308	0,0955	0,0705
Tanypodinae	0,031	0,0047	0,0004	0,0006	0,0078	0,0019	0,0003
Orthocladiinae	0,019		0,0051	0,0007	0,0099	0,0031	
Chironominae		0,0025	0,0225	0,0109	0,0106	0,0062	0,0106
Ceratopogonidae	0,014	0,0006	0,0016	0,0001	0,0024		
Ptychopteridae		0,0002		0,0001	0,0063		
Tipulidae			0,0002	0,0018			
Psycholidae	0,002	0,0006	0,0004	0,0012	0,0037	0,0025	0,0011
Syrphidae					0,0019		
Dytiscidae	0,007	0,0026	0,0002	0,0008	0,0028	0,0031	

Elmidae	0,002	0,0006	0,0002	0,0004	0,0004	0,0025	
Haliplidae			0,0008		0,0013		
Gyrinidae			0,0008				0,0003
Hydrophilidae			0,0002	0,0002			0,0003
Helophoridae				0,0005			
Leptophlebiidae		0,0011	0,0010				
Baetidae		0,0025	0,0016	0,0030			0,0031
Caenidae			0,0262				
Ephemerellidae		0,0008		0,0001	0,0006		
Heptageniidae		0,0011					
Pleidae	0,002	0,0005				0,0006	
Notonectidae			0,0014				
Mesovellidae		0,0002	0,0034		0,0006	0,0006	
Vellidae	0,005			0,0002			0,0003
Beraeidae				0,0014			
Collemboles	0,007	0,0009	0,0004	0,0002	0,0017	0,0025	0,0014
Arachnides							
Araignées	0,005	0,0012	0,0006		0,0006	0,0012	0,0003
Hydracariens	0,002	0,0008	0,0051	0,0010	0,0009	0,0019	0,0006
Nombre total de taxons aquatiques	21	30	33	31	18	24	24

Annexe E : Liste des abbreviations des taxons

Code	Taxa
tub	Tubificidae
lumb	Lumbriculidae
ach	Achetes
plna	Planorbidae
valv	Valvatidae
lym	Lymaeidae
bith	Bithyniidae
phy	Physidae
byt	Bythinellidae
viv	Viviparidae
sph	Spharidae
cyc	Cyclopidae
ost	Ostracodes
daph	Daphniidae
typh	<i>g. Typhlocirolana</i>
proa	<i>Proasellus notenboomi</i>
niph	<i>g.Pseudonyphargus</i>
micro	Microparasellidae
bogi	Bogidiellidae
sallen	<i>Salentinella angelieri</i>
sync	sO. Syncarides
hydro	Hydrobiidae (stygobie)
planor	Planorbidae (stygobie)
cul	Culicidae
tany	Tanypodinae
orth	Orthocladiinae
chir	Chironominae
cera	Ceratopogonidae
pty	Ptychopteridae
typ	Tipulidae
psych	Psycholidae
syrp	Syrphidae
dyt	Dytiscidae
elm	Elmidae
ali or Halipl	Haliplidae
gyr	Gyrinidae
hydp	Hydrophilidae
helo	Helophoridae
lepto	Leptophlebiidae
bea	Baetidae
cae	Caenidae
ephe	Ephemerellidae
hepta	Heptageniidae
plei	Pleidae
nato	Notonectidae

meso	Mesovellidae
vel	Veliidae
bera	Beraeidae
col	Collemboles
ar	Araignées
acari	Hydracariens

Typhlocirolana longimera sp. n. (Crustacea, Isopoda, Cirolanidae) from north-western Algerian ground waters with notes on Algerian *Typhlocirolana*

Abdelhakim Mahi¹, Amina Taleb¹, Nouria Belaidi¹, Giuseppe Messina²

1 Ecology and Environment Dept., University of Tlemcen, B.P. 119, DZA-13000 Tlemcen, Algeria **2** Istituto per lo Studio degli Ecosistemi (CNR–ISE), Via Madonna del Piano, 10, 50133, Sesto Eno, Florence, Italy

Corresponding author: Abdelhakim Mahi (eco_hakim@yahoo.fr)

Academic editor: O. Moldovan | Received 16 January 2017 | Accepted 9 March 2017 | Published 17 March 2017

<http://zoobank.org/8C07BAB6-6996-48A7-9D83-81EF1CCEF292>

Citation: Mahi A, Taleb A, Belaidi N, Messina G (2017) *Typhlocirolana longimera* sp. n. (Crustacea, Isopoda, Cirolanidae) from north-western Algerian ground waters with notes on Algerian *Typhlocirolana*. Subterranean Biology 22: 27–41. <http://doi.org/10.3897/subtbiol.22.11824>

Abstract

A new species of hypogean cirolanid isopod, *Typhlocirolana longimera* sp. n. is reported and described from a region located in north-western Algeria. *Typhlocirolana longimera* sp. n. can be distinguished from all other species of the genus especially by the peculiar shape of the merus of pereopod I longer than in any other *Typhlocirolana* species, and for the presence of 6 molariform robust conical robust setae, the bottle shape of uropods and the aesthetasc formula of flagellum in antennulae. The presence in the same region of the two already known species *T. fontis* and *T. gurneyi* is also discussed.

Keywords

Ground waters, Crustacea, Cirolanidae, *Typhlocirolana*, Algeria

Introduction

The Cirolanidae is one of the most speciose isopod families, with more than 497 species belonging to 61 genera. Approximately 89 species in 26 genera are inhabiting subterranean waters (Botosaneanu et al. 1986, Botosaneanu and Vilorio 1993, Coineau et al. 1994, Holsinger et al. 1994, Botosaneanu 2001, Coineau and Boutin 2015).

One of the most interesting taxa of cirolanid isopods is the western Mediterranean stygobitic genus *Typhlocirolana* Racovitza, 1905. Widely spread in the area, it has colonized the continental groundwater of Sicily, Iberian Peninsula, Balearic Islands, Tunisia, Algeria and Morocco with several species (Racovitza 1912, Monod 1934, Boutin et al. 2002, Baratti et al. 2004). The genus occurs in the western Mediterranean with ten described species and several as yet undescribed species, whose phylogenetic relationships have been investigated (Baratti et al. 2004) and still need deeper investigation, especially after the recent transfer of the species *T. leptura* Botosaneanu et al. 1985 to a new genus *Botolana* Coineau and Boutin, 2015 (Coineau and Boutin 2015).

During a survey of the subterranean waters of north-western Algeria, several specimens of the *Typhlocirolana* were collected from several wells of the region. Most of the specimens collected in one of the wells were attributed to the already described species *T. fontis* (Gurney 1902) and *T. gurneyi* Racovitza, 1912.

The aim of this paper is to describe a new species of the North African *Typhlocirolana* and comment on the presence of other Algerian species of the genus.

Methods

The specimens were collected (Fig. 1) using Cvetkov's net (Cvetkov 1968) and baited traps. Dissected specimens were pencil drawn and the figures composed using the GIMP 2.8.14 program (Montesanto 2015).

Results

Suborder Cymothoida Wägele, 1989

Family Cirolanidae Harger, 1880

Genus *Typhlocirolana* Racovitza, 1905

Typhlocirolana Racovitza 1905: 74–76; Racovitza 1912: 226–249; Monod 1930: 134, 139–141, 145–153

Typhlocirolana longimera Mahi & Messana, sp. n.

<http://zoobank.org/0344B98E-B980-4A7E-B20C-EFF0AE285256>

Figs 2–5

Material examined. Holotype: 1♂, 9.8 mm wells in Ghazaouet, north-western Algeria, 35°04'34.53"N, 001°50'11.64"W; April 2011, A. Mahi legit, MZUF Coll. Crust. 4750. **Paratypes:** 3 ♂♂ and 4 ♀♀ (dissected and mounted on 40 slides), MZUF

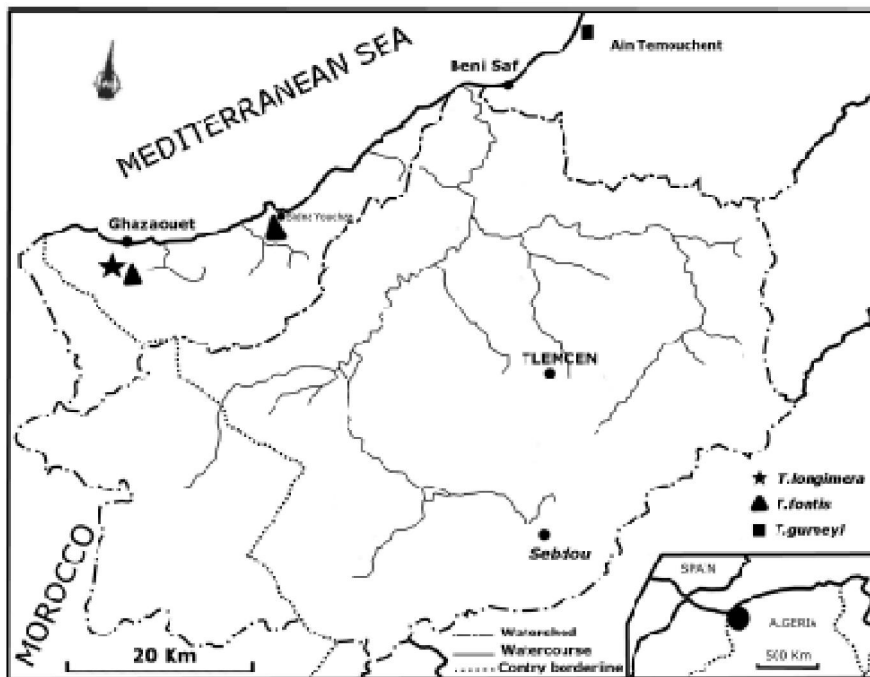


Figure 1. Map showing collection localities of the genus *Typhlocirolana* from the north-western Algeria.

Coll. Crust. 4751; 38 ♂♂ and 129 ♀♀, MZUF Coll. Crust. 4752; 55 ♂♂ and 2 ♀♀, same locality and collector, coll. Mahi.

Male dimensions. length between 9.8 mm and 10.9 mm.

Female dimensions. length between 10.1 mm and 12.2 mm.

Etymology. the specific name refers to the distinctive shape of the merus of pereopod 1, with its inner margin extending to half of propodite, and thus being longer than in any other species of *Typhlocirolana*.

Description. A small-medium *Typhlocirolana*, epimera II–VII carinate, merus of I pereopod long, surpassing carpus and reaching 2/3 the length of propus, Penial processes about (1/4) length of pereonite 7. Pleotelson triangular, bearing 8–13 short simple setae on distal margin and 5–10 short simple sub-marginal setae (Fig. 2).

Lamina frontalis (Fig. 3g): lanceolate-clavate and strongly tridimensional, laterally flattened, tip rounded. Clypeus flatly triangular with lateral margins rounded, labrum subrectangular, rounded margins.

Antennula (Fig. 2c): Antennula short, reaching mid-length of pereonite 1. Flagellum shorter than peduncle with 6 articles, with few simple setae, aesthetascs present from second to fourth segment. Aesthetascs formula is 022210 in male and 012220 or 012210 or 011110 in female.

Antenna (Fig. 2d): Antenna reaching the distal margin of pereonite 5, flagellum extending to posterior part of pereonite 4. Flagellum nearly 2 times longer than peduncle, with about 32 segments in male and 35 in female. Segment length regularly decreasing from the base to the apex; all segments with 5 to 9 setae, mainly long and simple setae. 1–3 long plumose setae in each of segment number 4 and 5 of peduncle, and one tufted setae in segment number 4 of peduncle.

Mandibles (Fig. 3a): incisor with three strong teeth in right mandible (Fig. 3a) and 4 in left (Fig. 3b). Lacinia mobilis bearing 13–16 toothed robust setae. Left pars molaris provided with 24 (male) to 33 (female) strong short and regular robust setae.

Palp article 1 with 1 distal simple setae; article 2 with 16–20 setae (2–3 distal long simple setae, 2–4 basal simple setae, 11–13 medial barbed setae); article 3 with 9–11 barbed setae (the 3 last one are longest); article 3 shortest.

Maxillules (Fig. 3d): internal lobe bearing 3 strong and plumose setae and 2 small simple setae. Lateral lobe with 10–11 strong and conical teeth (3 of which toothed) and 2 barbed (on one side) setae.

Maxillae (Fig. 3c): Outer lobe with 3–4 barbed setae on one side in the distal part. Inner lobe with 3–4 similar setae. Basal endite with 9 setae of different lengths, delicately plumose on the two sides and at the tip. Propod with a short simple setae in the middle of distal margin.

Maxilliped (Fig. 3e,f): Palp with 5 articles provided with setae and a well-developed endite with only one coupling hook. Article 1 with one inner simple setae at apex; article 2 with 2 on outer corner margin and 6 on inner margin; article 3 with 4 setae on outer margin and 14–18 on inner margin; article 4 with 2 setae on outer margin and 12 on inner margin (2 of which are plumose in one side); article 5 with 13–17 distal setae, all setae are simple excepted 4–5 which are plumose in one side. Endite with single hook and 4 plumose setae.

Pereiopod 1 (Fig. 4a) Basis with one tufted setae and one simple setulae on outer margin. On inner margin, 2 medial small setae and 2 small setae on distal angle. Ischium 5 setulae, 3 of which on inner margin and 2 distal near outer corner and one spine on inner distal corner. Merus with inner margin elongate, surpassing carpus and reaching the 2/3 length of propodus, with 3 setulae on distal outer angle. Inner margin with 6 molariform robust conical robust setae and 2 short, robust setae with additional setula and 1 long simple setae. This armature is constant and similar in male and female. Two to three simple small setae are close to the three proximal molariform robust setae. Carpus with 2 simple setae and 1 single spine with additional setula on distal inner corner. Propodus with inner margin proximally crenulate, with 2 distal spines with additional setula (one which is stronger) and a bunch of 5 apical setae (one of which is barbed on one side). Two simple setae at distal corner on outer margin. One setula on outer side. Dactylus with 5 short setae and 1 spine with additional setula on distal inner corner, 4 subdistal setae on lateral surface.

Pereiopods 2–7 (Fig. 4b–g) similar to each other and progressively growing in length from 2 to 7. Pereiopods 2 and 3 exhibit the propodial organ in both males and females. These pereopods differ by their chaetotaxy, bearing 2 to 5 tufted setae

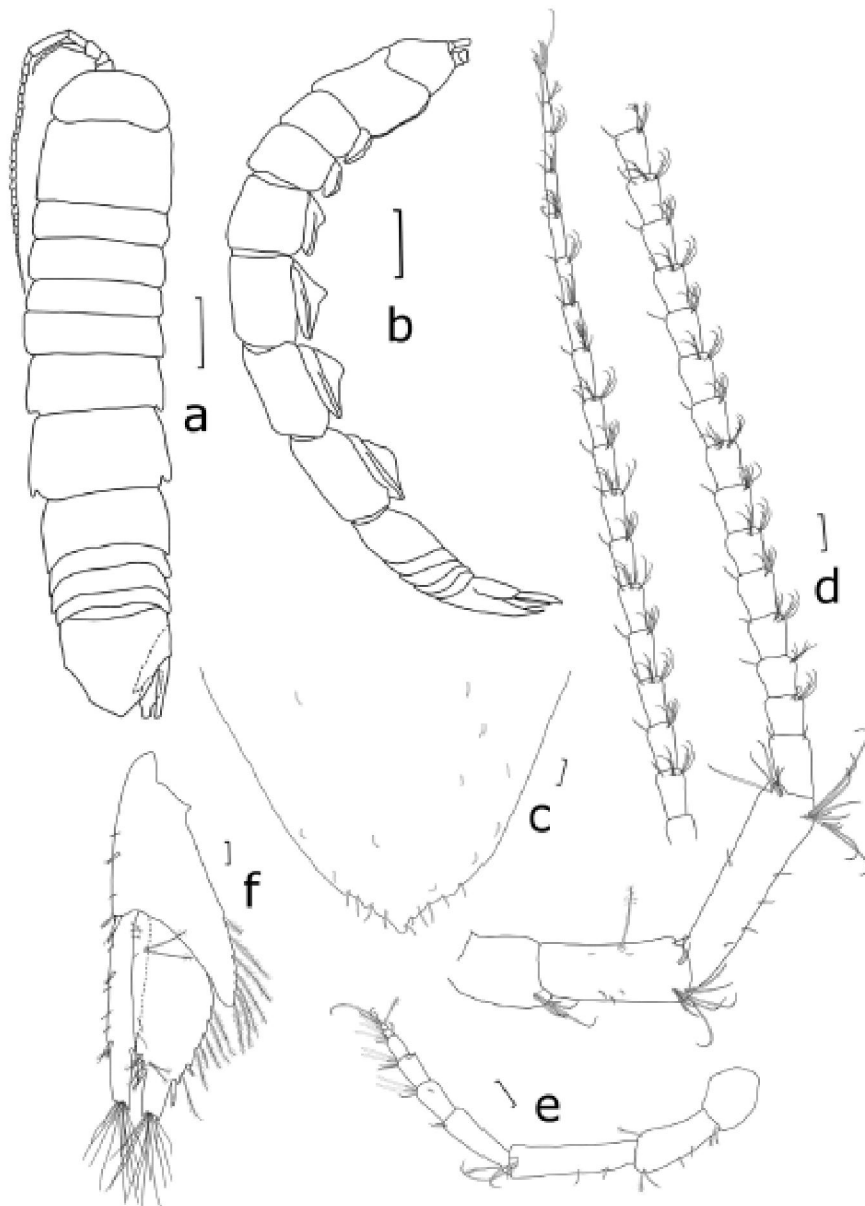


Figure 2. *Typhlocirolana longimera* sp. n. Male. 10.9 mm. a habitus b lateral view c posterior margin of pleotelson d antenna e antennula f uropod. Scale: a, b - 1 mm; c-f - 0.1 mm.

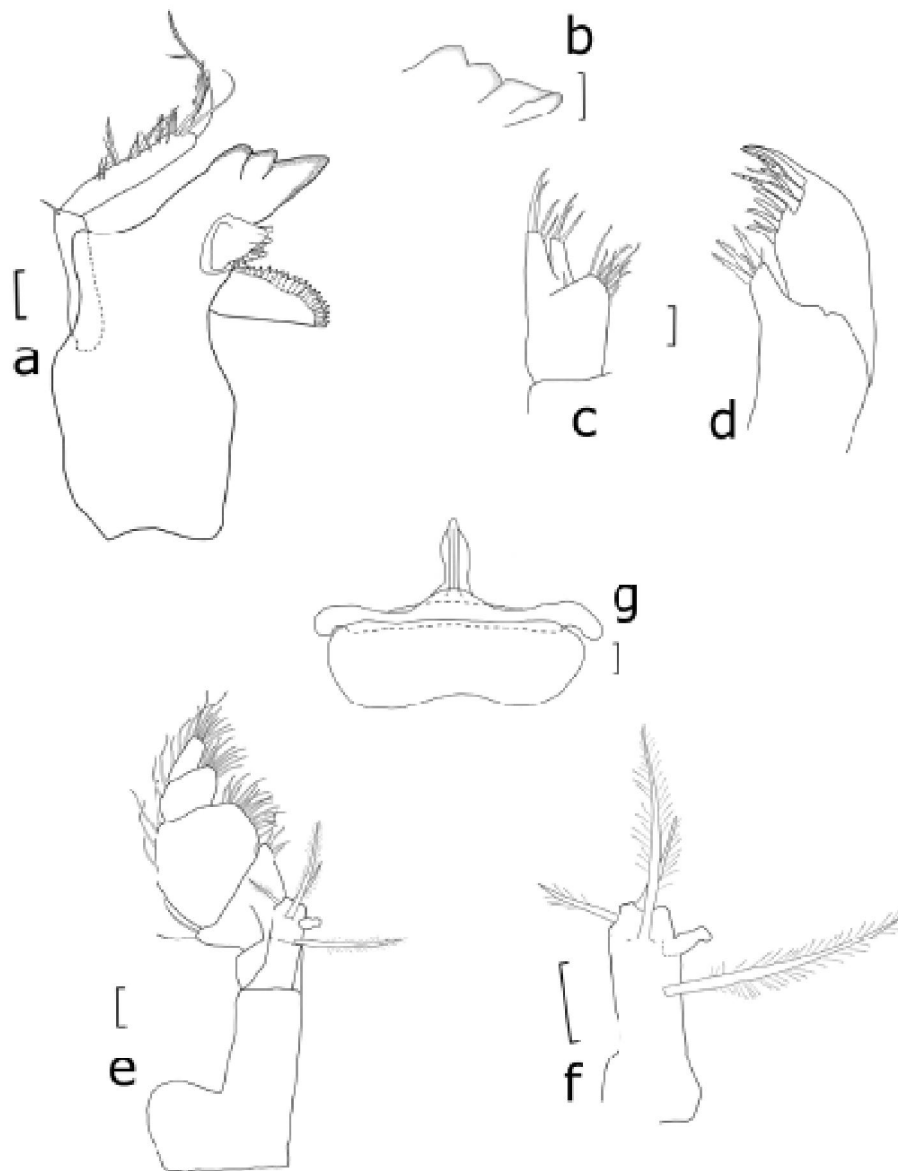


Figure 3. *Typhloctrolana longimera* sp. n. a right mandible b incisor, left mandible c maxilla d maxillule e maxilliped f endite of maxilliped g frontal lamina. Scale: a–g = 0.1 mm.

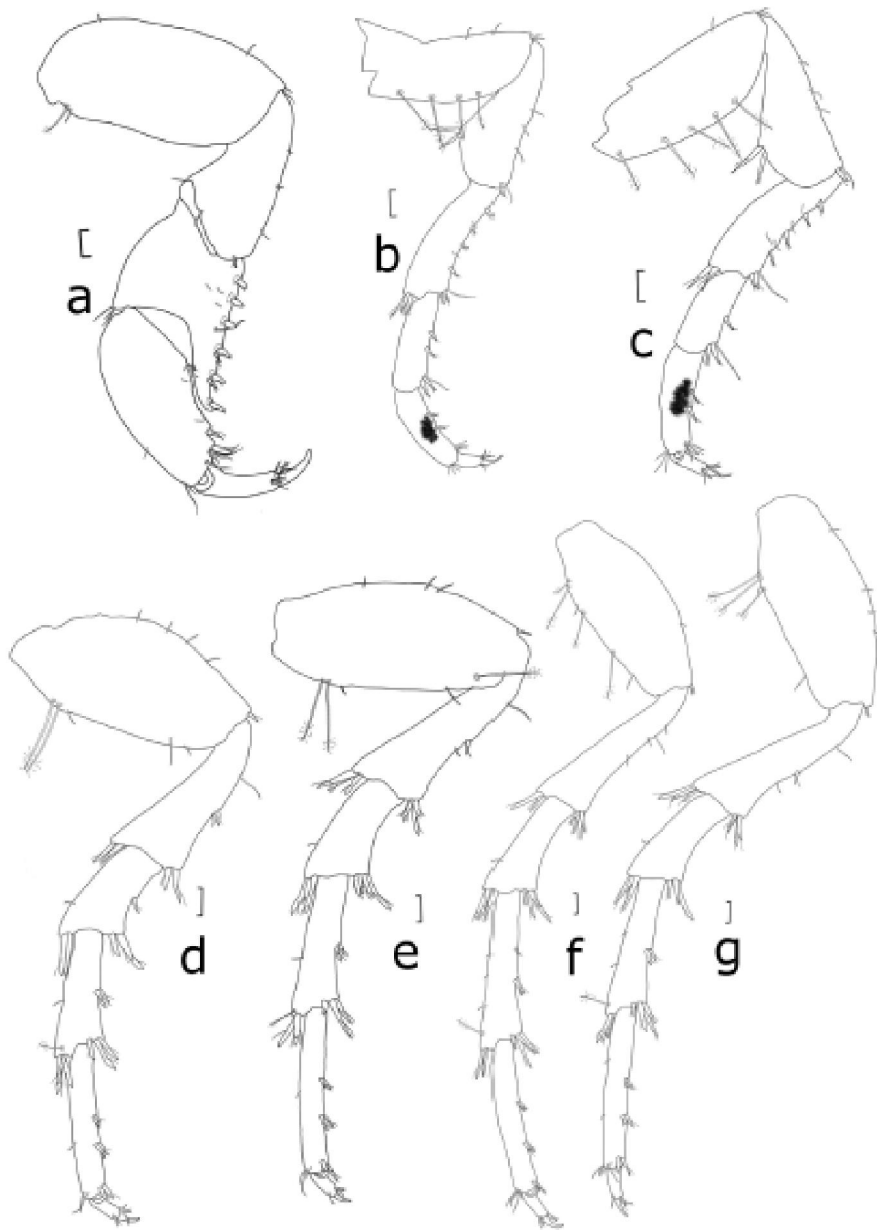


Figure 4. *Typhlocirolana longimera* sp. n. a-g pereopods 1-7. Scale: a-g - 0.1 mm.

on outer margin of basis; 4–5 along the margin of P2–P3, 2 proximal setae on P4, 2 proximal with 1 distal setae on P5, 4 setae along margin of P6 and 3 proximal setae with penial processes on P7 and about $\frac{1}{4}$ the length of the same.

Pleopod 1 (Fig. 5a) with 5–8 coupling hooks on subdistal inner margin of sympod, single short and simple seta on outer distal angle; endopod narrower about half than exopod. Endopod with 14–16 plumose setae in male (16–20 in female), exopod with 28–29 plumose marginal setae in male (28–36 in female).

Pleopod 2 (Fig. 5b,c) sympod with 4–6 coupling hooks, and 0–2 plumose setae on lateral subdistal angle, single short and simple seta on distal external angle; exopod oval, with 31–34 plumose setae on distal margin in male and (32–39 in female). Endopod with 9–14 plumose setae. Appendix masculina scimitar shaped externally directed, exceeding exopod by $\frac{2}{3}$ of length.

Pleopod 3 (Fig. 5d) sympod with 3–5 coupling hooks and 0–4 plumose seta on inner subdistal margin, single short and simple seta on distal outer angle. Exopod oval, with 24–31 plumose setae on distal margin in male (29–37 in female), a few scales and 1–3 short simple setae on inner lateral margin. Transversal suture incomplete.

Pleopod 4 (Fig. 5e) sympod with 2–3 coupling hooks and 1–3 plumose setae on inner subdistal margin, and one simple seta on distal outer angle. Exopod with 8–9 distal inner plumose setae in male (10–11 in female), a few scales spines and 1–2 short simple setae on internal lateral margin, and 0–2 plumose setae on external lateral margin. Transversal suture complete.

Pleopod 5 (Fig. 5f) sympod has one simple setae on distal outer angle; exopod with 5–7 distal inner plumose setae. A few scale spines and 2–3 short simple setae on inner lateral margin. Transversal suture complete.

Uropods (Fig. 2f) Sympod subtriangular. Lateral margin with 3 spines with additional setula, 1 medial and 2 on distal corner. Two small and simple setae on the outer margin. Seven to eight plumose setae distal on mesial margin in male and 8–12 in female. Exopod styliform, shorter than endopod, regularly slender from base to apex, with 2 strong robust setae with additional setula on lateral margin and 1–2 on mesial margin accompanied by 1 to 2 long simple setae and 1–2 small simple setae; outer margin with 1 small proximal spine with additional setula and one line of 3–4 small simple setae. Apex with about 13 long simple setae of different lengths. Endopod bottle shaped, clearly wider than exopod. Slightly longer than exopod, with 6 plumose setae on internal margin in male and 5–8 in female and 2–3 strong robust setae with additional setula. Nine tufted setae on external margin grouped by 2 or 3 proximally and distally. Apex bearing about 12 simple distal setae of different lengths.

Remarks. *Typhlocirolana longimera* is different from all other *Typhlocirolana* species described by the combination of the following characters:

- The peculiar shape of pereopod 1 merus, which is longer than in any other species, surpassing carpus and reaching the $\frac{2}{3}$ length of propus.
- The presence of 6 molariform conical robust setae and 2 short strong robust setae usually 4 molariform robust setae;

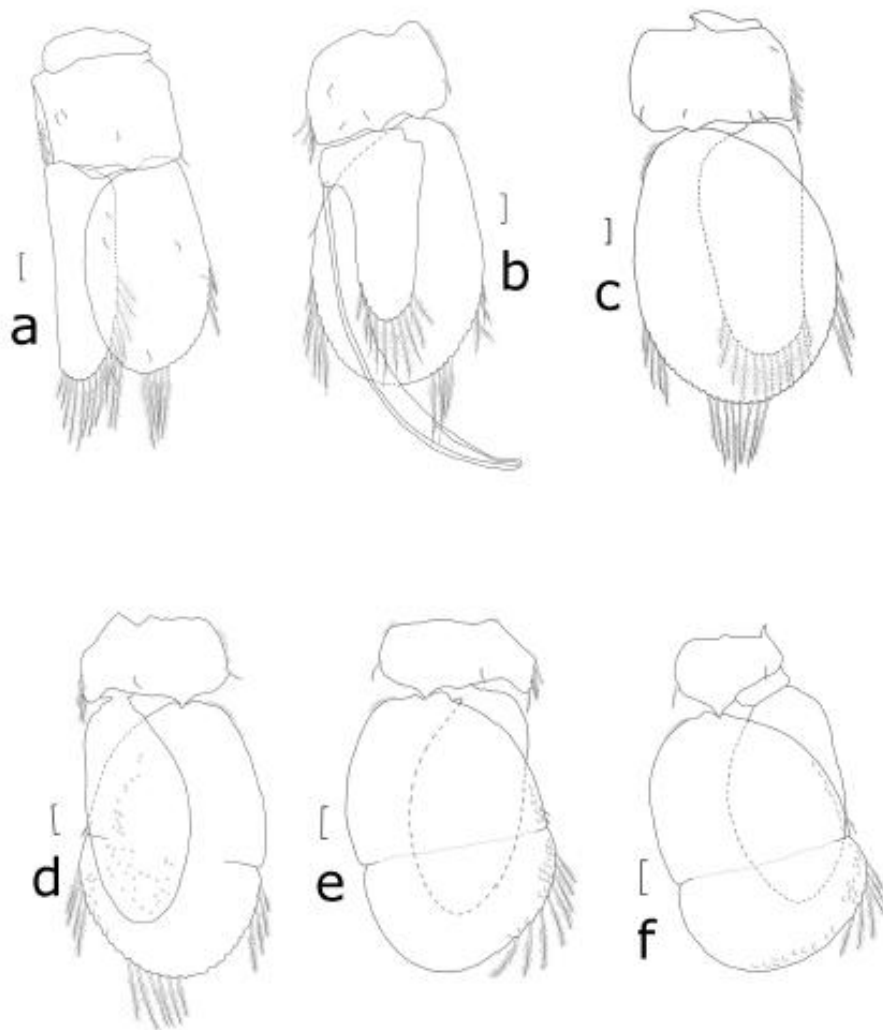


Figure 5. *Typhlocirolana longimera* sp. n. a pleopod 1 b pleopod 2 c female pleopod 2 d–f pleopods 3–5. Scale: a–f – 0.1 mm.

- Propodus of pereopod I with only 2 distal robust setae with accessory seta on internal margin, which is proximally crenulated and devoid of setae.
- The bottle shape of uropods;
- The chaetotaxy of pleopods 1–5 more abundant.

Differential diagnosis with other material examined. Based on the general morphological aspect, as well as some characters, *Typhlocirolana longimera* sp. n. exhibits

the greatest affinities with *T. fontis* and *T. haouzensis* Boutin, Boulanouar, Coineau & Messouli, 2002. However there is a mix of characters approaching *T. longimera* to several other *Typhlocirolana* species.

In addition to the main characters that make the difference with the other species of the genus *Typhlocirolana*, as cited above, *T. longimera* differs greatly from the others according to the aesthetasc formula of flagellum in antennulae: 122222222212 in *T. buxtoni* Racovitza, 1912, 12222212 in *T. fontis*, 12222212 in *T. gurneyi*, 121221 in *T. ichkeuli* Ghlala, Della Valle & Messana, 2009, 22210 in *T. rifana* Margalef, 1953.

Dentition and number of robust setae in propodus of pereopod I: in *T. gurneyi* not toothed with 2 or 3 short strong robust setae, in *T. buxtoni* not toothed with 3 strong robust setae, in *T. fontis* we don't have information, in *T. haouzensis* not toothed with 3 medio distal robust setae, in *T. ichkeuli* not toothed with 3 robust setae.

Propodial organ is present in both male and female in *T. longimera* as well as *T. buxtoni*, but it is present only in the male in *T. fontis*, *T. gurneyi*, *T. haouzensis* and *T. tiznitensis* Boulal, Boulanouar & Boutin, 2009, while, it is absent in *T. ichkeuli*.

The basal palp article of the mandible in Algerian species (*T. buxtoni*, *T. fontis* and *T. gurneyi*) including *T. longimera*, exhibits a strong plumose seta. On the contrary this article is bare in Moroccan (*T. haouzensis* and *T. tiznitensis*) and in the Tunisian species *T. ichkeuli*.

Article III of the mandibular palp has 30 plumose setae in the Algerian species and only 13–16 in the Moroccan one. Whereas, *T. longimera* has an intermediate position with 9–11.

Pleopod 1 exopod of *T. longimera* with 28 or 29 distal setae in male and 28 to 36 in female is different to *T. buxtoni* (40), *T. fontis* (24 in male and 20 in female), *T. gurneyi* (27), *T. haouzensis* (23–26 in male and 27 in female), *T. tiznitensis* (26–30) and *T. ichkeuli* (24–26).

A complete transversal suture is present in pleopod 3, 4 and 5 in Moroccan (*T. haouzensis* and *T. tiznitensis*) and in the Tunisian species (*T. ichkeuli*), while it is present only in pleopod 4 and 5 in Algerian species (*T. buxtoni*, *T. fontis* and *T. gurneyi*) including *T. longimera*.

Uropod shape of *T. longimera* is similar to *T. buxtoni*, *T. fontis*, *T. haouzensis* and *T. tiznitensis*.

Distal margin of the pleotelson with plumose setae in Algerian species (*T. buxtoni*, *T. fontis* and *T. gurneyi*), versus simple setae in *T. longimera* such as Moroccan (*T. haouzensis* and *T. tiznitensis*) and Tunisian species (*T. ichkeuli*).

During several surveys in the years 2010–2013 many specimens of the taxon *Typhlocirolana* where collected in the wells of Ain Temouchent, SidiYouchaa and Ghazaouet, which do not belong to the new described species. In fact the examination of several specimens led us to consider that they are related to the two species described by Racovitza (1912): *T. fontis* and *T. gurneyi*. The examination of these specimens gave the following results:

Typhlocirolana cf. *gurneyi* Racovitza, 1912

Typhlocirolana gurneyi, Racovitza 1912: 261–266, figs 54–63; Monod 1930: 148, 152–155; Nourisson 1956:103, 110–113, 121.

Material examined. Ain Temouchent 8 ♂♂, 4 ♀♀, July 2012, A. Malii legis, MZUF Coll. Crust. 4753.

Remarks. The specimens of the Ain Temouchent region are most similar to *T. gurneyi* by the shape of uropod that is shallower, the pleotelson bearing 12 long plumose setae on the distal margin in male, 3 strong setae with additional setula on propodus of pereopod 1 and the endite of maxilliped with 1–2 hooks and 3–4 plumose setae (Fig. 6).

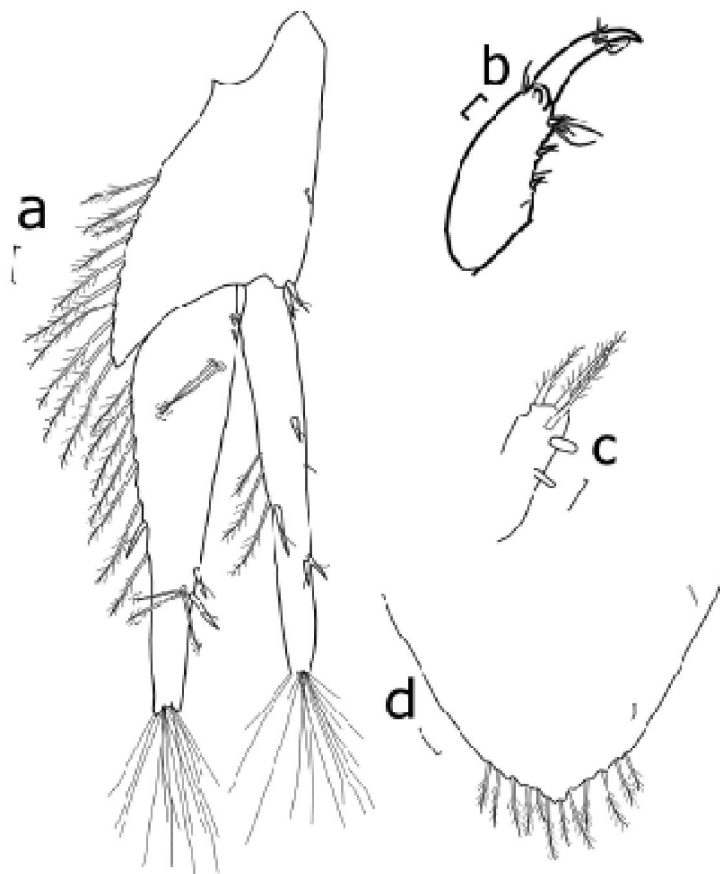


Figure 6. *Typhlocirolana* cf. *gurneyi*. a uropod b propodus and dactylus of pereopod 1 c endite of maxilliped d apex of pleotelson. scale a–d – 0.1 mm.

***Typhlocirolana cf. fontis* (Gurney, 1908)**

Cirolana fontis, Gurney 1908: 682–685

Typhlocirolana fontis, Racovitza 1912: 254–261, figs 49–53 ; Monod 1930: 139, 143, 144, 146–150, 152, 153, 155; Nourisson 1956: 103, 113–116, 121.

Material examined. Sidna Youchaa 181 ♂♂, 138 ♀♀, Octobre 2010, A. Mahi legit; Ghazaouet. 32 ♂♂, 42 ♀♀, date. A. Mahi legit. MZUF Coll. Crust. 4754.

Remarks. These specimens are most similar to *T. fontis* by the presence of propodial organ in male, endite of maxilliped with 1–2 hooks, chaetotaxy of pleopods 1 (19 plumose setae on exopod and 11 plumose setae on endopod of Ghazaouet collection; and 23 plumose setae on exopod and 14 plumose setae on endopod of Sidna Youcha) and pleopod 2 (21 plumose setae on exopod and 7 plumose setae on endopod of Ghazaouet collection; and 26 plumose setae on exopod and 6 plumose setae on endopod of Sidna Youcha) (Fig. 7).

Discussion

The first surveys of the underground aquatic fauna in Algeria run by Gurney (1908) and Racovitza (1912), lead to the discovery of three species of *Typhlocirolana*: *T. fontis*, *T. gurneyi* and *T. buxtoni*. However, Monod (1930, 1934) and Nourisson (1956), argued the status of the two species, *T. fontis* and *T. gurneyi*, suggesting they might be a single species. These authors underline the great variability of the characters used by Racovitza (1912). *Typhlocirolana buxtoni* has been maintained as an independent species probably by the presence of propodial organ in the two sexes (Por 1962). Later, other authors suggest to maintain the separation between the three Algerian species (Botosaneanu et al. 1985, Boutin et al. 2002). We do agree about this point, because we have not enough arguments to separate the three species. On the other hand, we need other new observations for an exhaustive comparison.

The history of *Typhlocirolana* evolution and colonization of subterranean waters, such as that of several other stygobitic crustaceans (Baratti et al. 2010), is the result of multiple vicariance events, which happened in the Mediterranean basin in the last 90–15 MYA. In particular the western Maghreb region has experienced extensive marine incursions in different periods that allowed a connection between the Tethyan basin and the Atlantic Ocean. The articulated paleogeographic history of the region resulted in a complex of species strictly related morphologically and genetically whose position is not easy to elucidate (Boutin et al. 2002, Baratti et al. 2004, 2010, Ait Boughrouss et al. 2007, Boulal et al. 2009).

The Algerian situation is rather complicated and will need an accurate revision of the taxa both morphological and molecular. As has been pointed out by other authors (Nourisson 1956), many of the characteristics examined do not correspond to the descriptions that have been given or are common to several species.

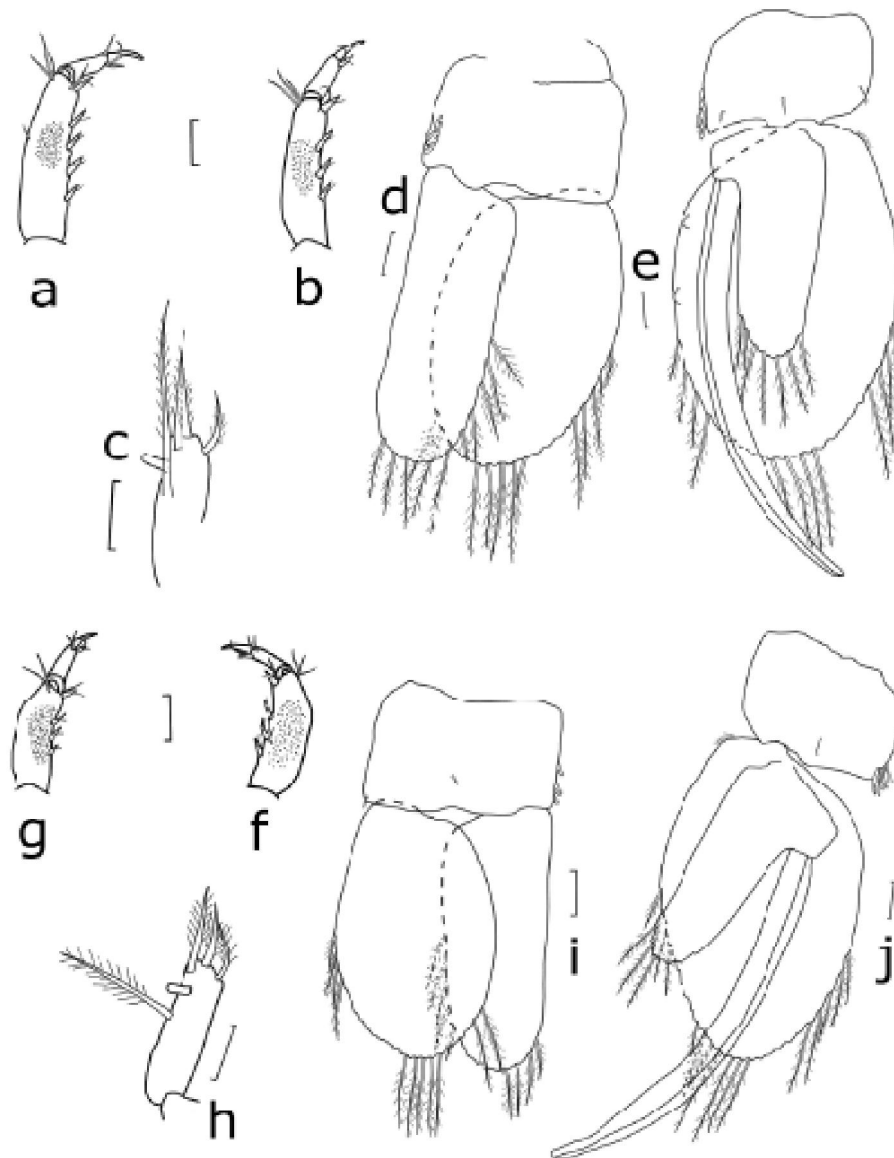


Figure 7. *Typhlocirolana* cf. *fonsus*. Ghazaouet (a-e): a) pereopod 1 b) pereopod 2 c) endite of maxilliped d) pleopod 1 e) pleopod 2 Sidna Youcha (f-j): f) pereopod 1 g) pereopod 2 h) endite of maxilliped i) pleopod 1 j) pleopod 2. Scale: a-j = 0.1 mm. (The armature of pleopods has been partially omitted)

Acknowledgements

This research and paper was supported by the PNE program of the Ministry of Higher Education and Scientific Research of Algeria. We are especially grateful to M. Boulanouar who provided precious help giving his advice on the study of other specimens of *Typhlocirolana* and to Dr. Nicole Coineau who critically revised the manuscript. G. Montesanto is gratefully acknowledged for his critical effort to teaching us the GIMP software for drawing.

References

- Ait Boughrou A, Yacoubi-Khebiza M, Boulanouar M, Boutin C, Messana G (2007) Groundwater quality in two arid areas of Morocco: Impact of pollution on biodiversity and paleogeographic implications. *Environmental Technology* 28(11): 1299–1315. <https://doi.org/10.1080/09593332808618887>
- Baratti M, Filippelli M, Nardi F, Messana G (2010) Molecular phylogenetic relationships among some stygobitic cirolanid species (Crustacea, Isopoda). *Contributions to Zoology* 79(2): 57–67.
- Baratti M, Yacoubi-Khebiza M, Messana G (2004) Microevolutionary processes in the stygobitic genus *Typhlocirolana* (Isopoda Flabellifera Cirolanidae) as inferred by partial 12S and 16S rDNA sequences. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 42: 27–32. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.2004.00232.x>
- Botosaneanu L (2001) Morphological rudimentation and novelties in stygobiotic Cirolanidae (Isopoda, Cymothoidea). *Vie et Milieu* 51(1/2): 133–138.
- Botosaneanu L, Boutin C, Henry JP (1985) Deux remarquables cirolanides stygobies nouveaux du Maroc et de Rhodes – Problématique des genres *Typhlocirolana* Racovitza, 1905 et *Turcolana* Argano & Pesce, 1980 (Isopoda). *Stygologia* 1: 186–207.
- Botosaneanu L, Bruce N, Notenboom J (1986) Isopoda: Cirolanidae. In: Botosaneanu L (Ed.) *Stygofauna Mundi*. E. J. Brill, Leiden, 412–422.
- Botosaneanu L, Vilorio A (1993) *Zulialana coalescens* gen. et. spec. n., a stygobitic cirolanid (Isopoda, Cirolanidae) from a cave in north-western Venezuela. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique* 63: 159–173.
- Boulal M, Boulanouar M, Boutin C, Yacoubi-Khebiza M (2009) Biodiversity in the stygobiotic cirolanids (Crustacea, Isopoda) from the Mediterranean Basin: II - Systematics, ecology and historical biogeography of *Typhlocirolana tiznitensis* sp. n., the first representative of the genus, South of the Moroccan High Atlas. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* 145: 11–28.
- Boutin C, Boulanouar M, Coineau N, Messouli M (2002) Biodiversity of the stygobitic cirolanids (Crustacea: Isopoda) from the Mediterranean Basin. I. A new species of *Typhlocirolana* in Morocco, taxonomic, ecological and biogeographic data. *Journal of Natural History* 36: 797–817. <https://doi.org/10.1080/00222930010028920>
- Coineau N, Boutin C (2015) *Botolana*, a new genus of groundwater cirolanid isopod (Crustacea) from Morocco. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* 151: 29–34.

- Coineau N, Henry JP, Magniez G (1994) Isopoda aquatica. In: Juberthie C, Decu V (Eds) Encyclopaedia Biospeologica, Moulis, 123–140.
- Cretkov L (1968) Un filet phréatobiologique. Bulletin de l'Institut de Zoologie et Musée, Sofia 22: 215–219.
- Gurney R (1908) A new species of *Cirolana* from a fresh-water spring in the Algerian Sahara. Zoologischer Anzeiger 32: 682–685.
- Holsinger JR, Hubbard DA, Bowman TE (1994) Biogeographic and ecological implications of newly discovered populations of the stygobiont isopod crustacean *Antrolana lina* Bowman (Cirolanidae). Journal of Natural History 28: 1047–1058. <https://doi.org/10.1080/00222939400770551>
- Monod Th (1930) Contribution à l'étude des Cirolanidae. Annales des Sciences Naturelles, Zoologie 13 : 129–183.
- Monod Th (1934) *Typhlocirolana fontii* (Gurney) à Hassi Chebaba. In: Seurat LG (Ed.) Études zoologiques sur le Sahara central. Mémoires de la Société d'Histoire Naturel de L'Afrique du Nord. N° 4. Mission du Hoggar III, 87–89.
- Montesanto G (2015) A fast GNU method to draw accurate scientific illustrations for taxonomy. Zookeys 5015: 191–206. <https://doi.org/10.3897/zookeys.515.9459>
- Nourrisson M (1956) Étude morphologique, comparative et critique des *Typhlocirolana* (Crustacés, Isopodes, Cirolanidae) du Maroc et d'Algérie. Bulletin de la Société des Sciences Naturelles et Physique du Maroc Tome XXXVI: 103–124.
- Por FD (1962) *Typhlocirolana reichi* sp. n. un nouvel Isopode Cirolanide de la dépression de la Mer Morte. Crustaceana 4: 247–252. <https://doi.org/10.1163/156854062X00229>
- Racovitza EG (1912) Biospeologica. XXVII. Cirolanides (Première série). Archives de Zoologie Expérimentale et Générale 5: 203–329.