

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID - TLEMCEM

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

Département d'Ecologie et Environnement

Laboratoire de recherche :

Valorisation des actions de l'homme pour la protection de l'environnement et applications en santé publique

THESE

présentée par

Mlle BENHADJI Nadhira

en vue de l'obtention du

Diplôme de Doctorat

en **Ecologie animale**

Thème



**Caractérisation taxonomique, phylogénétique
des Ephéméroptères Schistonotes du bassin
versant de la Tafna (Ouest algérien).**

Soutenue le 10 novembre 2020, devant le jury composé de :

Présidente	Pr. AOUAR Amaria	Université de Tlemcen.
Directrice de thèse	Pr. ABDELLAOUI HASSAINE Karima	Université de Tlemcen
Examineur	Dr. SARTORI Michel	Université de Lausanne (Suisse).
Examinatrice	Pr. EL ALAMI Majida	Université de Tétouan (Maroc).
Examinatrice	Pr. DAMERDJI Amina	Université de Tlemcen.
Examineur	Pr. SAMRAOUI Boudjémaa	Université de Guelma.



Remerciements

Mes sincères remerciements vont à :

Ma directrice de thèse Mme ABDELLAOUI HASSAINE Karima, Professeur à l'université de Tlemcen, pour avoir supervisé consciencieusement ce travail. Par son sens de la rigueur et du perfectionnisme, elle m'a guidée et challengée à chaque fois pour tirer le meilleur de moi-même, grâce à quoi, j'ai pu bénéficier d'une très riche aventure scientifique.

Mme AOUAR Amaria, Professeur à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté de présider le jury mais bien avant, de m'avoir toujours encouragée et faite confiance depuis notre première rencontre aux TD de 2^{ème} année de Tronc commun de Biologie.

M. Michel SARTORI, Professeur à l'université de Lausanne – Suisse, tout d'abord, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant d'être membre du jury, pour sa générosité et son engagement scientifique paternaliste et sa grande contribution à ce travail, il m'a ouvert une fenêtre sur le monde des Ephéméroptères et plus encore dont j'en étais plus que profane et pour ce, il a toute ma gratitude.

Mme DAMERDJI Amina, Professeur à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail en apportant ses immenses connaissances scientifiques et sa riche expérience académique.

Mme EL ALAMI Majida, Professeur à l'université de Tétouan - Maroc, de nous honorer en acceptant d'être membre du jury et nous prêter son regard expert sur ce modeste travail sur les Ephéméroptères.

M. SAMRAOUI Boudjéma, Professeur à l'université de Guelma, pour avoir accepté d'être membre du jury et nous apporter son expertise compétente.

Je souhaite exprimer mon immense gratitude à M. Jean-Luc GATTOLLIAT, Conservateur au Musée de Zoologie de Lausanne – Suisse, j’ai envie de dire pour tout et de tout mon cœur ! « MERCI JLG ! Et VIVE les Baetidae ! ».

Je souhaite exprimer toute ma reconnaissance à l’équipe de mon labo d’adoption, tout d’abord, à ma collègue et amie Soumia DEKKAK pour son grand soutien et son écoute, sa main forte au terrain (et sa voiture !), aux meilleurs ingénieurs des labos de recherche de Biologie, mes très chers Salima, Khadidja et Benali mais aussi mes collègues et amies Mimi DANOUNE et Nassira SENOUCI qui m’ont toujours aidée, soutenue et encouragée.

Un grand merci à M. Laurent VUATAZ mon coach en bio-informatique, patient et efficace, qui m’a guidé pas à pas et sans qui je n’aurais pas su accomplir les reconstructions phylogénétiques biomoléculaires.

Enfin je remercie, de tout cœur, toutes les personnes qui m’ont apporté soutien moral, courage, joie et espoir : Mes très chers Mami et Papou, ma famille, Mes précieuses et magnifiques sœurs, mon ami M. Addou, mes petits neveux et nièces, mes chers amis Omar, Réda, Amine.....

ملخص

يهدف العمل البحثي الذي تم إجراؤه في إطار هذه الأطروحة إلى تحديث تكوين وتوزيع وبيئات الفصائل السيتونية في حوض تافنة (شمال غرب الجزائر) من خلال ثلاثة مكونات تكميلية تتوافق مع دراسة تصنيفية. بدعم من دراسة الوراثة الجزيئية الحيوية ودراسة بيئية. تم إجراء التحليل الجزيئي الحيوي القائم على تقنية الترميز الجزيئي للترميز الجيني للميتوكوندريا للوحدة الفرعية الأولى من السيتوكروم أوكسيداز (COI) للمرة الأولى. أجريت الدراسة في 12 موقعًا لمجموعة إجمالية بلغت 16605 عينة خلال الفترة من يناير 2015 إلى ديسمبر 2016. تتميز الحيوانات المحصودة بمعدل عالٍ من توطن الأنواع. من بين الأنواع السبعة من Baetidae التي تم حصادها *Procloeon*، *Cloeon peregrinator*، *Acentrella cf. sinaica*، *B. atlanticus*، *Baetis maurus*، *Baetis cf. pavidus*، *Baetis sinespinosus* (*stagnicola*)، نوعان جديان من جزر الماكرونيس (*C. peregrinator*، *B. atlanticus*) مدرجين في شمال أفريقيا. من بين الأنواع الثلاثة لـ *Leptophlebiidae* المذكورة، *Habrophlebiahassainasp. nov.*، التي تم تحديدها سابقًا باسم *H. cf. fusca*، التي يوصف للمرة الأولى. أكدت نتائج إعادة بناء الجزيئات الحيوية للجزيئات توطنًا داخليًا لـ *Ephemeroptera*، وأظهرت أيضًا مسافات جينية كبيرة بين الأنواع الفاصلة الجزائرية *Baetis cf. pavidus* و *Acentrella cf. sinaica* وهذا ما يشير إلى وجود أنواع مفترضة أو غامضة، تم التعرف على *Baetis maurus* كـ *clade* متوطنة وشقيقة لـ *clade* من الأنواع الأيبيرية. علاوة على ذلك، كشفت المقارنة بين تكوين الـ *Ephemeroptera* التي تم حصادها خلال هذه الدراسة والتي تم الاستشهاد بها في أعمال Gagneur & Thomas (1988)، أن أكثر من نصف *Ephemeroptera* بما في ذلك مغذيات المرشحات والمجففات لم يتم العثور عليها، تتميز تكوين الحيوانات بسيادة الأسرة Baetidae (83%). إن الأصناف *Baetis pavidus* و *Rhodobaetis* هي الأكثر وفرة ولها أعلى درجات *euryecia*. يبدو أن الثراء والوفرة المحددين مرتبطان بعوامل الموصلية والارتفاع.

الكلمات الرئيسية: Baetidae، Ephemeroptera، التصنيف، الباركود، علم البيئة، التنوع البيولوجي، الموائل، الجغرافيا الحيوية، التوزيع، تلمسان، الجزائر

Résumé

Les travaux de recherche menés dans le cadre de la présente thèse, visent à mettre à jour la composition, la distribution et l'écologie des Ephéméroptères Schistonotes du bassin de Tafna (Nord-Ouest algérien) à travers trois volets complémentaires correspondant à une étude taxonomique soutenue par une étude phylogénétique biomoléculaire et une étude écologique. L'analyse biomoléculaire s'appuyant sur la technique du barcoding moléculaire du gène mitochondrial codant pour la première sous-unité de la cytochrome oxydase (COI) est réalisée pour la première fois. L'étude est menée dans 12 sites pour une collection totale de 16605 spécimens durant la période de janvier 2015 à décembre 2016. La faune récoltée se distingue par un fort taux d'endémisme des espèces. Sur les sept espèces de Baetidae récoltées (*Baetis sinespinosus*, *Baetis cf. pavidus*, *Baetis maurus*, *B. atlanticus*, *Acentrella cf. sinaica*, *Cloeon peregrinator*, *Procloeon stagnicola*), deux espèces insulaires macaronésiennes (*B. atlanticus*, *C. peregrinator*) sont nouvellement répertoriées en Afrique du Nord. Sur les trois espèces de Leptophlebiidae citées, une nouvelle espèce *Habrophlebiahassainasp. nov.*, auparavant identifiée comme étant *H. cf. fusca* est décrite pour la première fois. Les résultats de reconstructions biomoléculaires ont permis de confirmer l'endémisme mais aussi de démontrer de grandes distances génétiques intraspécifiques entre les clades algériens de *Baetis cf. pavidus* et *Acentrella cf. sinaica* qui suggèrent la présence d'espèces putatives ou bien cryptiques, le clade de *Baetis maurus* a été identifié comme aussi endémique et groupe frère du clade des espèces ibériques. Par ailleurs, la comparaison entre la composition des peuplements des Ephémères récoltés lors de cette étude et celle cités dans les travaux de Gagneur & Thomas (1988), a révélé que plus de la moitié des Ephéméroptères notamment filtreurs et fouisseurs n'ont pas été retrouvés, la composition faunistique étant marquée par une prédominance de la famille des Baetidae (83%). Les taxons *Rhodobaetis* et *Baetis pavidus* sont les plus abondants et détiennent les plus larges degrés d'euryécie. La richesse spécifique et l'abondance des Ephémères semblent associées aux facteurs conductivité et altitude.

Mots clés : Ephemeroptera, Baetidae, Taxonomie, Barcoding, Ecologie, biodiversité, habitat, biogéographie, distribution, Tlemcen, Algérie.

Summary

The research work carried out within the framework of this thesis aims to update the composition, distribution and ecology of the Ephemeroptera Schistonota in the Tafna basin (North-West Algeria) through three complementary components corresponding to a taxonomic study supported by a biomolecular phylogenetic study and an ecological study. The biomolecular analysis based on the molecular barcoding technique of the mitochondrial gene coding for the first cytochrome oxidase (COI) subunit is performed for the first time. The study is carried out in 12 sites for a total collection of 16605 specimens during the period from January 2015 to December 2016. The collected fauna is distinguished by a high rate of endemism of the species. Among the seven Baetidae species found (*Baetis sinespinosus*, *Baetis cf. pavidus*, *Baetis maurus*, *Baetis atlanticus*, *Acentrella cf. sinaica*, *Cloeon peregrinator*, *Procloeon stagnicola*), two Macaronesian island species (*B. atlanticus*, *C. peregrinator*) are newly listed in North Africa. Of the three Leptophlebiidae species cited, a new *Habrophlebia hassainae sp. nov.*, previously identified as *H. cf. fusca* is described for the first time. The results of biomolecular reconstructions of the Baetidae confirmed the endemism but also demonstrated the large intraspecific genetic distances between the Algerian clades of *Baetis cf. pavidus* and *Acentrella cf. sinaica* which suggests the presence of putative or cryptic species, the *Baetis maurus* clade has been identified as also endemic and sister group to the clade of the Iberian species. Furthermore, the comparison between the composition of the Ephemeroptera collected during this study and that cited in Gagneur & Thomas (1988) work, revealed that more than half of the mayflies including filter feeders and burrowers were not found, the fauna composition being marked by a predominance of the family Baetidae (83%). The taxa *Rhodobaetis* and *Baetis pavidus* are the most abundant and have the highest degrees of euryecia. The specific richness and abundance of Ephemera seem to be associated with the factors of conductivity and altitude.

Keywords: Ephemeroptera, Baetidae, Taxonomy, Barcoding, Ecology, biodiversity, habitat, biogeography, distribution, Tlemcen, Algeria.

Table des matières

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Liste des planches

Chapitre I : Contexte introductif	1
1 Objets d'étude et intérêt	1
1.1 Classification	1
1.1.1 Classification taxonomique classique	2
1.1.2 Classification phylogénétique/cladistique.....	3
1.1.2.1 Notions de base.....	3
1.1.2.2 Haute classification des Ephemeropteres.....	5
1.1.2.3 Position taxonomique.....	6
1.2 Cycle biologique et morphologie.....	9
1.2.1 L'œuf.....	10
1.2.2 La larve.....	11
1.2.3 La croissance larvaire	13
1.2.4 L'adulte	14
1.3 Biologie des espèces	19
1.3.1 Rythmes d'émergence.....	19
1.3.2 Fécondation	20
1.3.3 Oviposition.....	21
1.3.4 La respiration.....	22
1.3.5 L'alimentation	22
1.3.6 Ethologie et Ecologie.....	24
1.3.7 Interactions biotiques	26
1.3.8 Sensibilité.....	27
1.4 Biogéographie.....	28
1.5 Historique des Ephemeropteres de l'Afrique du Nord	31
2 Problématique de l'étude	35
3 Objectifs de l'étude	35
Chapitre II : Méthodologie	34
1. Etude du cadre physique	34
1.1 Géographie du bassin versant de la Tafna.....	34
1.2 Hydrographie du bassin.....	34

1.2.1	La Haute Tafna	34
1.2.2	La Moyenne Tafna.....	36
1.2.3	La Basse Tafna	37
1.3	Contexte géologique	38
1.3.1	Le bassin amont	39
1.3.2	Le bassin aval	39
1.3.2.1	Le Plio-quadernaire	42
1.4	Régime hydrologique.....	43
1.5	Climatologie régionale	44
1.5.1	Température et précipitations	44
1.5.2	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson 1953	47
1.5.3	Indice d'aridité de De Martonne (1926)	49
1.5.4	Quotient pluviométrique d'Emberger Q2 (1933,1955).....	50
1.6	Localisation et description des sites d'étude	52
2.	Méthodes	56
2.1	Protocole d'échantillonnage sur terrain	56
2.2	Protocole au laboratoire	60
2.2.1	Tri et identification des spécimens	60
2.2.2	Taxonomie moléculaire.....	61
2.2.2.1	Barcode moléculaire	62
2.2.2.2	Protocole d'extraction de l'ADN des Ephémères.....	63
2.2.2.3	Purification de l'ADN.....	65
2.2.2.4	Concentrations d'ADN	65
2.2.2.5	Polymerase Chain Reaction PCR	65
2.2.2.6	Migration sur gel	70
2.2.2.7	Purification	73
2.2.2.8	Réactions de séquences.....	73
2.2.2.9	Séquençage Méthode Sanger.....	74
2.2.3	Bioinformatique.....	75
2.2.3.1	Correction des séquences et alignement	75
2.2.3.2	Analyses phylogénétiques	75
Chapitre III : Résultats et discussion		76
1	Révisions taxonomiques	76
-	Inventaire faunistique	76
1.1	Les Baetidae	77
1.1.1.1	Les Baetinae	77
-	<i>Baetis</i> Leach, 1815 s.l.	77
a.	<i>Baetis sinospinosus</i> Soldán & Thomas, 1983.....	81

b.	<i>Baetis atlanticus</i> Soldán and Godunko 2006	82
c.	<i>Acentrella</i> c.f. <i>sinaica</i> Bogoescu, 1931	83
d.	<i>Baetis maurus</i> Kimmins, 1938	85
e.	<i>Baetis</i> c.f. <i>pavidus</i> Grandi, 1949.....	87
1.1.1.2	Les Cloeoninae	88
a.	<i>Cloeon peregrinator</i> Gattolliat and Sartori, 2008	88
b.	<i>Procloeon stagnicola</i> Soldán & Thomas, 1983.....	89
1.1.2	Les Heptageniidae.....	90
1.1.3	Les Leptophlebiidae.....	92
1.1.3.1	Les Atalophlebiinae	92
1.1.3.2	Les Leptophlebiinae.....	93
1.1.3.3	Les Habrophlebiinae	94
2	<i>Barcoding moléculaire</i>	108
2.1	Utilité	108
2.2	Principaux résultats obtenus	108
3	<i>Ecologie des espèces du bassin versant de la Tafna</i>	135
3.1	Objectifs atteints	135
3.2	Principaux résultats obtenus	135
	<i>Conclusion générale</i>	148
	<i>Références bibliographiques</i>	150

Liste des tableaux

Tableau 1 : Première classification des Ephéméroptères selon McCafferty & Edmunds (1979).	3
Tableau 2: Version simplifié de Kluge (2004) de la haute classification des Ephéméroptères (de 1979 à 1998).7	
Tableau 3: Biogéographie des familles d'Ephéméroptères Schistonotes.....	31
Tableau 4 : Liste des espèces d'Ephéméroptères Schistonotes d'Afrique du Nord de Thomas (1998)	33
Tableau 5 : (Suite) Liste des espèces d'Ephéméroptères Schistonotes d'Afrique du Nord de Thomas (1998)	34
Tableau 6 : températures moyennes mensuelles et précipitations moyennes mensuelles des deux périodes. ...	45
Tableau 7: Régimes saisonniers.....	47
Tableau 8: Indice de De Martonne.....	49
Tableau 9 : Valeurs du Q2 d'Emberger	50
Tableau 10: Données géographiques et physiques des sites d'étude du bassin de Tafna Algérie.	52
Tableau 11 : Protocole du cycle PCR	69
Tableau 12 : Protocole de purification de la PCR ExoSAP.	73
Tableau 13: Liste faunistique des espèces d'Ephéméroptères collectées.....	76
Tableau 14: Distances intra (en rouge) et interspécifique des groupes d'Habrophlebia.	109
Tableau 15: Distances intra (en rouge) et interspécifique des groupes d'Ecdyonurus.	110

Liste des figures

Figure 1: Critères de classification des groupes phylogénétiques	4
Figure 2: Différence entre le lignage ou lineage en anglais et le clade.....	4
Figure 3: Structure d'un arbre phylogénétique.....	4
Figure 4: Les trois hypothèses de division au sein des Pterygota	5
Figure 5: Comparaison entre les reconstructions phylogénétiques établies par Kluge (a) et McCafferty (b) ...	8
Figure 6: Relations phylogénétiques entre les familles d'Ephéméroptères existantes	9
Figure 7 : Œufs de différentes espèces de Polymitarcyidae	10
Figure 8: Morphologie d'une larve d'Ephéméroptères.....	12
Figure 9: Exemple de pièces buccales d'Ephéméroptères	13
Figure 10 : Cycle de la larve à l'imago	15
Figure 11: Morphologie d'un éphémère adulte.....	18
Figure 12: (A gauche) Structure des ailes d'Ephemera. (A droite) Partie apicale de l'abdomen d'un Sipholonurus	19
Figure 13: Cycle de vie des Ephéméroptères (Brittain & Sartori, 2003).....	21
Figure 14: Pièces buccales de type broyeur des Ephéméroptères	23
Figure 15: Différentes morphologies de larves.....	26
Figure 16: Répartition des Ephéméroptères	30

Figure 17: Localisation du bassin versant de la Tafna dans le bassin hydrographique Oranie-Chott Chergui	35
Figure 18: Carte du réseau hydrographique de la Tafna	38
Figure 19: Carte géologique de la wilaya de Tlemcen	42
Figure 20: Températures moyennes mensuelles des deux périodes	45
Figure 21: Précipitations moyennes mensuelles des deux périodes	46
Figure 22: Diagramme ombro-thermique de la nouvelle période (1980-2015)	48
Figure 23: Diagramme ombro-thermique de l'ancienne période (1913-1938)	48
Figure 24: Indice d'aridité de De Martonne	49
Figure 25: Positionnement des deux périodes sur le Climagramme d'Emberger (1952)	51
Figure 26: Carte de localisation des stations d'étude	52
Figure 27: La méthode du barcoding moléculaire	62
Figure 28: L'ADN mitochondrial CO1	62
Figure 29: Milieu réactionnel de la PCR	66
Figure 30: Hybridation des amorces	66
Figure 31: Synthétisation d'un nouveau brin d'ADN par la fixation des dNTPs par l'enzyme Taq polymérase	67
Figure 32: Synthèse du procédé de la PCR	67
Figure 33: Déroulement de la PCR au niveau des bases des séquences d'ADN	68
Figure 34: Déroulement globale de la PCR	69
Figure 35: Schéma récapitulatif de la méthode Sanger par automatisation	75
Figure 36: Maximum Likelihood tree reconstructed for Habrophlebia using General Time Reversible model (+G+I); deeper nodes are labelled above branches with Maximum Likelihood bootstrap support (BS)	110
Figure 37: Maximum Likelihood tree reconstructed for Ecdyonurus using General Time Reversible model (+G+I); deeper nodes are labelled above branches with Maximum Likelihood bootstrap support (BS)	111

Liste des photos

Photo 1: Station Tafna Ghar Boumaâza TGB.	57
Photo 2: Station Tafna Aïn Ghoraba TGA.	57
Photo 3: Station Tafna Aval village Tafesra TFF.	57
Photo 4: Station pont Khémis KH1.	57
Photo 5: Station Sikkak El ourit SK1.	57
Photo 6: Station Chouly village Beni Ghazli CH0.	57
Photo 7: Station Chouly Amont village Yebdar CH1.	58
Photo 8: Station Aval village Yebdar Chouly CH2.	58
Photo 9: Station Aval village Ouled Mimoun CH4.	58
Photo 10: Station Amont Village Ouled Mimoun IOM.	58

<i>Photo 11: Station Aval Remchi IRE.</i>	58
Photo 12: Station Pierre du Chat TPC.	58
Photo 13: Lame de montage.	61
Photo 14: Appareil Milli-Q	63
Photo 15: Robot Qiagen BIOSPRINT.	65
Photo 16: Résultats de la migration sur gel.	72
Photo 17: Morphologie générale des Rhodobaetis.	79
Photo 18: Marge distale des tergites.	80
Photo 19: Ecailles de la marge distale d'un tergite.	80
Photo 20: Epines de la marge distale d'un tergite.	80
Photo 21: Epines sur les bords d'une branchie trachéenne.	81
Photo 22: Les paraproctes: 1. Paraproctes. 2. Epines sur les paraproctes.	81
Photo 23: Larves <i>B. sinespinosus</i> (mâle à gauche/femelle à droite).	82
Photo 24: Soies pointues sur un fémur d'une larve de <i>B. sinespinosus</i>	82
Photo 25: Labium de <i>B. sinespinosus</i> (gauche) avec 4 rangées de soies sur les paraglosses (droite).	82
Photo 26: Larves <i>Baetis atlanticus</i> (mâle à gauche/femelle à droite).	83
Photo 27: Marge distale d'un tergite de <i>B. atlanticus</i> . <i>atlanticus</i>	83
Photo 28: Soies arrondies sur un fémur de <i>B.</i> <i>atlanticus</i>	83
Photo 29: Labium de <i>B. atlanticus</i> (gauche) avec 4 rangées de soies sur les paraglosses (droite).	83
Photo 30: Morphologie d'une larve d' <i>A. sinaica</i>	84
Photo 31: Forme des patterns sur les tergites d'une larve d' <i>A. sinaica</i>	84
Photo 32: Marge distale des tergites d' <i>A. sinaica</i>	85
Photo 33: Soies sur la marge distale des tibias d'une larve d' <i>A. sinaica</i>	85
Photo 34: Morphologie d'une larve de <i>B. maurus</i>	85
Photo 35: Marge distale des tergites et Forme des patterns sur les tergites de <i>B. maurus</i>	86
Photo 36: Marge distale des tergites de <i>B. maurus</i> (vue microscopique).	86
Photo 37: Double rangée de dents sur une griffe d'une larve de <i>B. maurus</i>	86
Photo 38: Mandibules de <i>B. maurus</i>	86
Photo 39: Morphologie d'une larve de <i>B. pavidus</i>	87
Photo 40: Marge distale d'un tergite d'une larve de <i>B. pavidus</i>	87
Photo 41: Mandibule d'une larve de <i>B. pavidus</i>	87
Photo 42: Longueur du paracerque chez <i>Acentrella</i> (gauche), <i>B. maurus</i> (milieu) et <i>B. pavidus</i> (droite).	88
Photo 43: Morphologie d'une larve de <i>C. peregrinator</i>	89
Photo 44: Morphologie d'une larve de <i>P. stagnicola</i>	90
Photo 45: Morphologie d'une larve d' <i>Ecdyonurus rothschildii</i>	91
Photo 46: Forme du labrum chez une larve d' <i>E. rothschildii</i>	91
Photo 47: Prolongement du pronotum chez une larve d' <i>Ecdyonurus rothschildii</i>	91

Photo 48: Morphologie d'une larve de Choroterpes atlas	92
Photo 49: Morphologie d'une larve de Paraleptophlebia cincta.....	94

Liste des planches

Planche 1: Etape A.....	64
Planche 2: Etape B.....	64
Planche 3: Etape C.....	65
Planche 4: Etape D.....	70
Planche 5: Etape E	71
Planche 6: Etape F	71
Planche 7: Etape G.....	72

Chapitre I : Contexte introductif

Chapitre I : Contexte introductif

A l'heure où divers changements environnementaux globaux se produisent à savoir le réchauffement climatique, la pollution solide et liquide liés à diverses actions anthropozoïques, la biodiversité est touchée de plein fouet, surtout celle des eaux douces qui a nettement régressé comparée à celle des écosystèmes terrestres (Sala et al., 2000) en raison de la perte de la qualité des habitats et de leur connectivité (Murria et al., 2017).

Dans ce premier chapitre nous présentons toutes les caractéristiques bioécologiques et géographiques des Ephéméroptères et en particulier des Schistonotes ainsi que les raisons du choix et de l'orientation de notre étude.

1 Objets d'étude et intérêt

« *Les Ephémères sont ces petites bêtes qui nous parlent de l'eau* » - Expo Aqualogue - Musée de zoologie de Lausanne.

Les Ephéméroptères ont toujours suscité l'intérêt des hydrobiologistes pour diverses qualités biologiques, maillons forts et à la fois fragiles de la chaîne alimentaire. Leur appareil digestif se calque à la qualité de leur habitat ce qui fait d'eux de bons indicateurs du milieu. La variété de leurs branchies et leur adaptation à l'hydrodynamisme font partie de leurs caractéristiques majeures. Ils offrent ainsi une variété de choix d'étude durant leur cycle de vie et constituent par cette qualité d'excellents entraînements pour l'hydrobiologiste non avertis.

Elouard et al. (2001) affirment qu'une importante disparition des Éphémères des rivières conduirait à la perturbation de toute la structure des peuplements benthiques et plus encore les chaînes trophiques, car étant donné que ces insectes sont d'importants maillons de la chaîne trophique ayant un rôle non négligeable dans la décomposition et la transformation des nutriments ou comme proies pour des prédateurs. Dans la plupart des cas, leur sensibilité aux perturbations du milieu et notamment aux pollutions leur confère une propriété de bioindicateurs. Adultes, ils sont considérés comme des éléments du plancton aérien et jouent à ce titre un rôle important pour le réseau trophique (www.opie-benthos.fr).

1.1 Classification

Les Ephéméroptères font partie des insectes ailés (Ptérygotes), communément appelés « éphémères » ou « mouches de mai » ou « mannes » au Québec, les Éphémères sont des Insectes hétérométaboles i.e. Ils ont une métamorphose progressive et les larves ont des caractères proches de ceux des adultes. Ils sont aussi appelés hémimétaboles en raison de l'existence de deux stades ailés succédant à la vie larvaire constituant l'ordre le plus primitif des Insectes ailés (Meritt & Cummins, 1988). Ils sont de petite taille et très fragiles, en étant larves, elles sont reconnues grâce à leurs branchies abdominales.

Ils constituent un ordre homogène très largement répandu de par le monde (Brittain & Sartori, 2003 ; Barber-James et al., 2008 ; Blais et al., 2016). Selon les dernières estimations de Sartori & Brittain (2015), cet ordre comprend environ 3330 espèces appartenant à plus de 440 genres et 40 familles. Cependant, selon les

mêmes auteurs, le nombre d'espèces pourrait être enrichi de 1000 autres espèces qui sont en attente d'identification.

Apparus dès le Carbonifère, il y a quelques 380 à 280 millions d'années, ces insectes sont archaïques car leur évolution s'est freinée même stoppée depuis plus de 120 millions d'années et ce, au moins aux niveaux supra spécifiques (Elouard et al., 2001). Selon les mêmes auteurs, cet Ordre a été fortement diversifié durant l'aire gondwanienne et s'en est graduellement appauvri, d'où la formation d'un arbre évolutif à plusieurs rameaux constitués d'un petit nombre de taxons. D'après Brittain & Sartori (2003), des données du Permien confirment que cet ordre a déjà été présent à la fin du Paléozoïque, atteignant sa plus haute diversité durant le Mésozoïque, principalement dans le Jurassique et le Crétacé.

1.1.1 Classification taxonomique classique

Selon Elouard et al. (2001), la systématique des Éphéméroptères se réfère uniquement à la morphologie, l'identification des larves s'appuyant sur la forme des pièces buccales, sur l'arrangement des soies sur les pattes (chétotaxie) et sur la structure des branchies. Ces caractères surtout observés chez les Baetidae, les Leptophlebiidae et les Heptageniidae, sont moins évidents chez les Ephemeroidea et les Oligoneuriidae. L'Ordre Ephemeroptera (Hyatt & Arms, 1891) se présente selon la classification complète qui apparaît comme suit (<https://inpn.mnhn.fr/>) :

Règne : Animal

Sous-Règne : Eumetazoa Bütschli, 1910

- **Clade** : Bilateria Haeckel, 1874
 - **Infra-Règne** : Protostomia Grobben, 1908
 - **Clade** : Cuticulata
 - **Clade** : Ecdysozoa Aguinaldo, Turbeville, Linford, Rivera, Garey, Raff & Lake, 1997
 - **Clade** : Panarthropoda Nielsen, 1995
 - **Phylum** : Arthropoda Latreille, 1829
 - **Sous-Phylum** : Pancrustacea Zrzavý & Štys, 1997
 - **Infra-Phylum** : Altocrustacea Regier, Schultz, Zwick, Hussey, Ball, Wetzer, Martin & Cunningham, 2010
 - **Classe** : Hexapoda Blainville, 1816
 - **Sous-Classe** : Insecta Linnaeus, 1758
 - **Infra-Classe** : Dicondylia Hennig, 1953
 - **Infra-Classe** : Pterygota Brauer, 1885
 - **Clade** : Palaeoptera Martynov, 1923
 - **Ordre** : Ephemeroptera Hyatt & Arms, 1890

La première classification des Ephéméroptères (Tab. 1) établie par McCafferty & Edmunds (1979) regroupe les Schistonota (larves de ce sous-ordre plus primitif comprennent les formes aux larves dont les fourreaux alaires sont disjoints ou libres) et les Pannota (Sous-ordre plus évolué avec des fourreaux alaires fusionnés s'étendant vers l'arrière pour former un bouclier de protection, partiel ou total).

Tableau 1 : Première classification des Epheméroptères selon McCafferty & Edmunds (1979).

| Classification | Nom |
|--------------------|---|
| Embranchement | Arthropoda |
| Sous-embranchement | Hexapoda |
| Super Classe | Tracheata |
| Classe | Insecta |
| Sous-classe | Pterygota |
| Infra-classe | Paleoptera |
| Ordre | Ephemeroptera |
| Sous-ordre | Schistonota |
| Super-famille | Famille |
| Baetoidea | Siphonuridae, Baetidae, Amelitidae, Acanthametropodidae, Siphlaenigmatidae, Nesameletidae, Oniscigastridae, Rallidentidae, Ameletopsidae, Ametropodidae |
| Heptagenioidea | Coloburiscidae, Oligoneuriidae, Isonychiidae, Heptageniidae |
| Leptophlebioidea | Leptophlebiidae |
| Ephemeroidea | Behningiidae, Potamanthidae, Euthyplociidae, Polymitarcyidae, Ephemeridae, Palingeniidae |
| Sous-ordre | Pannota |
| Super-famille | Famille |
| Ephemerelloidea | Ephemerellidae, Teloganodidae, Melanemerellidae, Austremerellidae, Vietnamellidae, Machadorythidae, Tricorythidae, Leptohiphidae, Philolimniidae |
| Caenoidea | Neophemeridae, Baetiscidae, Caenidae, Prosopistomatidae |

1.1.2 Classification phylogénétique/cladistique

1.1.2.1 Notions de base

La phylogénie est l'étude des relations évolutives entre êtres vivants, elle étudie les relations de parenté entre les taxons et représente sous forme d'arbre le résultat de ces relations. Ces relations de parenté sont définies selon le sens des transformations évolutives (i.e. dans le temps) des caractères phénotypiques ou même génotypiques des taxons.

La classification phylogénétique ou cladistique est un système de classification des êtres vivants qui s'appuie sur la phylogénie. Elle suit le sens des transformations évolutives des caractères. Les critères de classification sont la monophylie, la paraphylie et la polyphylie (Fig. 1). Un groupe monophylétique comprend un ancêtre et tous ses descendants ; un groupe paraphylétique comprend un ancêtre et une partie de ses descendants ; un groupe polyphylétique comprend des membres sans ancêtres pris en compte.

Le clade est un groupe monophylétique qui comprend un organisme appelé l'ancêtre et la totalité de ses descendants. C'est l'unité de base de la classification phylogénétique (Fig. 2).

Le lignage est l'ensemble des descendants d'un ancêtre commun qui se situent tout le long des branches des arbres phylogénétiques (Fig. 2). Un clade est donc un ensemble synchronique et monophylétique de

représentants du lignage, ce dernier étant un lien diachronique ancêtre-descendant (Mishler & Wilkins, 2018). L'arbre phylogénétique (Fig. 3) est un graphe non cyclique constitué de plusieurs nœuds qui sont les unités taxonomiques évolutives, ces nœuds sont reliés entre eux par des branches. Les nœuds internes forment les ancêtres hypothétiques qui permettent l'interprétation de l'arbre. Le bootstrap est une méthode qui nous permet d'analyser la robustesse de ces nœuds en conséquence de notre arbre et ce, après une opération de répétition de la reconstruction phylogénétique (jusqu'à 1000 fois ou plus) à fin d'obtenir une valeur de bootstrap (de 0 à 100%) qui consiste au nombre de fois où une branche a été retrouvée au même endroit ou pas au fil des répétitions, quand cette valeur est supérieure à 70%, la fiabilité de la reconstruction devient plus crédible.

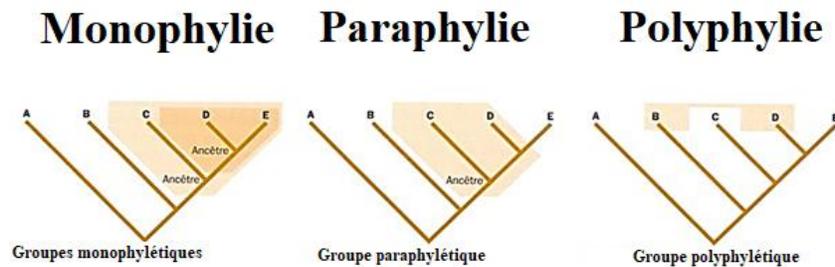


Figure 1: Critères de classification des groupes phylogénétiques (<https://slideplayer.fr/slide/10296681/>)

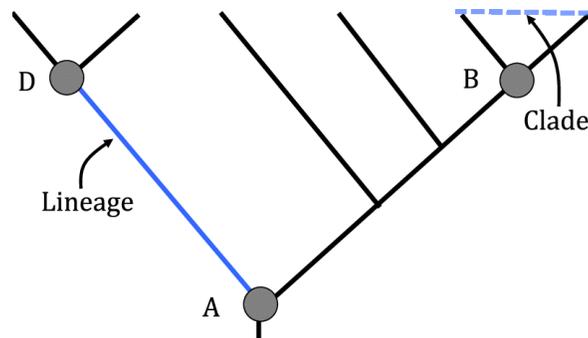


Figure 2: Différence entre le lignage ou lineage en anglais et le clade (Mishler & Wilkins, 2018)

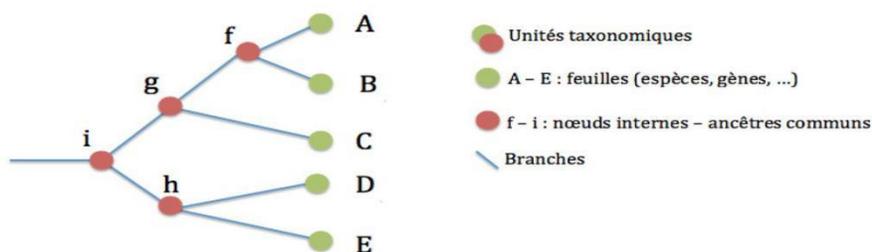


Figure 3: Structure d'un arbre phylogénétique (<https://zestedesavoir.com/articles/223/les-arbres-phylogenetiques/>)

1.1.2.2 Haute classification des Ephéméroptères

D'après Brittain & Sartori (2003), l'ordre des Ephéméroptères s'est dernièrement élargi non seulement grâce à la découverte de nouveaux taxons surtout en régions tropicales mais aussi grâce aux analyses phylogénétiques qui ont eu pour résultat un concept plus étroit des « taxons supraspécifiques » en d'autres termes le nombre de genres a considérablement augmenté par splitting des groupes d'espèces.

Dans la sous-classe des Insectes Pterygota, il existe deux infra-classes ; celle des Neoptera dont les ailes peuvent se replier en arrière, soit à plat, soit en forme de toit sur l'abdomen, et celle des Paleoptera, qui sont les insectes les plus évolués, dont les ailes antérieures peuvent servir d'étui aux ailes postérieures, qui sont élargies à la base et ne se replient pas sur l'abdomen.

Les Ephéméroptères ont été considérés par Beutel & Gorb (2001) comme étant probablement un groupe paraphylétique comme tous les autres Ptérygotes (insectes ailés). Ils sont inclus dans le clade Paleoptera, groupe frère de Neoptera (Blanke et al., 2013; Thomas et al., 2013). Néanmoins, une hypothèse récente les considère comme étant le groupe frère des Odonata + Neoptera et ce, à l'aval des caractéristiques uniques aux éphémères, tels que la présence du stade subimaginal, la non fonctionnalité des pièces buccales de l'adulte et la présence d'une seule plaque axillaire dans l'articulation de l'aile, même si des données moléculaires et anatomiques (e.g. les femelles présentent des ovarioles meroïstiques télotrophiques au lieu des ovarioles panoïstiques que l'on retrouve chez les Odonates) renchérissent cette hypothèse (Brittain & Sartori, 2003 ; Sartori & Brittain, 2015).

Les ovarioles méroïstiques télotrophiques présentent des cellules nourricières qui restent dans le germanium (région de l'ovariole qui contient les cellules germinales primordiales qui donneront les ovocytes, les cellules nourricières et les cellules folliculaires) et émettent des prolongements qui accompagnent les ovocytes dans leur descente. Alors que les ovarioles panoïstiques ne possèdent pas de trophocytes (cellule nourrissant une autre cellule) mais uniquement l'assise folliculaire qui alimente les ovocytes. Il existe en vérité trois hypothèses de positionnement et de branchements entre les Ephemeroptera, les Odonata et les Neoptera, résumées dans la figure 4.

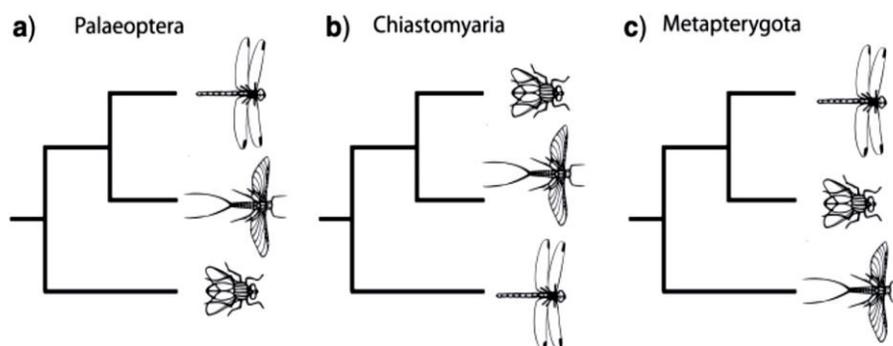


Figure 4: Les trois hypothèses de division au sein des Pterygota (Thomas et al., 2013).

1.1.2.3 Position taxonomique

- Pancrustacea
- Insecta
 - Archaeognatha
 - Dicondylia
 - Thysanura
 - Pterygota
 - Odonata
 - Ephemeroptera
 - Neoptera

Sur la base des attributs morphologiques, les relations phylogénétiques des Epheméroptères n'ont cessé de connaître des réarrangements (Tab. 2). En effet, les travaux de McCafferty & Edmunds (1979) ont scindé les Epheméroptères en deux sous-ordres (avec un bémol sur le fait que les Schistonotes sont paraphylétiques alors que ce clade est le plus large (Kluge, 2004 ; Sartori & Brittain, 2015). D'autres recherches ont suivies apportant des modifications. Ainsi Kluge (1989) a réorganisé l'ordre en créant le sous-ordre des Furcatergalia, monophylétique, il regroupe les Pannotes et une partie des Schistonotes qui se caractérisent par des taxons au corps cylindrique avec des yeux latéraux et des Costatergalia paraphylétique. Ceci a constitué une autre problématique vu que les deux sous-ordres avaient à peu près le même nombre d'espèces. McCafferty (1991) a fractionné les Costatergalia en deux taxons les Pisciforma et les Setisura en plus des Furcatergalia qu'il a désignés comme groupe plus au moins égal à celui des Rectracheata.

Le terme Pisciforma désigne un taxon avec un corps cylindrique, des branchies dorsales simples et des cerques avec soies alors que le terme Setisura concerne un taxon à aplatissement dorso-ventral avec un mésothorax important, un positionnement des yeux dorsal ou dorso-latéral, des branchies ventrales doubles comprenant une lamelle et des filaments ainsi que trois filaments caudaux. Enfin, après des erreurs repérées sur l'appartenance de quelques espèces aux sous-ordres établis par notamment McCafferty (1991), Kluge (1992-1998) a défini deux sous-ordres : les Bidentiseta et les Tridentiseta (les Bidentiseta ont des maxilles avec 2 soies dentées à la place de 3 chez les Tridentisera) (Tab. 2).

Tableau 2: Version simplifié de Kluge (2004) de la haute classification des Ephemeroptères (de 1979 à 1998). Les taxons en caractères gras sont paraphylétiques.

| Phylogeny | Ranking names of 6 taxa which include most part of Ephemeroptera | General classification of Ephemeroptera by: | | | |
|-----------|--|---|----------------------|-------------------|---------------------|
| | | McCafferty & Edmunds 1979 | Kluge 1989 | McCafferty 1991 | Kluge 1992–1998 |
| | Baetis/fg | Schistonota | Costatergalia | Pisciforma | Tridentiseta |
| | Heptagenia/fl=Oligoneuria/g1 | | | Setisura | Bidentiseta |
| | Leptophlebia/fg1 | | Furcatergalia | Rectracheata | |
| | Ephemera/fg | Pannota | | | |
| | Caenis/fl=Brachycercus/g1 | | | | |
| | Ephemerella/fg1 | | | | |

Enfin, l'analyse comparative des systèmes phylogénétiques de Kluge (2004) et de McCafferty (1991) faite par Ogden & Whiting (2005) (Fig. 5), a apporté des changements supplémentaires en divisant les éphémères en 4 principaux lignages :

- Carapacea (McCafferty) ou bien Posteritorna (Kluge); Carapacea car ce taxon possède un développement mésonotal au stade larvaire et Posteritorna en raison de la position de la veine anale sur l'aile antérieure ;
- Furcatergalia;
- Setisura;
- Pisciforma (McCafferty) ou bien Tridentiseta (Kluge).

Les relations entre et dans ces lignages restent très différentes d'un système à l'autre (Ogden & Whiting, 2005 ; Barber-James et al., 2008).

Actuellement, sur la base des reconstructions biomoléculaires des éphémères (Ogden & Whiting, 2005 ; Ogden et al., 2009), de grands changements de combinaisons des rattachements phylogénétiques des sous-ordres ont remis en question les versions de reconstructions morphologiques, en effet, sur la figure 6, on peut observer l'exemple du sous-Ordre des Carapacea/Posteritorna, ce dernier regroupe la Famille des Baetiscidae et celle des Prosopistomatidae n'est pas basale comme l'ont signalé les travaux McCafferty et Kluge mais plutôt greffé avec la Famille des Oligoneuriidae à la base des Furcatergalia.

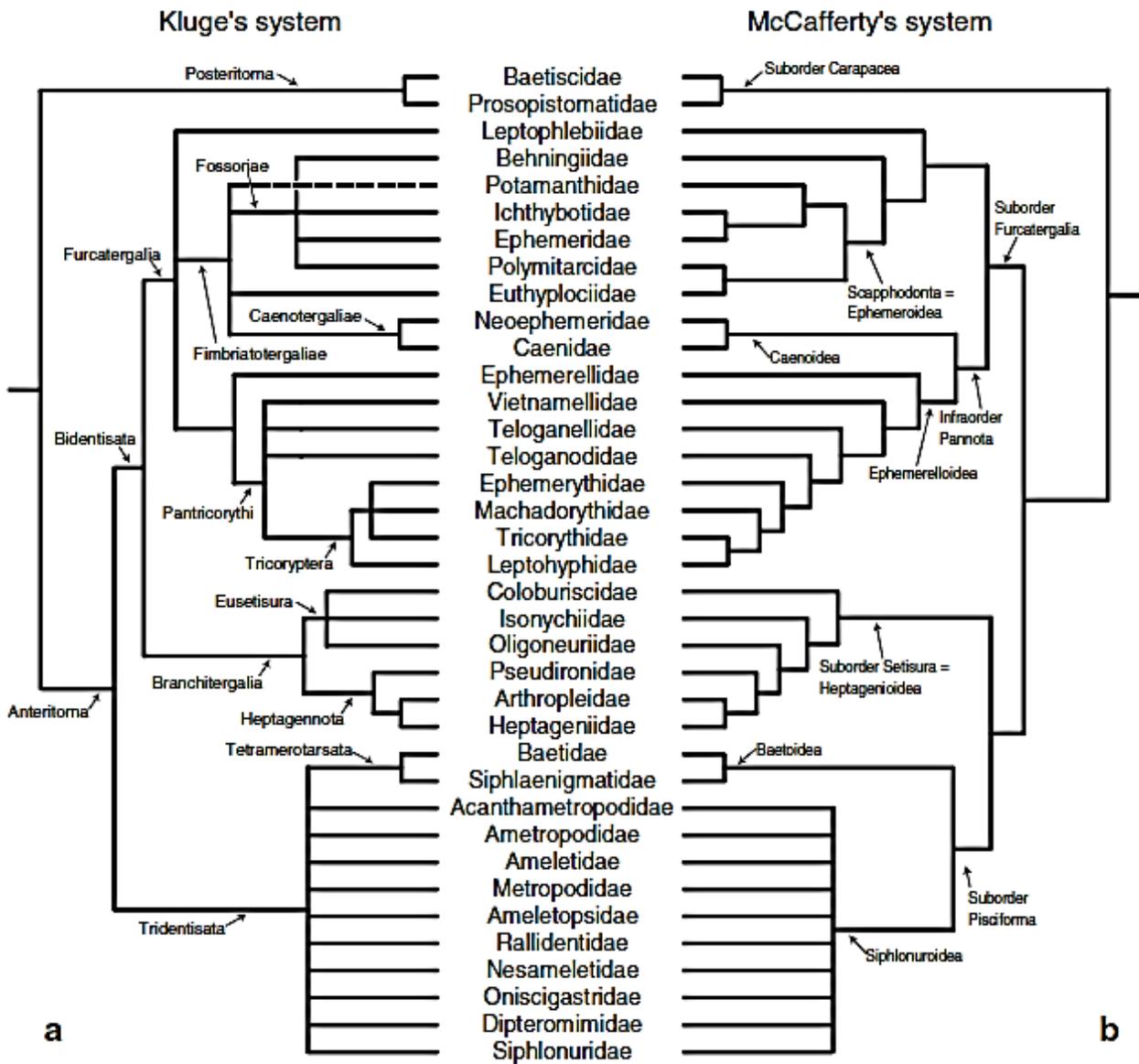


Figure 5: Comparaison entre les reconstructions phylogénétiques établies par Kluge (a) et McCafferty (b) tirée par Barber-James et al. (2008) d'Ogden & Whiting (2005).

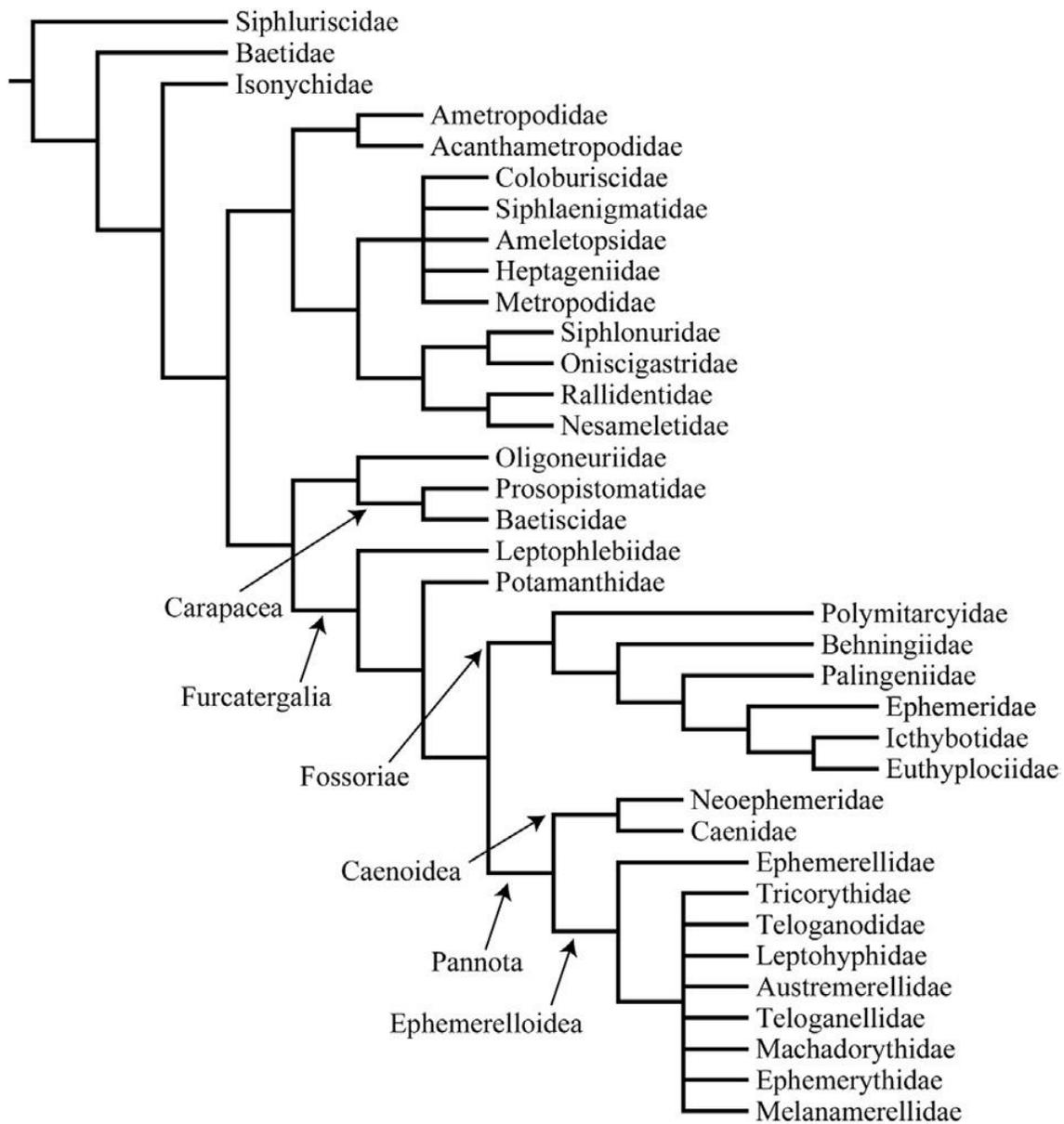


Figure 6: Relations phylogénétiques entre les familles d’Ephéméroptères existantes. Les nœuds portent les noms des sous-Ordres déjà établis (Ogden et al., 2009).

1.2 Cycle biologique et morphologie

Le cycle biologique des Ephéméroptères regroupe quatre stades : deux aquatiques (l’œuf et la larve) et deux aériens (Le subimago et l’imago) où certains Ephéméroptères vivent seulement quelques heures d’où leur nom (éphémères), néanmoins d’autres vivent plusieurs jours. Le stade larvaire dure plus longtemps (allant de trois à quatre semaines à plus de deux ans (Hyatt & Arms, 1891). La respiration est assurée par les trachéobranchies et les larves sont exoptérygotes i.e. les ébauches alaires sont externes (Blais et al., 2016).

D'après certains auteurs (Landa, 1968 ; Sowa, 1975a ; Macan, 1979 ; Clifford, 1981), le cycle de vie des éphémères répond à certains critères qui sont pour la plupart une combinaison du voltinisme (univoltisme, multivoltine, rarement le semivoltisme), la durée de développement des œufs et les taux de croissance larvaire, sachant que la saisonnalité cycles est de plus en plus nette dans les régions montagneuses et continentales (Brittain & Sartori, 2003).

Brittain (1982) affirme que la variabilité et la souplesse des cycles de vie des éphémères sont une conséquence des taux de croissance larvaire dont la température est le principal régulateur, la nourriture et de la vitesse du courant pouvant également exercer une influence sur la modification de ces taux.

1.2.1 L'œuf

La majorité des espèces d'Ephéméroptère fabriquent entre 500 et 3000 œufs, les valeurs peuvent varier de moins de 100 œufs pour *Dolania* de la famille des Behningiidae à 12.000 œufs pour le genre *Palingenia* de la famille des Palingeniidae (Brittain & Sartori, 2003).

Dans l'eau, la vie de l'éphémère commence par un œuf. Ce dernier se présente en différentes structures de fixation servant à adhérer au substrat ou à tout autre support. La morphologie des œufs, étant changeante, a fait l'office de clés d'identification fiables et complémentaires des autres clés (larve) (Brittain, 1982 ; Gattolliat, 2002 ; Brittain & Sartori, 2003). La forme des œufs varie d'une forme ovoïde à à-peu-près rectangulaire (Fig. 7) et la longueur est globalement comprise entre 150 et 200 μm (Brittain, 1982).

Selon Brittain & Sartori (2003), à l'exception de quelques espèces ovovivipares comme chez certains Baetidae, la durée de la période de développement des œufs varie d'une semaine à près d'un an, l'éclosion se produit, en général, à des températures allant de 3°C à 21°C, sa réussite peut être de plus de 90% chez plusieurs espèces *Baetis* et *Hexagenia* ou à moins de 50% pour les Heptageniidae, cependant, dans le cas de l'ovoviviparité, la durée du développement des œufs varie en fonction de celle l'ovoviviparité (e.g. jusqu'à 11mois pour certaines espèces alpines).L'éclosion de l'œuf peut s'effectuer directement après la ponte ou de façon différée de celle-ci (www.opie-benthos.fr).

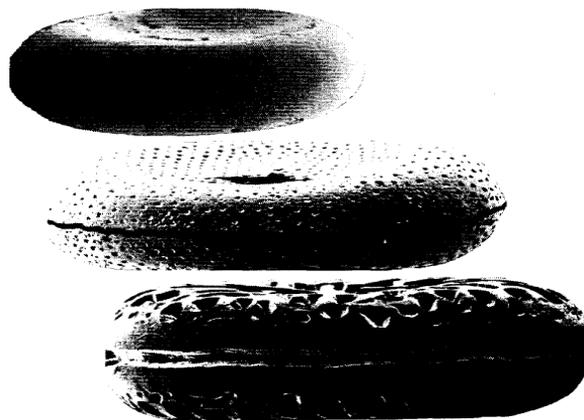


Figure 7 : Œufs de différentes espèces de Polymitarcyidae (Elouard et al., 2001).

1.2.2 La larve

Dans le milieu aquatique, l'éphémère peut être appelé larve au cours des premiers stades de développement, dès l'apparition des fourreaux alaires, on peut passer au terme de nymphe (Kluge, 2004), appelé aussi naïade ou patache, elle se distingue par les branchies sur l'abdomen, les deux cerques et paracercue qui peut être rétréci ou absent (Fig. 8). Le corps divisé en trois parties se caractérise par :

La tête : la disposition de la tête de la larve par rapport à l'abdomen fait ressortir trois types de larves : prognathe (son axe principal est dans celui du corps), orthognathe (son axe principal est perpendiculaire à l'axe du corps) ou rarement hypognathe (les pièces buccales sont dirigées vers l'arrière) (Elouard et al., 2001). Elle est dotée de deux yeux composés et situés soit latéralement ou dorsalement près de la marge postéro-latérale de la tête.

Il existe un dimorphisme sexuel qui sépare les mâles avec des yeux nettement plus grands que ceux des femelles (Gattolliat, 2002), les yeux sont aussi accompagnés de trois ocelles, en dessous des yeux, on trouve deux antennes. Elles peuvent mesurer la moitié ou plus du double de la capsule céphalique, elles sont composées, de la base vers l'apex, du scape, du pédicelle et du flagelle. Les pièces buccales (Fig. 9), généralement de type broyeur, sont disposées sous cette dernière (Elouard et al., 2001). Elles sont formées par une première pièce buccale frontale qui forme une lèvre supérieure appelée aussi labre sous laquelle sont imbriquées des mandibules asymétriques sur lesquelles se positionnent, de l'apex vers l'intérieur, les incisives, la prostheca et la mola, puis des maxilles symétriques, chacune peut présenter des couronnes munies de soies et d'autres structures diverses (e.g. peignes chez les Heptageniidae) ainsi que d'un palpe maxillaire segmenté (deux ou trois segments). Au milieu, on retrouve l'hypopharynx formé par la lingua et la superlingua arrangée de part et d'autres de la première, et enfin, du labium ou lèvre inférieure qui comprend des glosses et des paraglosses portés sur un mentum (Gattolliat, 2002).

Le thorax : il se compose d'un prothorax très étroit, d'un large mésothorax et d'un métathorax moyennement développé. Les trois paires de pattes thoraciques dont les tarse sont entiers munis d'une griffe unique, chaque patte est constituée par un coxa, un trochanter, un fémur, un tibia et un tarse. Les ptérothèques ou fourreaux alaires sont portées sur le mésothorax et le métathorax ; celles du mésothorax pouvant être très développées ; elles peuvent être carrément jointes au centre chez les Pannotes (e.g. : Caenidae, Prosopistomatidae). Plus la larve est proche de sa maturité, plus ces fourreaux alaires s'allongent et s'assombrissent à l'approche de l'émergence (Elouard et al., 2001).

L'abdomen : il est constitué de dix segments formés dorsalement par les tergites et ventralement par les sternites dont le dernier constitue les deux paraprotectes, les tergites portent dans certains cas des épines ou des tubercules. La forme des angles postéro-latéraux comme celle de la marge distale des tergites peut constituer un caractère taxonomique et donc un moyen d'identification (Elouard et al., 2001).

Des trachéobranchies à rôle respiratoire ou même pulsatoire peuvent être insérées de part et d'autre des tergites de certains segments abdominaux soit de façon dorsale ou ventrale ou comme chez un bon nombre d'éphémères de façon latérale, dans ce cas-là, elles sont généralement au nombre de sept paires situées sur les 7 premiers unités quand elles ne sont pas absentes sur le premier segment ou les deux derniers. Encore une fois, les branchies sont aussi un outil de détermination de par leur nombre (simples ou doubles) et leur forme (e.g. lamelles, ramifiées, frangées... etc) (Elouard et al., 2001).

Les cerques, sont insérées dans le dixième segment abdominal, courtes ou bien plus longues que le corps, elles peuvent porter des épines ou de longues soies, elles sont au nombre de deux, symétriques et s'insèrent en général au milieu un paracercue appelé aussi filament caudal quand il n'est pas insignifiant (Elouard et al., 2001).

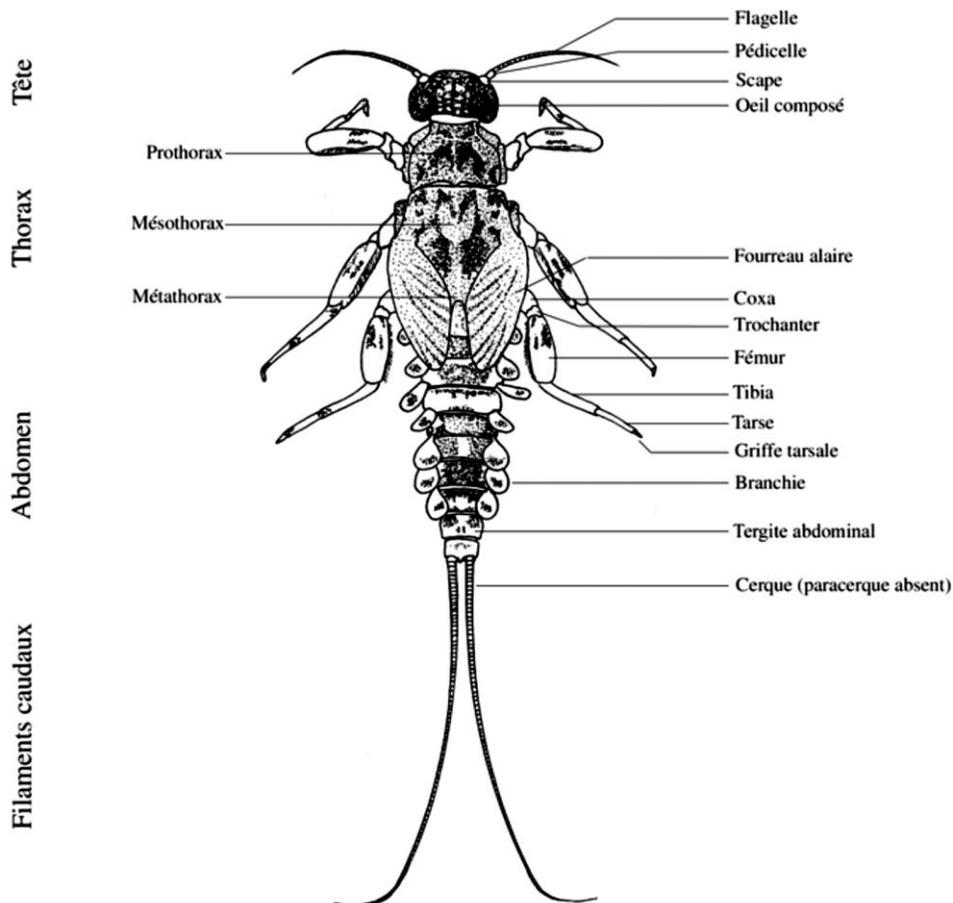


Figure 8: Morphologie d'une larve d'Ephéméroptères (Baetidae, face dorsale) (Gattolliat, 2002).

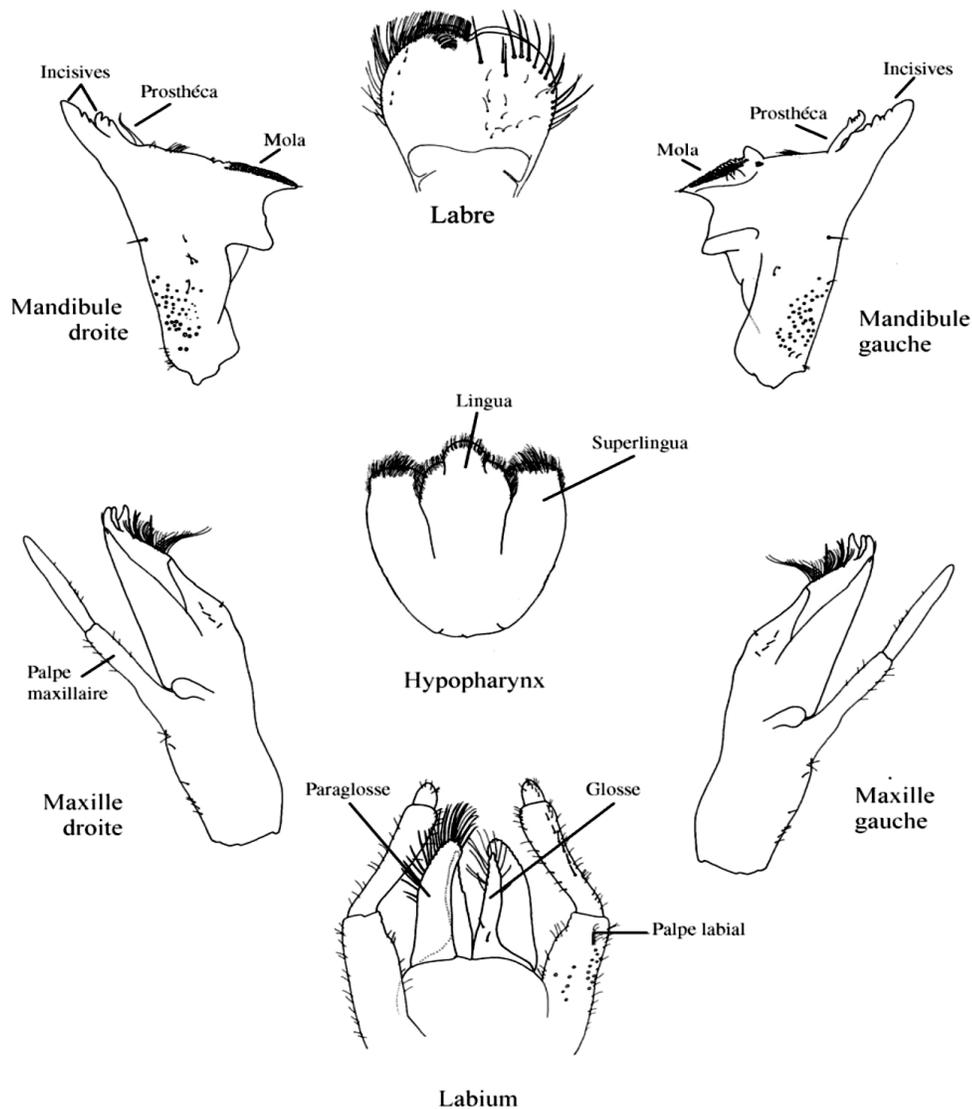


Figure 9: Exemple de pièces buccales d’Éphéméroptères – Baetidae (Gattolliat, 2002).

1.2.3 La croissance larvaire

Elle varie d’une espèce à une autre, elle est, en général, régulière et lente, elle peut être exponentielle après une diapause, la durée de la vie larvaire varie de trois à quatre semaines ou d’une à trois années (Brittain, 1982).

Après l’éclosion, la jeune larve d’éphémère entame une succession de mues qui sont estimées entre 10 et 50 stades et en général, on retrouve 15 à 25 stades. Ce nombre peut être différent au sein d’un groupe de la même espèce et dépend des conditions environnementales. La température est le premier facteur déterminant notamment chez les espèces polyvoltines (espèce ayant un à deux cycles estivaux plus courts),

il peut aussi s'agir de la qualité des aliments (Elouard et al., 2001). En général, à la fin du stade larvaire, la spermatogenèse et l'ovogenèse sont déjà accomplis (Brinck, 1957 ; Soldán, 1979 ; Brittain & Sartori, 2003). En corrélation avec les basses températures, les taux de croissance hivernales pour la majorité des éphémères sont très faibles, de plus, les températures estivales trop élevées sont parfois inhibitrices de la croissance (Brittain, 1982).

A un moment ou un autre de leur vie larvaire, les éphémères effectuent des mouvements qui sont soit aléatoires ou directionnels, quotidiens ou saisonniers (Brittain, 1982). Au cours des derniers stades de la vie larvaire, les larves se déplacent et se concentrent dans les zones peu profondes des lacs et des rivières (Brittain & Sartori, 2003). A l'approche de l'émergence les larves se placent et se concentrent dans le fond du cours d'eau. Ses mouvements sont parfois un rythme quotidien (Campbell, 1980) ou sont aussi observés en période de crues (refuge) (Poole & Stewart, 1976). Le phénomène de dérive peut être apprécié chez Les éphémères ; surtout chez les Baetidae, ils présentent une forte périodicité nyctémérale, avec un pic pendant les heures d'obscurité (Elliott, 1967 ; Cloud & Steward, 1974 ; Allan, 1978). Cette dérive est reliée à plusieurs facteurs à savoir les changements dans la vitesse et de l'écoulement et du courant, l'augmentation de la charge de sédiments, les changements de température, les conditions de concentrations de l'oxygène, la densité, la disponibilité des aliments et les prédateurs.

La dérive peut s'agir de mécanismes compensatoires à la réduction des populations des œufs et des larves en amont des cours d'eau (Brittain, 1982), elle pourrait bien être tout simplement une méthode de réduction de la concurrence qui est liée à la densité de populations benthiques (Gyselman, 1980).

1.2.4 L'adulte

À la fin de sa vie aquatique, la larve d'éphémère effectue un dernier mouvement ascendant (seule ou sur un support) vers la surface de l'eau pour émerger. La transformation de la nymphe en subimago (=stade adulte intermédiaire) s'effectue à l'instant même de sa sortie de l'eau ou encore comme pour certains genres (*Siphonurus*, *Isonychia* et *Baetisca*) dont la nymphe rampe complètement hors de l'eau avant de muer (Brittain & Sartori, 2003) (Fig. 10).

Quittant, le milieu aquatique l'éphémère se transforme en subimago ailé au vol lourd qui se pose, généralement, sur la végétation riveraine afin de muer vers l'adulte final 'l'imago' (Fig.10) (www.opie-benthos.fr) résultant d'une desquamation de l'épiderme du subimago qui fait la singularité des Ephéméroptères parmi tous les Insectes Ptérygotes (Brittain & Sartori, 2003). Et donc, la vie adulte comporte donc deux stades, un premier intermédiaire qui est le « subimago » et qui ressemble beaucoup à l'adulte ultime « l'imago ». En général, les adultes éphémères vivent un à deux jours, seules les espèces ovovivipares peuvent vivre jusqu'à 14 jours (Brittain, 1982).

En 1891, Hyatt & Arms supposaient déjà que plusieurs caractères morphologiques des Ephéméroptères indiquaient une origine très primitive :

- la nervation simple des ailes des adultes ;
- le développement lent qui s'effectue en plusieurs mues de l'adulte et d'où la forte ressemblance entre la larvule, la larve et l'adulte ;
- les stylets à l'extrémité de l'abdomen ;
- la paire d'ouverture externe des organes de reproduction.

Ces mêmes auteurs affirment aussi que l'unique fonction de l'adulte est donc la reproduction des espèces et que les éphémères ont atteint un stade de spécialisation extrême par réduction et ce, en se débarrassant de la fonctionnalité de leurs pièces buccales. Ils ajoutent que certains taxons, comme chez les Caenidae, Tricorythidae, Baetidae et certains Leptophlebiidae, l'aile postérieure étant atrophiée chez l'un des sexes ou les deux; ils n'ont donc qu'une seule paire d'ailes arrivant ainsi à imiter les Diptères.

En parlant de leur similitude avec d'autres espèces, Blais & al., (2016) attestent que les Ephéméroptères sont de proches parents des Odonates et parmi les caractères partagés, il y a les ailes qui ne se replient pas au repos sur le corps et restent jointes en position verticale. Brittain & Sartori (2003) avancent qu'il a suggéré que le caractère primitif des Ephéméroptères a perduré grâce à l'absence d'une pression sélective sur les stades de courtes durées pour produire une seule mue, ou alors, la nécessité d'avoir deux mues pour achever l'allongement des filaments caudaux et des pattes antérieures des adultes.

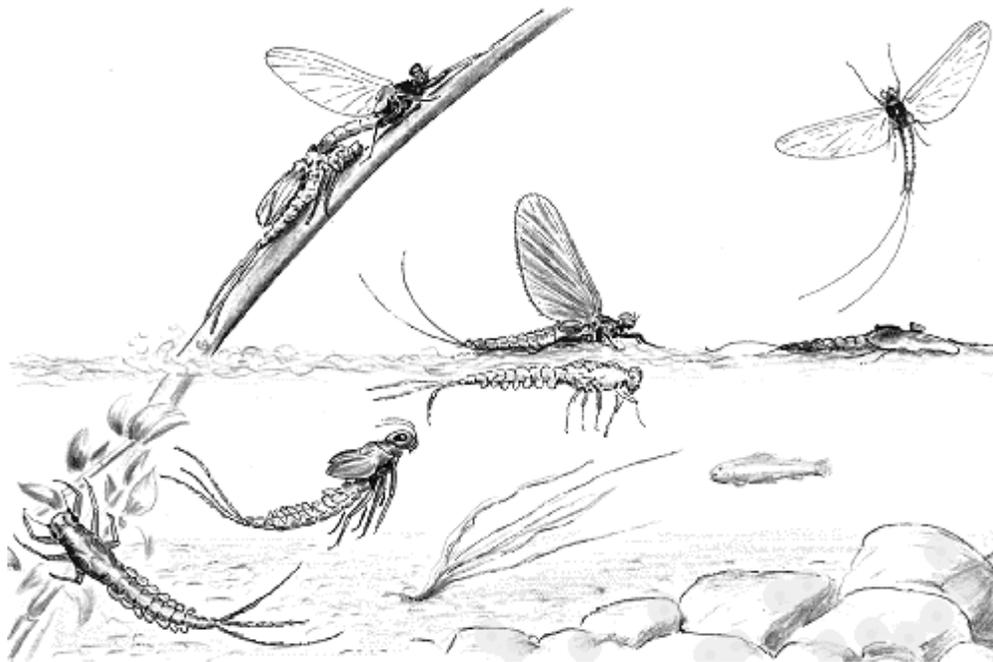


Figure 10 : Cycle de la larve à l'imago (<http://lesmoucheursnantais.free.fr>)

L'apparence comme les habitudes des Ephéméroptères adultes ne diffèrent pas beaucoup comme chez les larves (Brittain & Sartori, 2003). Cependant, Kluge (2004) affirme que la morphologie des stades aériens

diffère nettement de celle de l'aquatique dans les structures de la tête, de du thorax, des pattes et des filaments caudaux en plus de l'acquisition d'ailes fonctionnelles et de pertes de certains tergites. Ce sont des insectes ailés élancés, de taille petite à moyenne, au corps allongé et mou pouvant mesurer de 1 à 4cm terminé par deux ou trois cerques, avec une tête petite, triangulaire et peu mobile portant des antennes très courtes, deux grands yeux composés et trois ocelles ; quand elle ne porte pas de yeux en turban chez les mâles des Baetidae et des Leptophlebiidae ; ainsi que les pièces buccales atrophiées, les pattes antérieures des mâles sont plus longues que celles des femelles arborant des forceps (les gonopodes) à l'extrémité anale de l'abdomen qui permettent l'accouplement, les ailes sont membraneuses et à nervures nombreuses, elles rassemblent une paire d'ailes grandes et une paire d'ailes postérieures très réduite qui peuvent être absentes (Blais & al., 2016).

◆ **Subimago** : C'est un stade aérien transitoire ; sa durée de vie est le plus souvent que de quelques heures (Hyatt & Arms, 1891). A ce stade, les ovules et les spermatozoïdes sont physiologiquement matures (Brittain & Sartori, 2003). La mue se fait par desquamation partielle ou totale de la subimago et par apparition des organes génitaux afin de permettre l'accouplement, les soies sur les bords postérieurs des ailes chez certains Pannotes sont les seuls phanères qui puissent rester de la mue (Elouard & al., 2001). Pour un genre de la famille des Behningiidae (*Dolania*) et plusieurs autres des familles des Polymitarcyidae et des Palingeniidae, les femelles ne subissent pas de mue et restent au stade subimaginal (Peters & Peters, 1977 ; Brittain & Sartori, 2003).

◆ **Imago** (Fig. 11) : résultant de la mue de la subimago a une forte ressemblance avec cette dernière mais pas entière, outre la différence de coloration ou une décoloration d'un stade à l'autre, il y a, non seulement les appendices (pattes, ailes, genitalia) de l'imago qui gagnent un peu en volume; une perte de toute phanère et une nette différence dans la structure des ailes qui deviennent hyalines contrairement à celles souvent opaques et laiteuses de la subimago (Elouard et al., 2001).

La tête porte des antennes courtes et des yeux composés plus volumineux chez le mâle et même développés en turban (Fig. 11) chez les Baetidae et chez certains Leptophlebiidae, leur fonction est de fournir une excellente acuité et une bonne sensibilité afin de détecter et de capturer les femelles célibataires dans un essaim quand la lumière est faible (Brittain, 1982 ; Brittain & Sartori, 2003), les vestiges des pièces buccales ne sont pas fonctionnels d'où l'absence de tube digestif, l'adulte compte sur les réserves qu'il a accumulé durant sa vie larvaire pour subsister (Brittain, 1982).

Le thorax est composé d'un prothorax plutôt petit ; d'un mésothorax et d'un métathorax bien développés et fusionnés. Les pattes thoraciques détiennent un tarse formé par quatre ou cinq articles et un transtarse à deux griffes dont l'une est souvent modifiée en spatule. Elles peuvent être ; soit simplifiées (e.g. certaines

espèces ont une réduction du nombre d'articles du tarse), soit complètement atrophiées. Toutes les pattes des deux sexes sont réduites et de façon générale, les pattes antérieures des mâles sont exceptionnellement longues et ce, afin de saisir et maintenir la femelle pendant l'accouplement (Brittain, 1982 ; Brittain & Sartori, 2003).

Le mésothorax et le métathorax portent chacun une paire d'ailes avec la paire métathoracique, si présente, est toujours égale au plus à sa moitié de la paire mésothoracique. La nervation des ailes antérieures est plus riche et dense que celles des ailes postérieures où elle peut être réduite à quelques projections costales (Fig. 12).

Selon Elouard et al. (2001), la nervation longitudinale de base comporte, de l'avant vers l'arrière de l'aile se présente ainsi:

- Les nervures convexes :
 - La costale (C) ;
 - La radiale (R1) ;
 - La médiane antérieure (MA) ; qui se divise en deux branches : → (MA1, et MA2) ;
 - La cubitale antérieure (CuA) ;
 - Les anales (A1, A2,...).
- Les nervures concaves : qui sont en alternance avec les nervures convexes:
 - La sous-costale (SC) ;
 - La sous-radiale ou secteur radial (RS) ;
 - La médiane postérieure (MP) qui se divise en deux branches : → (MP1, et MP2) ;
 - La cubitale postérieure (CuP).

Selon les mêmes auteurs, cette structure principale est bien plus complexe car généralement, elle renferme un secteur radial constitué de nombreuses branches ainsi que des nervures intercalaires et des nervures sigmoïdales...etc, on retrouve également, des nervures transverses (ou nervules) assurent la connexion des nervures longitudinales entre elles, leur nombre semble diminuer chez les familles les plus évoluées jusqu'à s'annuler chez les Prosopistomatidae.

L'abdomen où on retrouve les dix segments abdominaux avec le dernier portant deux cerques éventuellement un paracerbe. Chez les mâles, les orifices génitaux sont situés à l'extrémité de deux évaginations des lobes péniens, ils sont soit indépendants soit fusionnés et sont ancrés entre les IXème et Xème sternites, la partie distale du IXème segment porte un styligère qui à son tour porte une paire de forceps (gonopodes) constituée d'une, deux ou trois articulations, l'ensemble styligère+gonopodes est

insérée en arrière de ces pénis (Fig. 13) (Elouard et al., 2001 ; Gattolliat, 2002). La forme et la structure des genitalia mâles sont eux aussi les critères fiables les plus utilisés en systématique (Elouard et al., 2001). Chez la femelle, l'orifice de ponte, qui situé entre les VIIème et VIIIème sternites abdominaux, peut être couvert ou pas par une plaque subgénitale (Fig. 13) (Sudemann et al., 1992 ; Elouard et al., 2001).

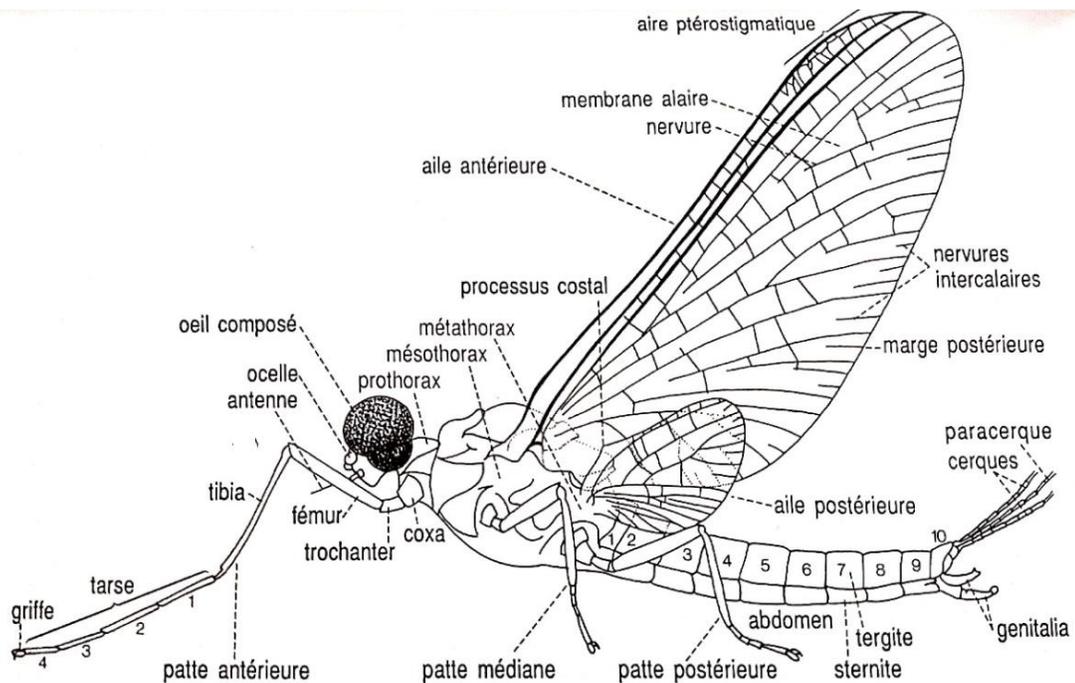
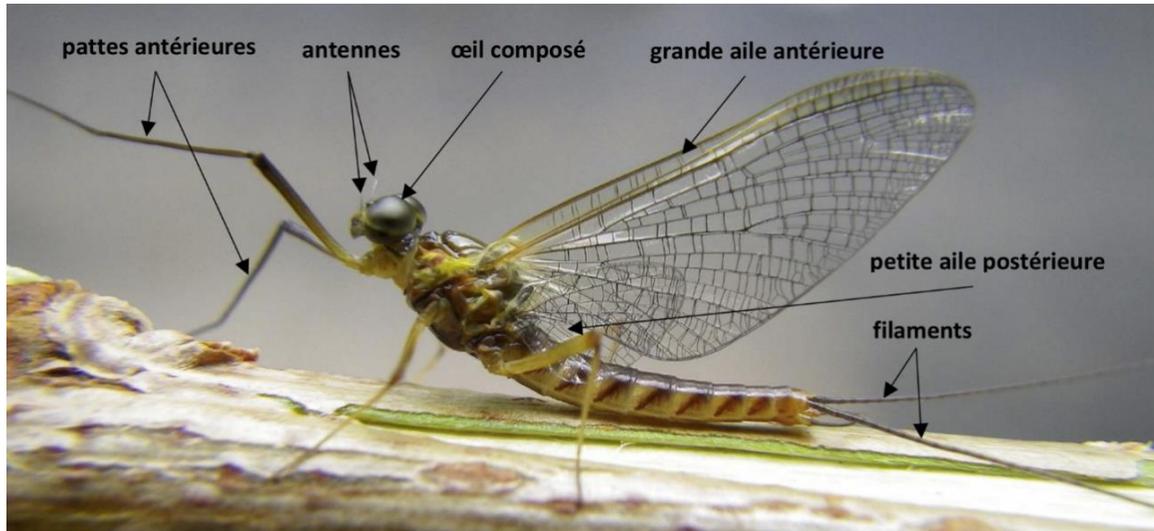


Figure 11: Morphologie d'un éphémère adulte.

Image du dessus : *Ecdyonurus dispar* imago mâle Michel brulin www.laccreteil.fr.
Image du dessous : Vue latérale d'un adulte d'*Ephemerella ignita* (Studemann et al., 1992).

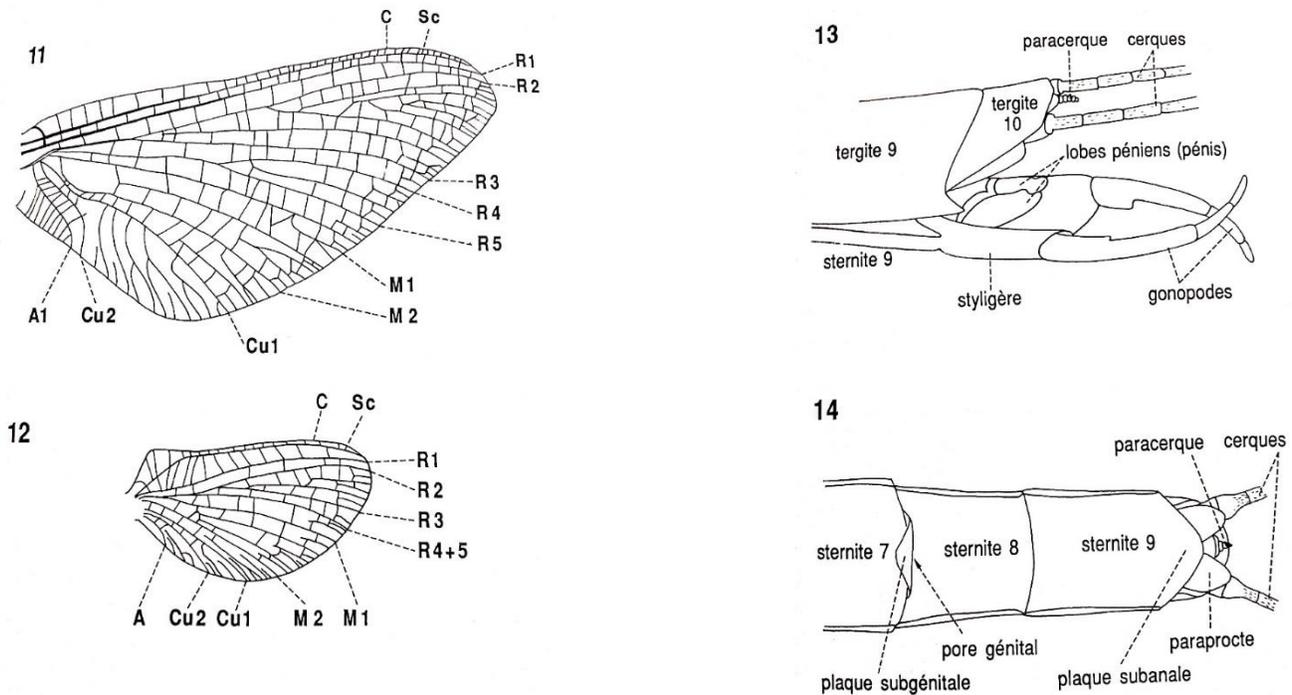


Figure 12: (A gauche) **Structure des ailes d’*Ephemera***. Aile antérieure (schéma en dessus). Aile postérieure (schéma en dessous). C= Costa, Sc= Subcosta, R= Radius, M= Média, Cu= Cubitus, A= nervure Anale (Studemann et al., 1992). (A droite) **Partie apicale de l’abdomen d’un *Siphonurus***. Mâle (vue latérale, schéma en dessus) et femelle (vue ventrale, schéma en dessous) (Studemann et al., 1992).

1.3 Biologie des espèces

1.3.1 Rythmes d’émergence

D’après les synthèses de Brittain & Sartori (2003) et de Sartori & Brittain (2015) sur la biologie des Epheméroptères, l’émergence des Epheméroptères répond à des rythmes nycthémeraux. L’émergence crépusculaire reste la plus courante dans les régions tempérées, dans la majorité des cas, les patterns nycthémeraux sont propres à une espèce, un genre ou une famille donnée, toutefois, ces rythmes d’émergence peuvent varier selon certaines exigences, par exemple, l’émergence des Caenidae semble être contrôlée par l’intensité de la lumière, elle s’effectue soit à l’aube soit au crépuscule, pour plusieurs genres de Baetidae et Leptophlebiidae, elle est pendant la mi-journée. Pendant, la journée, la température élevée ainsi que la prédation peuvent aussi être des facteurs limitants à l’émergence diurne, les mâles et des femelles ont en général des moments d’émergence similaires, néanmoins, les mâles peuvent être plus nombreux au début ou bien émergent bien avant les femelles. Toujours selon les deux auteurs précédemment cités, les modèles d’émergence peuvent aussi varier spatio-temporellement au sein d’une même espèce en

fonction de l'abondance et du milieu, pour parer à la prédation, les Ephéméroptères ont développé deux stratégies d'émergence :

- ❖ Une émergence synchrone : afin de tenter de surcharger un prédateur potentiel par un excès de proie ;
- ❖ Une émergence dispersée : qui sert à réduire la possibilité de rencontres des proies avec leurs prédateurs.

L'émergence est aussi régie par des gradients latitudinaux et altitudinaux, par la température de l'eau, peut-être même la photopériode (Minshall, 1967 ; Langford, 1975) auxquels s'ajoutent des facteurs abiotiques tels que le vent, l'humidité, les précipitations, la turbidité et le rayonnement solaire. Tous ces facteurs influent sur les totaux de l'émergence quotidienne (Tjonneland, 1960 ; Britt, 1962 ; Thomas, 1970 ; Langford, 1975 ; Peters & Peters, 1977 ; Brittain, 1979). L'émergence peut se produire progressivement du Sud vers le Nord où elle peut être retardée avec l'altitude ; les seuils de température de l'eau influent sur l'émergence saisonnière et quotidienne de nombreux éphémères et la photopériode peut réguler celle saisonnière, en effet, il a été signalé que des émergences réussies ont eu lieu lors des élevages de nymphe dans l'obscurité totale (Brittain & Sartori, 2003).

1.3.2 Fécondation

Selon les descriptions de Brittain (1982) et Brittain & Sartori (2003), la fécondation se fait comme suit : Arrivé au stade de l'imago, l'éphémère est enfin prêt à copuler, les valeurs de fécondité enregistrées pour les femelles des plus grandes espèces d'Ephéméroptères sont l'unes plus élevées que celles de la quasi-totalité des autres groupes d'insectes, sachant que les femelles de grande taille sont observées chez les espèces bivoltines ou à période d'émergence longue.

A part quelques cas de parthénogenèse partielle ou totale, le chemin vers la fécondation commence par l'essaimage qui est réalisé exclusivement par les mâles à l'exception des familles des Caenidae et des Tricorythidae, où il n'y a pas de restriction pour les femelles, autrement, les femelles volent à la rencontre des mâles et s'accouplent en plein vol presque aussitôt. Selon Blais & al. (2016), pendant les danses nuptiales, les groupes de mâles réalisent un vol ascendant ou pendulaire i.e. ils s'élèvent verticalement et rapidement pour ensuite se laisser retomber lentement, les ailes écartées et passives puis réitérer leur phase ascensionnelle. Les mâles meurent aussitôt après l'accouplement. Cependant, il existe des femelles comme celles des Tricorythidae qui remontent les cours d'eau et les mâles les rejoignent pour s'accoupler.

1.3.3 Oviposition

Chez la majorité des Ephéméroptères dont la plupart des Ephemeridae, Heptageniidae et Leptophlebiidae, la ponte s'effectue à même la surface de l'eau, la femelle plonge son abdomen dans l'eau et libère ainsi quelques œufs (Fig. 14). Néanmoins, il existe des exceptions : les femelles d'*Ephemerella*, de *Siphonurus* et de *Centroptilum* s'y prennent autrement, elles libèrent tous leurs œufs dans un seul lot qui se sépare d'elles immédiatement au contact de l'eau ; quant aux femelles des *Habroleptoides* et de certains Heptageniidae, elles se posent sur une pierre au-dessus de l'eau et y plonge son ventre afin de pondre (Pleskot, 1953 ; Elliott & Humpesch, 1980). Pour plusieurs espèces de *Baetis*, la femelle plonge carrément dans l'eau et pond ses œufs dans un substrat adéquat qui est le plus souvent sous des pierres (Benech, 1972 ; Elliott, 1972 ; Edmunds & al., 1976 ; Brittain, 1982 ; Brittain & Sartori, 2003), sachant que les œufs possèdent des systèmes d'ancrage mécaniques ou chimiques (mucilages) au substrat qui leur permet de s'accrocher afin d'éviter la dérive causée par le courant sur de trop longues distances (Elouard & al., 2001). Après cette dernière mission, la femelle éphémère meurt quelques heures plus tard.

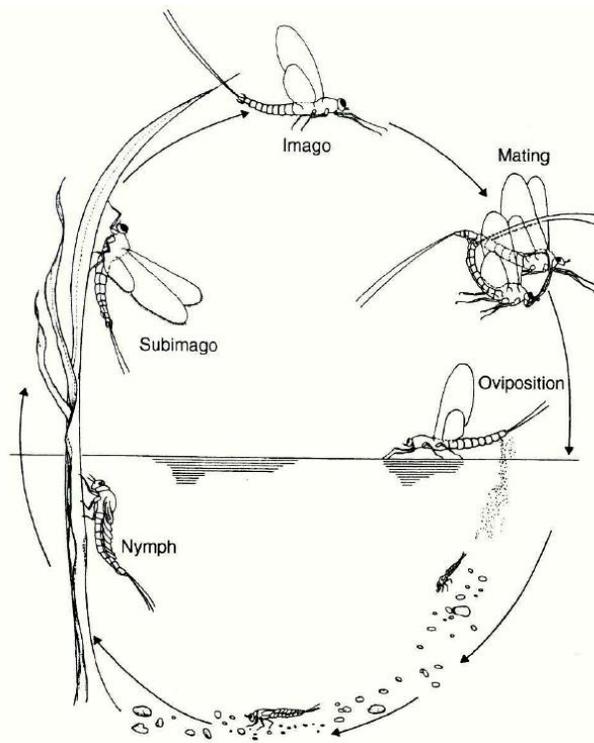


Figure 13: Cycle de vie des Ephéméroptères (Brittain & Sartori, 2003).

1.3.4 La respiration

La respiration des Ephéméroptères est assurée par les branchies, ces dernières peuvent avoir une variété de formes de dispositions et de nombres (7 paires, 5 paires..); elles peuvent être en lamelle simple ou double, arrondie à l'extrémité ou ronde (ex : Ameletidae, Baetidae) ; doubles, digitées, foliacées ou lobées (Leptophlebiidae), bifides en plumes d'oiseau avec la première paire très réduite (Potamanthidae) ; chez les Ephemeridae, la première branchie peut être réduite et les autres restantes bifides, frangées en deux séries de digitations ; elles sont rejetées sur la face dorsale (le genre *Hexagenia* de cette famille a des touffes fibrillaires), les branchies se trouvent cachées sous la carapace chez les Propistomatidae; elles sont petites chez les Oligoneuriidae et grandes chez les Heptageniidae; elles sont formées d'une lame dorsale et d'un tronc trachéen ventral bifide chez les Ephemerellidae; elles prennent la forme de plaques branchiales recouvrant les quatre dernières paires de branchies chez les Caenidae et chez les Isonychiidae en plus de filaments branchiaux dans ces derniers.

Parfois, des touffes respiratoires sont développées sur d'autres parties du corps en dehors de l'abdomen, tels que celles à la base de la coxa chez *Isonychia* et *Dactylobaetis* ou des branchies sur la base de labium chez les Oligoneuriidae, les branchies peuvent fonctionner soit comme organes respiratoires ou organes ventilatoires augmentant la surface d'échange respiratoire (Brittain & Sartori, 2003).

Brittain (1982) mentionne que les éphémères ont résolu le problème de la régulation respiratoire de deux façons ; les espèces inféodées aux habitats lenticules sont capables de réguler la consommation en oxygène (Eriksen, 1963 ; Nagell, 1977) ; les espèces des habitats lotiques sont incapables de réguler physiologiquement la consommation d'oxygène. Les éphémères qui ont des branchies immobiles sont généralement limités à des habitats à vitesse de courant élevée, elles régulent leur consommation en oxygène en se positionnant face au courant (Hynes, 1970, Macan, 1979). Les taux de respiration ou de consommation d'oxygène sont influencés par la température, l'intensité lumineuse et le stade de croissance (Ulanoski & McDiffett, 1972 ; Csoknya, 1973 ; Vannote, 1978 ; Cianciara, 1980 ; Harvey & al., 1980).

1.3.5 L'alimentation

Les pièces buccales de l'imago étant atrophiées, l'alimentation ne concerne que la larve, le jeûne des adultes vient d'une part, du fait qu'ils vivent généralement une à deux heures à quelques jours et d'une autre part, du fait qu'ils comptent sur les réserves accumulées au cours de leur vie larvaire, ces pièces buccales sont essentiellement de type broyeur (Fig. 15), néanmoins, elles peuvent avoir des modifications pour s'adapter non pas au régime alimentaire de la larve mais aux différents mécanismes de rassemblement de la nourriture (Brittain & Sartori, 2003).

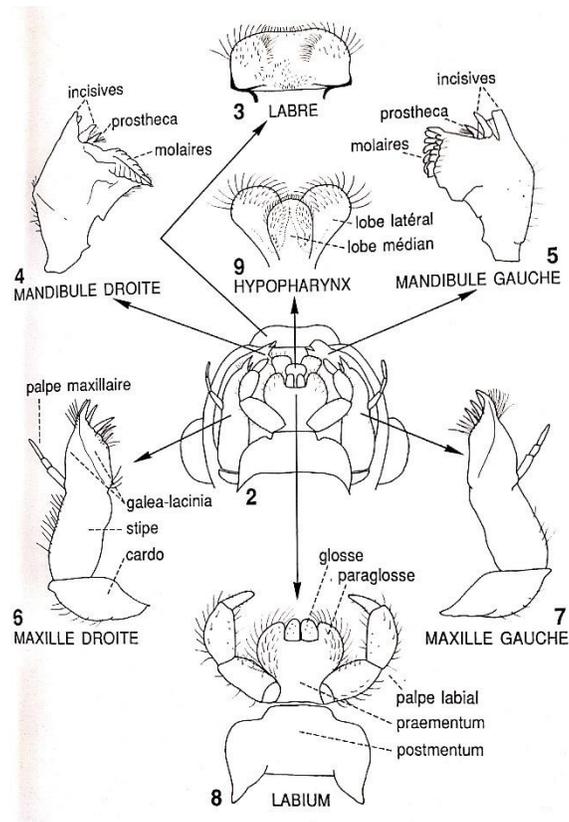


Figure 14: Pièces buccales de type broyeur des Ephéméroptères (Studemann et al., 1992).

Les larves sont généralement détritivores (e.g. : les Siphonuridae, Baetidae, Leptophlebiidae, Metretopodidae, Ephemerellidae, Caenidae et Baetiscidae, ainsi que certains Heptageniidae) ; certaines sont herbivores (détritux végétaux et périphyton) et dans ces deux cas les mandibules sont de forme triangulaire (Elouard et al., 2001). Les herbivores sont soit des racleurs ou brouteurs (e.g. : Les Baetidae, Heptageniidae, Leptophlebiidae et Caenidae) (Edmunds & al, 1976), les broyeurs sont probablement aussi représentés parmi les éphémères (e.g. *Epeorus* de la famille des Heptageniidae) ; soit des collecteurs dont plusieurs genres sont des filtreurs qui utilisent des soies sur les pièces buccales ou sur les pattes antérieures comme filtre (Wallace & Meritt, 1980) (e.g. : les Oligoneuriidae, Leptophlebiidae, Siphonuridae et le Heptageniidae, Ephemeridae et Polymitarciidae), toutefois, le régime alimentaire peut être modifié ; selon les besoins ; des premiers stades aux stades adultes larvaires sans oublier que plusieurs espèces (e.g. : *Siphonurus occidentalis*, *Stenonema fuscum*) passent d'un régime largement détritique à un autre plus concentré en matière organique d'origine animale (Brittain & Sartori, 2003).

En outre, il y a deux autres types de régime alimentaire que sont le régime carnivore et le régime omnivore, en effet, il existe de rares espèces carnivores comme les Baetidae *Centroptiloides* et *Raptobaetopus* et certaines espèces des Prosopistomatidae ont des nymphes carnivores ; les mandibules des carnivores ont le

côté apical plus étroit et les canines sont proches de la mola (Elouard et al., 2001), le deuxième régime ; tout aussi rare ; c'est l'omnivorerie que l'on ne rencontre que chez certaines espèces dans les genres tels qu'*Isonychia*, *Siphonurus*, *Stenonema* et *Ephemera*. La prédation ne concerne également que quelques genres comme le Baetidae *Analetris* et les Heptageniidae *Pseudiron*, *Spinadis* et *Anepeorus* qui se nourrissent en grande partie des chironomes (Brittain & Sartori, 2003).

Le régime alimentaire peut être changeant, il peut varier selon les saisons donc avec la disponibilité de la nourriture (Brown, 1961 ; Clifford, 1979 ; Kjellberg, 1972 ; McClure & Stewart, 1976 ; Moore, 1977), l'habitat et le stade de développement (Brittain, 1982).

1.3.6 Ethologie et Ecologie

Les traits morphologiques des larves traduisent leur comportement (fouisseur, rampant, nageur ou agrippeur) ; e.g. les branchies rejetées sur la face dorsale des Ephemeridae est une adaptation à la vie fouisseuse ; les branchies de beaucoup de Siphonuridae sont utilisées comme des palettes natatoires. La morphologie est souvent liée à l'habitat et aux habitudes alimentaires plutôt qu'aux types de famille (Brittain & Sartori, 2003).

Grâce à leur stade ailé et à leur disposition à la dérive tant que larve, les Ephéméroptères sont souvent parmi les premiers macroinvertébrés à coloniser les habitats vierges (Gore, 1979 ; Ladle & al., 1980 ; Williams, 1980 ; Brittain, 1982 ; Brittain & Sartori, 2003).

Les larves d'éphémères ne peuvent subsister que dans les milieux aquatiques rhithmiques et lenticules, rarement dans les milieux saumâtres ou salés, les habitats lotiques en renferment la plus grande richesse (Elouard et al., 2001), surtout dans les régions tempérées et tropicales (Brittain & Sartori, 2003).

Bien qu'ils soient souvent parmi les premiers macroinvertébrés à coloniser des habitats vierges, leur capacité de dispersion spatiale est limitée, leur courte durée de vie imaginaire et leur fragilité en sont les principales raisons (Brittain & Sartori, 2003).

La présence et la distribution des larves d'Ephéméroptères dépend de facteurs abiotiques dont les plus importants sont le substratum, la température de l'eau (effet sur la croissance et l'émergence), l'oxygénation et la vitesse du courant mais aussi la disponibilité de structures de mésohabitats appropriés qui est le facteur le plus influent (Krnó, 1990, 1991 ; Cogerino et al., 1995; Brittain & Sartori, 2003), sous des conditions naturelles, la diversité des Ephéméroptères est directement corrélée avec l'habitat. D'autres facteurs comme le régime hydrologique, la disponibilité de la nourriture et la compétition, peuvent également influencer sur l'abondance et la distribution (Hynes, 1970 ; Brittain, 1982), à noter qu'en règle générale, le nombre d'espèces d'Ephémères diminue avec l'altitude (Brittain & Sartori, 2003).

L'importance du substrat physique découle de sa qualité de piège détritique ou de nourriture et de sédiments fins influençant ainsi la microdistribution des éphémères, ces derniers sont souvent inféodés à la végétation aquatique (Lavandier & Dumas, 1971 ; Barber & Kevern, 1973 ; Magdyeh, 1979 ; Clifford, 1980 ; Zelinka, 1980), autre piège détritique servant de substrat et d'abris (Brittain & Sartori, 2003).

Selon Elouard et al. (2001), les Epheméroptères se localisent dans le milieu aquatique suivant leur adaptation morphologique et leur préférence trophique ; donc l'échantillonnage des larves est intimement lié à la connaissance de l'écologie des taxons. Les larves colonisent des substrats divers, de manière générale, il en existe 4 types (Fig. 16) :

➤ **Nageuses** : se retrouvent aussi bien dans les zones à courant lent (limnophiles) comme celles à courant très rapide (rhéophiles) ou bien dans la végétation aquatique (e.g. une variété de Baetidae); elles ont des pattes faibles et un corps maigre, elles sont en forme de torpille qui nagent très rapidement ; même dans les plus grandes vitesses de l'amont. Les cerques sont bordées de poils fins qui s'enchevêtrent créant comme une palette natatoire qui lorsqu'elle ondule en combinaison avec la forme morphodynamique de la larve fournit une forme efficace de propulsion, le caractère nageur de ses larves peut être lié au mouvement des branchies (e.g. *Siphonurus*) ou même au paracerque réduit (e.g. *Baetis* du groupe *alpinus*) qui est une adaptation au courant rapide. Capable de coloniser une grande diversité de l'habitat, on les trouve dans tous les courants, les densités de larves nageuses sont les plus élevés dans les herbiers ou débris végétaux.

➤ **Rampantes** : Se déplaçant entre les interstices sur le substrat grossier; elles sont trapues et robustes, leurs pattes sont courtes, puissantes et velues, elles rampent le long du fond, la majorité de ces larves vivent dans les eaux à courant rapide (e.g. *Seratella* qu'on rencontre souvent dans les rapides –seuils– des cours d'eau ou dans les torrents), d'autres comme *Caenis* dont le corps duveteux est souvent préfèrent les eaux calmes. Elles ne sont pas de bonnes nageuses mais peuvent se mouvoir dans l'eau en utilisant un mouvement ondulatoire assez laborieux.

➤ **Agrippeuses ou pétricoles** : Elles s'accrochent aux pierres, galets, à la végétation, au chevelu racinaire, aux algues..etc, elles se cramponnent sur la surface des pierres grâce à leurs pattes solides afin de résister au courant et sont généralement dotées d'un corps larges triangulaire et d'un aplatissement dorso-ventrale (e.g. Heptageniidae) ; cette adaptation crée une sorte de parallélisme de la larve au courant atténuant ainsi l'effet de celui-ci ou de l'éviter en s'immisçant sous les pierres. Sur certaines espèces les branchies agissent comme des ventouses afin de plaquer la larve le plus possible contre le substrat et résister au courant. L'aplatissement dorso-ventrale permet avec la position des yeux proéminents situés au-dessus de la tête de différencier les larves agrippeuses de celles rampantes. Ce sont aussi de piètres nageuses. Cela n'empêche pas leur présence dans d'autres types de courant. Que ce soit pour l'aplatissement dorso-ventrale

des larves agrippeuses ou la forme hydrodynamique des larves nageuses, ces adaptations ne signifient pas forcément qu'elles soient uniquement propices aux habitats à courant rapide (Madsen, 1968).

➤ **Fouisseuses :** Les larves creusent des terriers dans le substrat, elles ont un instinct grégaire se concentrant en grand nombre dans le substrat mou propice à la formation de galerie en U. les larves sont assez grandes de forme cylindrique. Leurs pattes très solides munies de grandes griffes et leurs mandibules puissantes ressemblent à des défenses d'éléphants leur permet de bien creuser. Leurs branchies abdominales en forme de plumes ou frangées s'agitent créant un courant qui aide à assimiler l'oxygène notamment quand la larve est à l'intérieur de son terrier, ceci leur permet de survivre dans des conditions semi-anoxiques où les prédateurs ne peuvent survivre. Elles vivent dans des eaux calmes et lentes. Elles nagent assez bien en un mouvement ondulatoire, elles sont fortement polluo-sensibles.

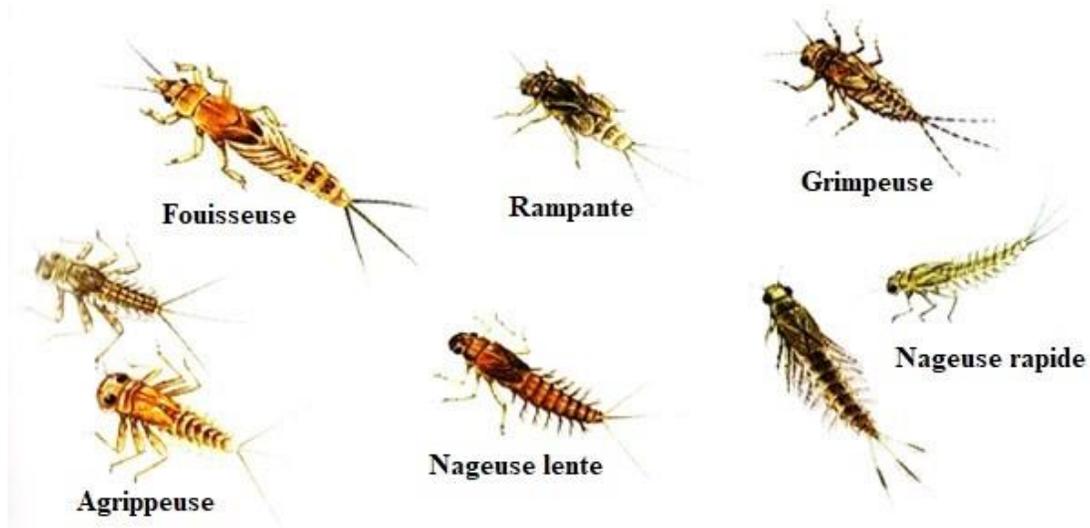


Figure 15: Différentes morphologies de larves (<http://www.club-mouche-languedoc.fr/>)

1.3.7 Interactions biotiques

La vie de nombreux organismes est en relation d'une façon ou d'une autre avec les Ephéméroptères, dont les moisissures, les Protozoaires, les Nématodes et Trématodes. En 1976, Arvy & Peters ont fait un inventaire rassemblé sur 5 années de recherche de tous les associés, commensaux et parasites des Ephéméroptères, il explique que la différenciation entre les multiples types d'associations entre éphémères et autre organismes et leur compréhension est assez complexe.

Les éphémères constituent un maillon important de la chaîne alimentaire, ce sont des transformateurs de la matière végétale en matière animale dans leur vie aquatique (œuf et larve) et sont la proie de nombreux prédateurs dont des insectes ; les Odonates, Plécoptères, Trichoptères, Mégaloptères, Diptères, Coléoptères

aquatiques ; et des sangsues, de Tricladés, des écrevisses, des araignées et même des oiseaux leur vie aérienne à peine entamé les adultes sont sujet à d'autres prédateurs dont d'autres insectes ailés (e.g. : Odonates) ; des oiseaux (e.g. : hirondelles, martinets, bergeronnettes, cincle plongeur, milans,...) ; des amphibiens ; des marsupiaux et des mammifères insectivores (e.g. : Les chauves-souris et les musaraignes) (Brittain & Sartori, 2003, www.opie-benthos.fr).

Ils sont aussi sujets à de nombreux ecto et endo-parasites dont des Protozoaires et des moisissures, nuisibles ou pas, certains comme les Microprosidies peuvent se multiplier aux dépens des tissus de l'insecte, épuiser toutes ses réserves, bloquer l'évolution des gonades et causer ainsi la stérilité (Arvy & Peters, 1976), certains nématodes peuvent modifier le comportement des mâles infectés et les conduit à simuler la ponte dans les lits des rivières afin que le nématode puisse quitter son hôte pour poursuivre son cycle de vie (Vance & Peckarsky, 1997).

Ils peuvent également être commensaux, certains ectoparasites nettoient les branchies des éphémères ce qui peut faciliter l'absorption d'oxygène (Brittain & Sartori, 2003), il existe des Protistes commensaux internes inoffensifs des éphémères (les grégaires) vivant des aliments en voie de digestion dans l'intestin de l'éphémère (Arvy & Peters, 1976).

Il existe aussi des relations de phorésie des éphémères, ils peuvent intervenir dans la dispersion de certaines algues ou des Protozoaires comme les Péritriches, et même de mutualisme, e.g. les larves d'*Epoicocladus* qui transportées par les éphémères ingèrent les restes des proies de l'insecte en nettoyant ainsi les soies et les branchies (Brittain, 1982 ; Brittain & Sartori, 2003).

1.3.8 Sensibilité

La sensibilité des Ephéméroptères et leur exigence pour les habitats et la qualité d'eau ont fait d'eux des bioindicateurs fiables pour l'évaluation de la santé de l'écosystème aquatique, bien qu'ils aient plusieurs niveaux de tolérance (e.g. les espèces du genre *Baetis* sont souvent les plus tolérantes à la pollution – Brittain & Sartori, 2003) ; ils sont généralement parmi les premiers spécimens à disparaître en cas de pollution. Ils forment une part intégrante des systèmes de standardisation pour l'évaluation saprobique des eaux courantes (Bauernfeind & Moog, 2000).

Dans le milieu aquatique, la respiration trachéenne des larves est source de fragilité non seulement par rapport à la pollution organique, aux températures élevées qui induisent une baisse de la teneur en dioxygène dissous (www.opie-benthos.fr), générée souvent par l'homme, la pollution en toutes ses formes affecte d'une façon ou d'une autre l'abondance et la distribution de ces Insectes ou même une possibilité de réduction biomasse, dans le milieu aérien, les adultes sont fortement sensibles à la pollution lumineuse et sans doute aux pesticides et sont apparemment en forte voie de régression (Brittain & Sartori, 2003).

Elouard et al. (2001) ont pointé du doigt les effets néfastes de la déforestation sur la disparition de bon nombre d'espèces d'Ephéméroptères, notamment dans les tropiques, une sérieuse modification des qualités physico-chimiques des eaux a été signalé incluant entre autres la température (e.g. ses variations ont une influence sur la fécondité– Brittain & Sartori, 2003), l'oxygénation, le transport solide, le charriage, la perte d'apport exogène, le développement algales, Etc). Ils affirment que la raréfaction des éphémères dans les cours d'eau, entrainera à un profond déséquilibre dans le maintien des autres maillons dépendant de la chaîne ou du réseau trophique, mais aussi, causera une banalisation de la biodiversité et ce, par des remplacements de taxons par d'autres plus résistants ou plus tolérants. Dans les régions tempérées, le problème de la perte d'habitat et la réduction de la connectivité entre les eaux douces est la plus grande menace, et au niveau global, le changement climatique aura sans doute un impact sur la biologie des éphémères conduisant ainsi à un véritable changement dans leurs communautés (Brittain & Sartori, 2003). Brittain & Sartori (2003) désignent aussi l'acidification des eaux et les fluctuations du débit de l'eau comme autres menaces à la vie des éphémères, en effet, un pH faible nuit à de nombreuses espèces surtout durant la période de l'émergence (e.g. le genre *Baetis* est particulièrement sensible), la puissance et les variations du débit reconsidère aussi la communauté éphémérienne.

1.4 Biogéographie

Les Ephéméroptères sont répandus dans presque tous les types d'habitats d'eau douce dans le monde entier, à l'exception de l'Antarctique, l'Arctique, et de nombreuses petites îles océaniques, dans certaines ces dernières comme dans les zones montagnes isolées ; elles sont pauvres en espèces et n'y existent généralement que les Baetidae et/ou les Caenidae (Edmunds, 1972), cependant, la faune de la Nouvelle-Zélande est assez diversifiée, l'Ordre est également représenté dans les eaux saumâtres (Brittain, 1982 ; Tachet & al., 2000 ; Sartori & Brittain, 2003). Toutefois, la plus grande biodiversité est enregistrée dans les habitats lotiques des régions tempérées.

Bien que les éphémères soient cosmopolites, ils dégagent de fortes endémicités générique et spécifique (e.g : à Madagascar et en Nouvelle-Calédonie, le pourcentage d'endémisme des Ephéméroptères atteint les 100%), ceci résulte de facteurs biologiques. En effet, en tant que larves, ils accusent un faible pouvoir de dissémination dans le milieu aquatique et une forte fragilité ; en tant qu'adultes, leur très courte vie imaginale empêche toute migration aérienne et leur capacité de dispersion limitée sur de longues distances vu leur vol lourd fait qu'ils ne s'éloignent pas vraiment du milieu d'où ils émergent (Brittain, 1982 ; Sartori & Brittain, 2003). Cette dispersion conservatrice en plus de leur origine ancienne et l'inféodation des larves aux habitats d'eau fraîche font d'eux de bons sujets à l'analyse biogéographique (Edmunds, 1972) et même paléogéographique (Brittain & Sartori, 2003).

Cependant, selon Barber-James et al. (2008), cette capacité de dispersion a été largement sous-estimée. En effet, grâce aux reconstructions moléculaires de la phylogénie des Baetidae afrotropicaux, il a été démontré qu'il existe de fortes affinités entre Madagascar et l'Afrique continentale ; ce qui implique la présence d'une dispersion transocéanique (Monaghan et al., 2005). En même temps, la découverte de deux espèces sur la récente île volcanique de la Réunion indique sans ambiguïté que les éphémères peuvent se disperser sur plus de 700km (Gattolliat, 2004). Mais aussi, il existe de nombreuses espèces à meilleure aptitude de dispersion (e.g. : le Baetidae du genre *Cloeon*) qui peuvent avoir des distributions très larges (Brittain & Sartori, 2003). Selon Edmunds (1972), dans la plupart des régions du monde, la biogéographie des éphémères reste plus ou moins classique (Tab. 3); ils montrent une aptitude migratoire relativement faible, mais il y a une véritable faune holarctique avec l'augmentation de similitude dans les deux sous-domaines au Nord, il y a l'échange classique d'éléments Paléarctiques et d'éléments Orientaux.

La diversité des éphémères est répandue dans le globe de façon singulière (Fig. 17), environ les trois quarts des espèces et des genres appartiennent à seulement cinq familles (Baetidae, Caenidae, Heptageniidae, Leptophlebiidae et Ephemerellidae), l'Hémisphère Sud qui renferme la majorité des centres d'endémicité (Sud de l'Amérique du Sud, Sud-Est de l'Afrique du Sud, Madagascar, côte Est de l'Australie, la Nouvelle-Zélande, Nouvelle-Calédonie) possèdent une faune d'éphémères avec un degré d'endémisme générique très élevé (compris entre 72% et 90%) mais aussi une plus grande diversité générique en particulier dans les Néotropiques par rapport à l'Hémisphère Nord (domaine Holarctique), où le degré d'endémisme est faible, un plus faible nombre de genres mais avec une plus grande diversité d'espèces, dans les domaines Afrotropical et Oriental, beaucoup de régions n'ont pas été prospectés ce qui laisse penser que la faune y est sous-estimée (Barber-James et al., 2008).

Quant à l'origine des Leptophlebiidae et des Baetidae, elle est probablement Pangéenne, la première est la plus diversifiée au niveau générique, la deuxième, mieux répartie entre les biorégions, constituent 41% des espèces d'éphémères paléarctiques et est plus diversifiée au niveau spécifique, les Caenidae sont principalement diversifiés au niveau spécifique dans le domaine Paléarctique et au générique dans les biorégions restantes (Barber-James et al., 2008).

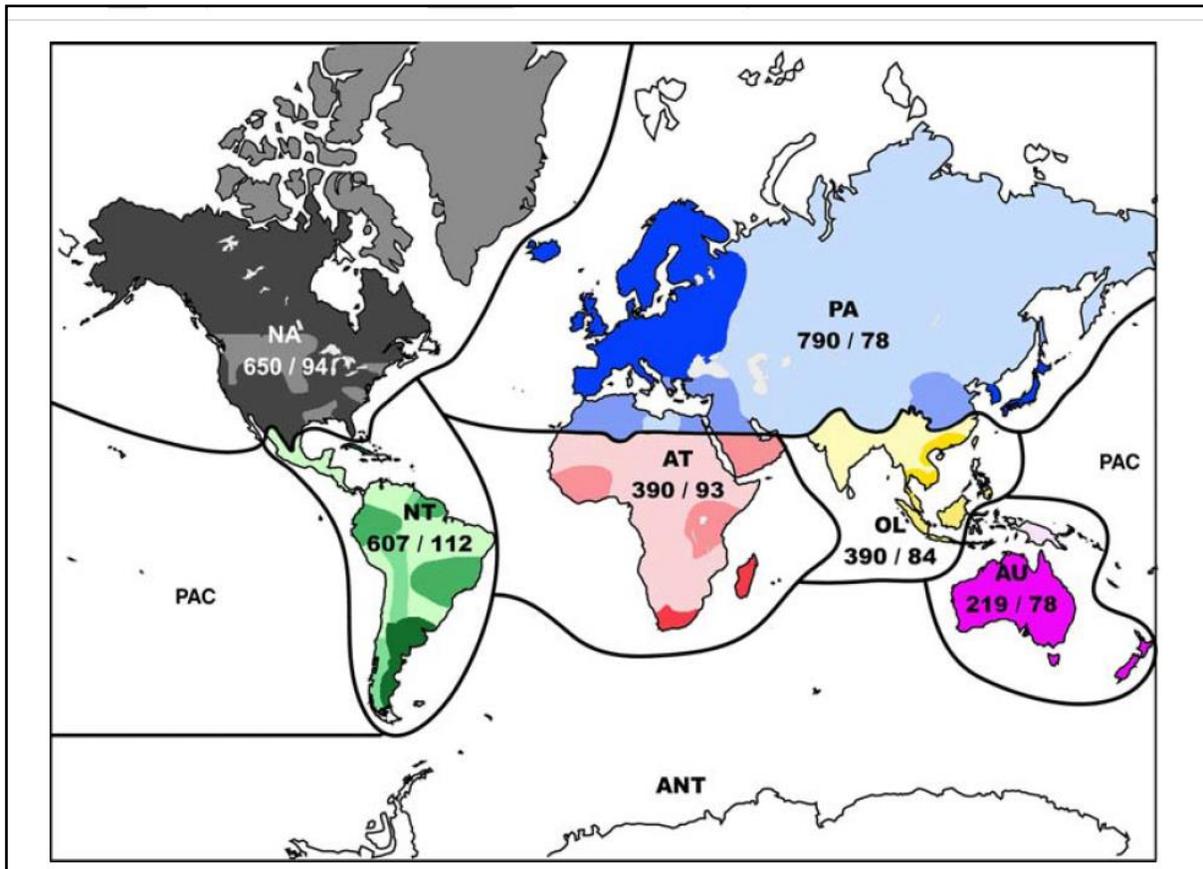


Figure 16: Répartition des Ephéméroptères: nombre d'espèces / nombre de genres par royaume en octobre 2005. La couleur sombre indique une faune connue, la couleur moyenne indique les données disponibles, la pâle indique le manque de données. [PA: Paléarctique, NA: Néarctique, NT: Néotropical, AT: Afrotropicale, Au: Australasien (y compris le royaume du Pacifique). ANT: Antarctique] (Barber-James et al. 2008).

Toujours selon les mêmes auteurs, les événements de dispersion de certains genres des familles citées plus haut (les deux Baetidae *Baetis* et *Cloeon*, le Leptophlebiidae *Choroterpes* et le Caenidae *Caenis*) entre les biorégions sont présumés être survenus après la séparation initiale des plaques Gondwaniennes. En revanche, les Heptageniidae, les Ephemeridae et les Polymitarcyidae sont suspectées d'être d'origine Laurasienne et ce, bien qu'avec une distribution similaire aux trois familles citées précédemment (à l'exception de l'Australasie). *Baetis* Leach avec 158 espèces décrites, cosmopolitain sauf en Amérique du Sud est le genre le plus diversifié suivi de *Caenis* Stephens avec 135 espèces décrites en deuxième position (cosmopolitain à l'exception de l'Australie) et *Ecdyonurus* en 8^{ème} position (59 espèces décrites) (Holarctique et Néotropical) (Barber-James et al. 2008).

Selon Bauernfeind & Thomas (2012), la composition faunistique éphéméridienne de l'Europe et de la région paléarctique en général est bien connue. Les familles mais aussi les genres européens ont un faible taux d'endémisme, en revanche, au niveau spécifique, les Ephémères européennes sont fortement endémiques surtout dans les cours du centre primaire de la Méditerranée.

La faune européenne est l'une des plus connue dans le monde (Brittain & Sartori, 2015), en effet, en Suisse, dès 1843, Pictet, était parmi les pionniers dans l'étude de cet ordre, avec son identification de *Baetis rhodani* (larve, subimago et imago), une espèce du Rhône auquel elle devait son appellation.

Tableau 3: Biogéographie des familles d'Ephéméroptères Schistonotes - selon McCafferty & Edmunds, (1979) - présentes en Afrique du Nord et habitats typiques des larves selon Williams & Feltmate (1992).

| | Distribution primaire | Habitat |
|--|---|---|
| Sous ordre Schistonota | | |
| Superfamille Baetoidea/Heptagenioidea | | |
| Baetidae | Cosmopolite | Les eaux courantes principalement |
| Oligoneuriidae | Espèces Afrotr./Neotrop./quelques espèces Holarc. & Orient. | Eaux courantes |
| Heptageniidae | Largement Holarctique | Lotique & lentique-errodé |
| Superfamille Leptophlebioidea | | |
| Leptophlebiidae | EspèceHémisphère Sud/quelques espèces Holarc. & Orient | Espèces des eaux courantes rapides |
| Superfamille Ephemeroidea | | |
| Potamanthidae | Largement Asian/quelques Neotrop./Afrotr. | Dépôt lotique |
| Polymitarcyidae | Espèces Neotrop./Afrotr./quelques espèces Holarctic | Espèces fouisseuses des fonds des cours d'eau |
| Ephemeridae | Oriental/Afrotr./Holarc. | Espèces fouisseuses lotiques et lentiques |

La faune Nord-africaine, longtemps apparentée à celle de l'Europe, se révèle depuis peu comme endémique à la région. Thomas (1998) a classé les Ephémères du Maroc comme étant les plus diversifiés en nombre d'espèces suivis par ceux d'Algérie puis de Tunisie. Dans le Nord algérien, ce qui est connu de ces hémimétaboles et plus particulièrement du Nord-Ouest, se résume à des études taxonomiques ou écologiques présentant un fastidieux travail d'échantillonnages effectués dans les années 80 (Soldán & Thomas, 1983 ; Gagneur & Thomas, 1988 ; Thomas, 1998) suivies par celles de Soldán & al., (2005) et Bojková & Soldán (2015).

1.5 Historique des Ephéméroptères de l'Afrique du Nord

Les prémices des travaux axés sur la composition éphémérienne, en général, et les Schistonotes, en particulier, d'Afrique du Nord ont débuté, d'après Gagneur & Thomas (1988), bien tôt, avec les travaux d'Eaton (1899), Navás (1922, 1925) et Lestage (1925), ce sous-ordre est très particulier dans cette région car ils comptent beaucoup d'endémiques avec un fort taux d'espèces endémiques au Maroc de par les particularités du Moyen et Haut Atlas mais aussi du Rif (Tab. 11).

Au début des années 80, une première liste des Ephéméroptères d’Afrique du Nord a été réalisée par Dakki & El agbani (1983), au cours de cette période, les connaissances taxonomiques sur les Schistonotes, principalement celles des Baetidae, ont connu un essor avec les études de Soldán & Thomas (1983a) avec six nouvelles espèces en Algérie, il s’agit de *B. sinespinosus*, *Cloeon saharense*, *Procloeon stagnicola*, *Choroerpes atlas*, *Choroerpes euthraulius mauritanicus* et *Baetis rhithralis* redécrit très récemment par Godunko et al. (2018) sous le sous-genre *Nigrobaetis* et donc *Nigrobaetis rhithralis*. Des notes taxonomiques entre autres, sur trois espèces peu connues à cette époque (*Baetis neglectus* Navás, 1913, *B. iberi* Navás, 1913 (= *B. maurus* Kimmins, 1939 syn.n) et *Oligoneurielle skounate* comb.n. (Soldán & Thomas, 1983b). La découverte d’une nouvelle espèce de Baetidae *Baetis numidicus* n.sp., par Soldán & Thomas (1985) et la description de l’Heptageniidae *Ecdyonurus rothschildi* Navás, 1929, (Soldán & Gagneur, 1985) et *Centroptilum dimorphicum* n.sp., en plus d’une première citation en Afrique du Nord du Leptophlebiidae *Paraleptophlebia cincta* (Retzius, 1783) (Gagneur et al., 1985).

Un peu plus tard, un nouveau Baetidae *Alainites sadati* Thomas, 1994 a été décrit et dit endémique du Nord-Ouest d’Algérie, retrouvé dans le Nord de la Tunisie par Zrelli et al. en 2012. Soldán et al. (2005) ont pu décrire un nouveau Baetidae d’Algérie *Baetis chelif* grâce à l’holotype et aux paratypes récoltés en 1981 en Algérie et déposés dans l’Institut d’Entomologie de l’Académie des Sciences de la République Tchèque. Sans omettre l’importante checklist constituée par Thomas (1998) qui regroupe tous la répartition de tous les éphémères connus à cette époque-là d’Afrique du Nord (Tab. 11).

En plus de ces travaux taxonomiques qui ont aussi injecté des descriptions de biologie et d’écologie des espèces identifiées ou décrites, les premiers travaux portant particulièrement sur la répartition et l’écologie de cet ordre, ont aussi vu le jour durant les années 80, avec les travaux de Boumaiza & Thomas (1986, 1988, 1995) sur les Ephéméroptères de Tunisie, Gagneur & Thomas (1988) sur les Ephéméroptères du bassin versant de la Tafna dans le Nord-Ouest d’Algérie.

En Algérie, durant la décennie noire (1991-2002), les recherches hydrobiologiques étaient rares puis ont repris timidement au cours de cette dernière décennie, avec une poignée de travaux publiés sur les éphémères (Bebba et al., 2015 ; Mebarki et al., 2017).

Tableau 4 : Liste des espèces d'Ephéméroptères Schistonotes d'Afrique du Nord de Thomas (1998) complétée à partir des données d'El alami et al. (2000), Soldán et al. (2005), Zrelli et al. (2011a, 2011b, 2012, 2016). (Mrc : Maroc. Alg : Algérie. Tun : Tunisie. Afr.N. : Afrique du Nord. Ouest- Méditerranéenne : Ouest-Med. Atlanto-Méditerranéenne : Atlanto-Med. Large distr : Large distribution).

| N° | Espèces | Type de distribution | Distribution en Afrique du Nord |
|----------------------|--|-----------------------------|---------------------------------|
| Baetidae | | | |
| 1 | <i>Acentrella sinaica</i> Bogoescu, 1931 | Européenne | Tun |
| 2 | <i>Alainites muticus</i> (Linnaeus, 1758) | Européenne | Mrc |
| 3 | <i>Alainites sadati</i> Thomas, 1994 | Endémique Afr.N. | Alg/Tun |
| 4 | <i>Baetis c.f. gemellus</i> (Eaton, 1885) | Européenne | Alg |
| 5 | <i>Baetis rhodani</i> (Pictet, 1843) | Large distr. | |
| 6 | <i>Baetis fuscatus</i> (Linnaeus, 1760) | Palaearctique/ Large distr. | Mrc/Alg |
| 7 | <i>Cloeon cognatum</i> Stephens, 1835 | Holarctique/Large distr. | Tun |
| 8 | <i>Cloeon dipterum</i> (Linné, 1761) | Holarctique/Large distr. | Mrc/Alg/Tun |
| 9 | <i>Centroptilum lutoleum</i> Eaton, 1900 | Holarctique/large distri. | Alg/Tun |
| 10 | <i>Procloeon pennulatum</i> (Eaton, 1870) | Holarctique | Mrc/Alg |
| 11 | <i>Baetis nigrescens</i> Navàs, 1932 | Atlanto-Med | Alg |
| 12 | <i>Baetis pavidus</i> Grandi, 1949 | Atlanto-Med | Mrc/Alg/Tun |
| 13 | <i>Baetis maurus</i> Kimmins, 1938 | Ouest-Med | Mrc/Alg |
| 14 | <i>Baetis punicus</i> Thomas, Boumaiza & Soldán, 1983 | Afr.N./Espagne | Mrc/Alg/Tun |
| 15 | <i>Baetis meridionalis</i> Ikonomov, 1954 | Probable. Ouest-Med | Mrc |
| 16 | <i>Cloeon simile</i> Eaton, 1870 | Transpaléarctique | Alg/Tun |
| 17 | <i>Labiobaetis neglectus</i> Navas, 1913 | Ouest- Med | Mrc/Alg/Tun |
| 18 | <i>Procloeon bifidum</i> (Bengtsson, 1912) | Européenne | Mrc |
| 17 | <i>Procloeon concinnum</i> (Eaton, 1885) | Endémique/Portugal | Mrc |
| 19 | <i>Procloeon stagnicola</i> Soldán & Thomas, 1983 | Endémique Afr.N. | Alg |
| 20 | <i>Alainites oukaïmeden</i> (Thomas & Sartori, 1992) | Endémique Afr.N. | Mrc (Haut Atlas) |
| 21 | <i>Alainites sadati</i> Thomas, 1994 | Endémique Afr.N. | Alg/Tun |
| 22 | <i>Baetis berberus</i> Thomas, 1986 | Endémique Afr.N. | Mrc |
| 23 | <i>Nigrobaetis rhithralis</i> (Soldán & Thomas, 1983) | Endémique Afr.N. | Alg |
| 24 | <i>Baetis sinespinosus</i> Soldán & Thomas, 1983 | Endémique Afr.N. | Alg |
| 25 | <i>Baetis chelif</i> Soldán, Godunko and Thomas 2005 | Endémique Afr.N. | Alg |
| 26 | <i>Baetis numidicus</i> Soldán & Thomas, 1983 | Endémique Afr.N. | Alg |
| 27 | <i>Cloeon saharense</i> Soldán & Thomas, 1983 | Endémique Afr.N. | Alg |
| 28 | <i>Cheleocloeon dimorphicum</i> (Soldán & Thomas, 1985) | Endémique Afr.N. | Mrc/Alg/Tun |
| 29 | <i>Centroptilum algericum</i> Eaton, 1899 | Endémique Afr.N. | Alg |
| 30 | <i>Diphetera rhithralis</i> (Soldán et Thomas, 1983) | ? | Mrc |
| Heptageniidae | | | |
| 31 | <i>Ecdyonurus ifranensis</i> Vitte & Thomas, 1988 | Endémique Afr.N. | Mrc/Alg |
| 32 | <i>Ecdyonurus rothschildi</i> Navás, 1929 | Endémique Afr.N. | Mrc/Alg/Tun |
| 33 | <i>Ecdyonurus venosus</i> (Fabricius, 1775) | Europe/Med | Alg |
| 34 | <i>Ecdyonurus venosus</i> var. <i>constantinicus</i> Lestage, 1925 | Endémique Afr.N.? | Alg |
| 35 | <i>Epeorus sylvicola</i> (Pictet, 1865) ? | Spain | Mrc |
| 36 | <i>Rhithrogena ayadi</i> Dakki & Thomas, 1986 | Endémique Afr.N. | Mrc |
| 37 | <i>Rhithrogena giudicelliorum</i> Thomas & Bouzidi, 1986 | Endémique Afr.N. | Mrc |
| 38 | <i>Rhithrogena mariae</i> Vitte, 1991 | Endémique Afr.N. | Mrc |
| 39 | <i>Rhithrogena ourika</i> Thomas & Mohati, 1985 | Endémique Afr.N. | Mrc |
| 40 | <i>Rhithrogena ryszardi</i> Thomas & Soldán, 1987 | Endémique Afr.N. | Mrc |
| 41 | <i>Rhithrogena sartorii</i> Zrelli & Boumaiza, 2011 | Endémique Afr.N. | Tun |
| 42 | <i>Rhithrogena sp/spp</i> | ? | Mrc/Alg/Mrc |
| 43 | <i>Afronurus sp.</i> | Palaearctique | Tun |

Tableau 5 : (Suite) Liste des espèces d’Ephéméroptères Schistonotes d’Afrique du Nord de Thomas (1998) complétée par les données d’El alami et al. (2000), Soldán et al. (2005), Zrelli et al. (2011a, 2011b, 2012, 2016) suite. Mrc : Maroc. Alg : Algérie. Tun : Tunisie. Afr.N. : Afrique du Nord. Ouest- Méditerranéenne : Ouest-Med. Atlanto-Méditerranéenne : Atlanto-Med. Large distr : Large distribution.

| | | | |
|------------------------|---|------------------------|-------------|
| Leptophlebiidae | | | |
| 44 | <i>Choroterpes (Choroterpes) atlas</i> Soldán & Thomas, 1983 | Endémique Afr.N. | Mrc/Alg/Tun |
| 45 | <i>Choroterpes (Choroterpes) volubilis</i> Thomas & Vitte, 1988 | Endémique Afr.N. | Mrc |
| 46 | <i>Choroterpes (Euthraulius) lindrothi</i> Peters, 1980 | Endémique Afr.N. | Mrc/Alg/Tun |
| 47 | <i>Habroleptoides assefae</i> Sartori & Thomas, 1986 | Endémique Afr.N. | Mrc |
| 48 | <i>Habroleptoides confusa</i> Sartori & Jacob, 1986 | Europe | Alg |
| 49 | <i>Habrophlebia fusca</i> (Curtis, 1834) | Ouest-Paléarctique | Mrc/Tun |
| 50 | <i>Habrophlebia vaillantorum</i> Thomas, 1986 | Endémique Afr.N. | Mrc |
| 51 | <i>Habrophlebia consiglioi</i> Biancheri, 1959 | Sardaigne/Tun | Tun |
| 52 | <i>Paraleptophlebia cincta</i> (Retzius, 1783) | Ouest-Paléarctique | Mrc/Alg |
| Potamanthidae | | | |
| 53 | <i>Potamanthus luteus</i> (Linné, 1758) | Paléarctique/Orientale | Mrc/Alg/Tun |
| 54 | Polymitarcyidae | | |
| 55 | <i>Ephoron virgo</i> (Olivier, 1791) | Paléarctique | Mrc/Alg/Tun |
| Ephemeridae | | | |
| 56 | <i>Eatonica schoutedeni</i> (Navas, 1911) | ? | Alg |
| 57 | <i>Ephemerella danica</i> Müller, 1764 | Ouest-Paléarctique | Alg |
| 58 | <i>Ephemerella glaucops</i> Pictet, 1845 | Europe | Mrc/Alg/Tun |

En effet, après les années 2000, un peu plus de travaux incluant les Schistonotes Nord-africains, notamment les Baetidae qui comptent beaucoup d’endémiques (Tab. 11) ont été menés, grâce à des collaborations de chercheurs ou laboratoires européens. Au Maroc, El Alami et al. (2000) ont enregistré pour la première fois *Baetis meridionalis* Ikononov, 1954, *B. punicus* Thomas, Boumaiza et Soldán, 1983, *Diphetera rhithralis* (Soldán et Thomas, 1983) et *Procloeon bifidum* (Bengtsson, 1912) et ont confirmé la présence de *Cheleochloeon dimorphicum* (Soldán et Thomas, 1985) et de *Procloeon concinnum*.

En outre, les premiers et seuls travaux biomoléculaires sur les Ephéméroptères jusqu’à ce jour, ont rassemblés des Baetidae du Rif marocains, du Nord et du Sud de l’Espagne ainsi que d’autres régions d’Europe (Gattolliat et al., 2015 ; Murria et al., 2017).

En Tunisie, Zrelli et al. (2011a et b) ont enrichi la liste des éphémères tunisiens mais aussi Nord africains avec *Rhithrogena sartorii* Zrelli & Boumaiza, sp. nov. ainsi que deux espèces de Baetidae nouvellement enregistrées en Tunisie qui sont *Nigrobaetis rhithralis* and *Procloeon stagnicola* ainsi que le Leptophlebiidae *Habrophlebia consiglioi* Biancheri, 1959, avant présumé endémique à la Sardaigne. Par la suite, après un inventaire exhaustif sur toute la Tunisie, Zrelli et al. (2016) ont arrêté la liste à 25 espèces distribuées sur huit familles dont près de la moitié (12 espèces) appartenait à la famille des Baetidae.

2 Problématique de l'étude

En général, même si la faune éphéméridienne du bassin versant de la Tafna n'est pas à sa première étude systématique, des doutes persistent par rapport sa composition et sa diversité.

En amont du laboratoire, l'adaptabilité du matériel utilisé sur le terrain lors de l'échantillonnage (le même matériel utilisé dans les régions tempérées européennes à débits élevés et profondeurs conséquentes), n'est pas approprié au potentiel des cours d'eau abordés de notre aire d'étude. En effet, les débits faibles compliquent l'utilisation à titre d'exemple du filet surber.

En outre, l'obsolescence ou l'incompatibilité des clés utilisées (e.g. Tachet et al., 1980 ; 2000) peuvent mener à des identifications biaisées au niveau générique ou même spécifique. L'avancée de la science, du matériel et des techniques d'observation et de microscopie ont également permis une netteté et une précision dans les descriptions morphologiques. A notre connaissance, rien n'a été publié sur les Ephémères Baetidae du bassin versant de la Tafna, ce groupe reste mal connu dans cette région du monde.

De plus, l'essor des techniques de biologie moléculaire a changé la donne dans les techniques d'identification classique avec des remaniements taxonomiques conséquents (Ogden, 2004). Une analyse biomoléculaire avec la technique du barcoding moléculaire vient résoudre les multiples difficultés et les obstacles rencontrés lors de l'identification de certains spécimens par la taxonomie classique.

Partant de ce contexte, deux hypothèses se posent autour de la biodiversité faunistique éphéméridienne de ce bassin :

- La diversité des Ephéméroptères et plus particulièrement celle des Baetidae du bassin versant de la Tafna se calquerait-elle au reste de la faune algérienne et à une certaine mesure à celle nord-africaine (Gagneur & Thomas, 1988 ; Thomas, 1998) donc à dominance d'origine ouest-paléarctique et à forte similitude avec la faune européenne ?
- les changements constatés dans la composition et l'abondance des espèces (e.g. rareté ou disparition d'espèces, pullulation d'une ou plusieurs d'espèces au détriment d'autres) seraient-ils liés aux modifications de leurs habitats et de leur distribution dans le bassin ?

3 Objectifs de l'étude

Le but principal de la présente étude est une meilleure connaissance des Ephéméroptères Schistonotes d'Algérie et particulièrement des Baetidae du bassin versant de la Tafna. De ce but découle trois objectifs spécifiques intimement liés qui visent à une meilleure connaissance de la taxonomie des espèces et à plus de précision dans la description de l'habitat ou de l'écologie de l'espèce qui est garante en retour de la précision de son identification taxonomique, ce qui assurera ainsi une comparaison plus légitime avec les

résultats trouvés dans des études scientifiques similaires. Un objectif écologique qui envisage à mieux connaître la structure et la distribution actuelles des peuplements d'Ephémères avec un constat environnemental. Le troisième objectif phylogénétique ou de « taxonomie moléculaire » s'est imposé face aux limites de la taxonomie de morphologie même avec les meilleurs outils d'identification (clés et articles de descriptions d'espèces) et d'observation microscopique. La recherche vise à faire apparaître une publication sur les trois objectifs suivants :

➤ **Taxonomie morphologique**

La taxonomie classique est basée sur la dissection et l'observation de la morphologie qui est la première approche logique afin de lever le voile sur l'identité des spécimens, pour assurer la fiabilité de l'identification, le travail consiste à utiliser les descriptions morphologiques citées dans les publications pour déceler les critères de détermination de chaque genre et espèce mais aussi avec la comparaison de notre matériel biologique avec les collections (d'Algérie, du Maroc, de la Tunisie et même d'Europe) du Musée de Zoologie de Lausanne.

➤ **Taxonomie phylogénétique moléculaire**

A l'heure où la phylogénie des Ephémères connaît un grand remaniement dans les sous-ordres sans grandes certitudes (Kluge, 2004 ; Bauernfeind & Thomas, 2012), de nombreux auteurs se tournent vers la taxonomie moléculaire pour soutenir leurs hypothèses à propos de la répartition des espèces dans les familles et sous-ordres ou bien pour essayer de dissiper les doutes sur leurs affiliations aux niveaux spécifiques ou génériques (Ogden and Whiting, 2005 ; Ogden et al., 2009) mais aussi, d'après Monaghan & Sartori (2009), l'outil génétique pourrait même enrichir la diversité spécifique.

Vu les ambiguïtés et les obstacles rencontrés lors de l'identification de certains spécimens, nous avons engagé une analyse biomoléculaire avec la technique du barcoding moléculaire, technique qui aide à déterminer le gène mitochondrial codant pour la première sous-unité de la cytochrome oxydase (COI) qui est une protéine qui intervient dans la chaîne respiratoire de la mitochondrie, ce gène COI a pour avantages d'être présent en de nombreuses copies et avec un faible taux de mutation, ce qui facilite son séquençage. Cette technique nous permet de déterminer ou bien de confirmer les espèces.

➤ **Ecologie descriptive**

L'analyse écologique permet d'analyser la distribution spatio-temporelle quantitative (abondances) et qualitative (biodiversité) des Ephéméroptères notamment les Baetidae dans leurs habitats types et leur distribution longitudinale (amont-aval) dans le bassin en d'autres termes une ébauche d'une aire de

distribution. Ceci nous a permis également d'acquérir des informations sur les réponses des espèces aux perturbations de leur habitat en comparaison avec les résultats de Gagneur et Thomas (1988).

Les résultats obtenus seront majoritairement présentés sous forme de trois articles correspondant à chaque volet de la thèse. Cette recherche a été menée dans le cadre d'une coopération scientifique entre le musée cantonal de Lausanne (Suisse) et notre équipe de recherche.

Chapitre II : Méthodologie

Chapitre II : Méthodologie

Ce chapitre « Méthodologie » englobe les caractéristiques physiques de l'aire d'étude ainsi que toutes les méthodes d'analyses employées sur terrain et au laboratoire.

1. Etude du cadre physique

1.1 Géographie du bassin versant de la Tafna

Le bassin versant de la Tafna appartient à la région hydrographique Oranie - Chott Chergui qui fait partie des cinq régions hydrographiques de l'Algérie et se localise dans le Nord-Ouest algérien, limité par la Méditerranée au Nord, le Sahara au Sud, le bassin hydrographique Cheliff-Zahrez à l'Est et le Maroc et à l'Ouest (Fig.18). Le bassin l'Oranie-Chott Chergui renferme 20% de la superficie totale des régions hydrographiques d'Algérie, le bassin versant de la Tafna constitue 9.43% de ce bassin, il occupe ainsi une superficie de 7245km², son réseau hydrographique en grande partie sur la wilaya de Tlemcen, traverse la wilaya d'Aïn Témouchent peu avant de se jeter dans la méditerranée et déborde légèrement sur le territoire marocain (Fig.19). Il est entouré par les monts de Traras (limite Nord) et les monts de Tlemcen (au Sud), Djebel Sebaâ chioukh (limite Est) et les monts de Béni Snassen du Maroc (à l'Ouest).

1.2 Hydrographie du bassin

La Tafna qui est long de 170km, prenant source à 1100m de la grotte aquatique de Ghar Boumaâza dans la région d'Oulad Ouriach, présente une orientation SE-NW qui devient SW-NE puis S-N. Selon Gentil (1902), d'un point de vue géomorphologique et géologique, le bassin versant de la Tafna se subdivise en 3 parties :

1.2.1 La Haute Tafna

A partir de sa source, l'oued se dessine après la jonction d'un grand nombre de ramifications étalées en éventail dans une sorte d'entonnoir creusé dans les terrains jurassiques. Ces ramifications descendent de crêtes et se réunissent aux environs de Seb dou, à une altitude d'environ 900m. A partir de cet endroit la Tafna suit un cours parfaitement défini dans une vallée encaissée, creusée dans les terrains jurassiques, recevant en cours les eaux de l'oued Khémis et de l'oued Seb dou, jusqu'à Bordj Sidi Medjahed. A Ouled Medjahed, l'oued pénètre dans le bassin tertiaire de la Tafna et son régime change complètement. Le cours d'eau quitte cette région de montagnes calcaires pour pénétrer dans une vallée argileuse ou argilo-gréseuse et reçoit en cours de route les apports de plusieurs petits affluents. Cette eau est finalement retenue dans le barrage de Béni Bahdel.

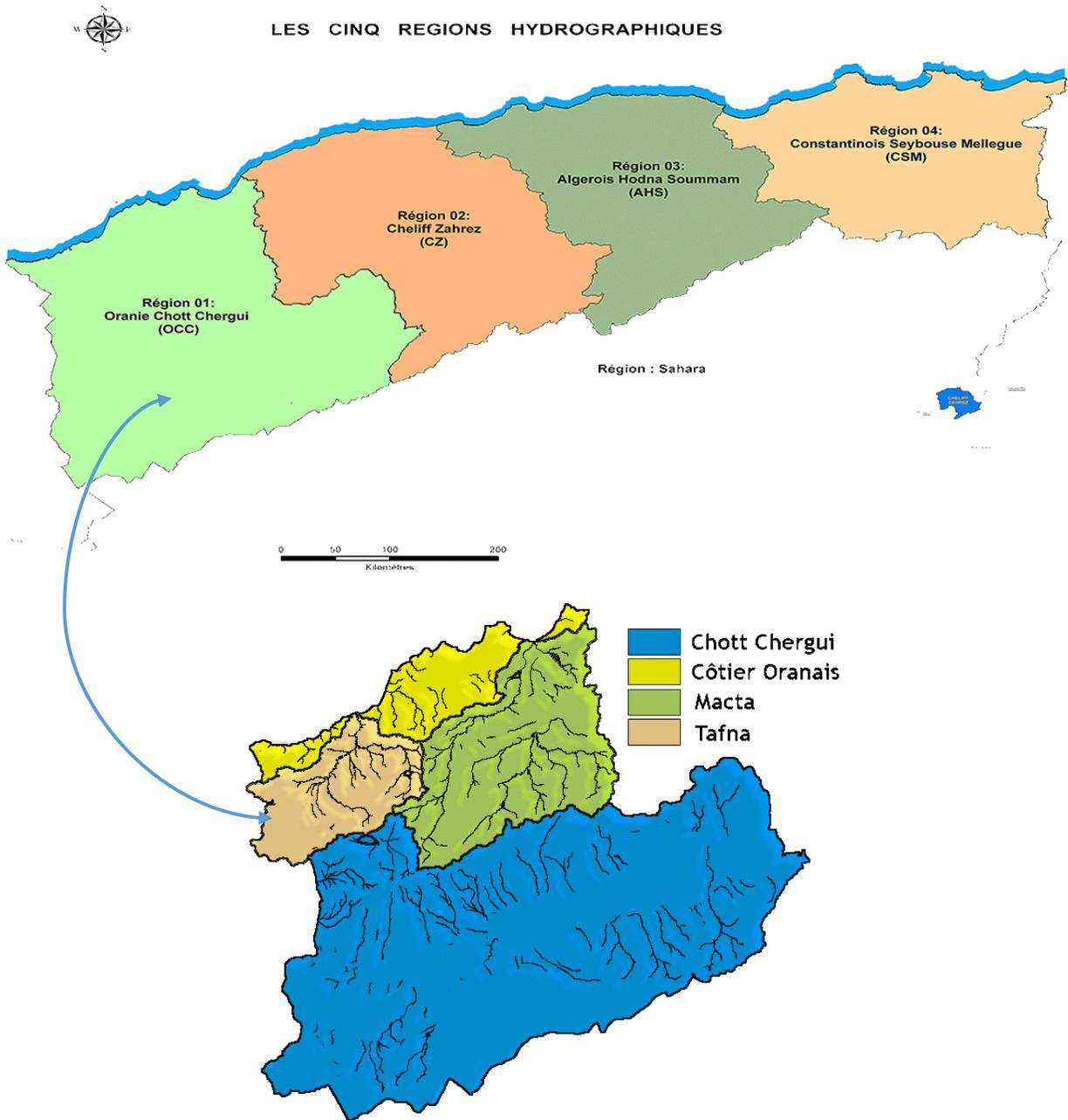


Figure 17: Localisation du bassin versant de la Tafna dans le bassin hydrographique Oranie-Chott Chergui (<http://www.abhcsm.dz/> ; <http://www.abhoranie.dz/>).

Aperçu sur l’oued Khémis

Affluent rive gauche de la Tafna et drainant un bassin d’une superficie de 350km², il naît dans le versant Nord-Ouest des Monts de Tlemcen à 1050m d’altitude, il est long de 36Km et présente une orientation SE-NW, il doit la continuité de son écoulement à de nombreuses sources et il est caractérisé par des pentes assez abruptes dépassant généralement 25% aux abords de l’oued (Belarbi, 2010).

L’oued Khémis court au fond d’une vallée extrêmement encaissée étroite creusé dans des terrains rocailloux et calcaires appelés les gorges du Khémis. L’oued reçoit à l’amont les effluents domestiques

du village de Sidi el Arbi puis ceux de l'agglomération de Khémis. Il conflue avec l'oued Tafna au niveau du barrage de Béni Bahdel.

Après le barrage, l'oued franchit les monts de Tlemcen en y taillant des gorges abruptes, une fois ces dernières franchies, il débouche dans la plaine de Maghnia. A ce niveau, l'oued est principalement alimenté par l'oued Mouilah (affluent rive gauche), mais aussi conflue avec l'oued Isser (affluent rive droite) à la plaine de Remchi à 80m d'altitude. C'est la moyenne Tafna.

1.2.2 La Moyenne Tafna

A partir de Sidi Medjahed l'oued s'est creusé un lit dans une vallée peu profonde, aux flancs à pente douce, dans des terrains plus ou moins argileux. Les alluvions anciennes ou récentes de l'oued sont peu étalées, elles forment une petite plaine étroite dans laquelle le cours d'eau se développe en méandres tortueux. Au sortir du massif jurassique, la Tafna suit d'abord une direction S.N. jusqu'au bordj de Bled Chaaba, puis elle se dirige vers le N.E. Au-dessous du plateau de Remchi, la plaine alluvionnaire s'étale par suite de la confluence de plusieurs rivières dont l'oued Isser ; puis il reprend son cours vers le nord. Le cours de l'oued se limite aux gorges de Tahouaret dans la région de la vallée de la Moyenne Tafna. Cette partie du bassin tertiaire est sillonnée par de nombreux affluents dont oued Mouilleh, qui prend naissance au Maroc. Entre Bled chaaba et les gorges de Lahouret, la Tafna reçoit de nombreux affluents qui prennent naissance dans les Traras dont oued Isser ; qui est le plus important des affluents de par son débit car il draine la partie la plus arrosée du bassin ; par la rive droite.

Aperçu sur l'oued Isser

L'oued Isser occupe une superficie de 1140km² avec une altitude maximale de 1625 m de la longueur du talweg principal est de 81 km, il prend naissance dans les terrains jurassiques du massif secondaire de Tlemcen dans la région de Beni Smiel, il débute par un réseau développé qui descend des mêmes crêtes que celle de la Tafna qui la reçoit et étend ainsi, vers l'Est, la région de la « Haute Tafna ». Celui-ci suit une direction Nord-Sud et s'enrichit, au Nord d'Ouled Mimoun, dans le bassin tertiaire, par les apports de l'oued Chouly (rive gauche) et l'oued de Ain Tallout (rive droite), puis il suit une direction S.N. dans une vallée argileuse qui rappelle beaucoup celle du cours moyen de la Tafna.

Il reçoit, sur ses deux rives, le tribut de nombreux ravins par la suite, il change brusquement de direction et se dirige vers l'Ouest en contournant le promontoire jurassique des Djebel er Ramlya et el Abiod, puis il traverse la petite plaine d'El Fehoul. A l'extrémité occidentale de cette plaine il reçoit, sur la gauche, un cours d'eau assez important, l'oued Sikkak maintenant concentré dans le barrage du même nom. Sa confluence avec l'Oued Tafna ; sur la rive droite ; a lieu dans la plaine de Remchi à 80m d'altitude.

Aperçu sur l'oued Sikkak

L'oued Sikkak qui draine les régions de Djebel Benian (1100m) et de la plaine de Hennaya, prend sa source à une altitude de 1190m dans les monts de Tlemcen au Sud de Tlemcen à la source d'Ain Rhannous et occupe un sous bassin d'une superficie de 442Km². Il est d'orientation générale N-S et arrive au niveau du plateau de Terny où il est recueilli par le barrage d'El Meffrouch. Affluent rive gauche de l'oued Isser avec lequel il conflue au Nord d'Ain Youssef. Le bassin de l'oued Sikkak comprend deux secteurs bien distincts: - au Nord et au centre, des dépressions remplies de sédiments tertiaires et quaternaires. La zone montagneuse comprend : - au Sud, le plateau de Terny entouré de plusieurs massifs élevés culminant au Djebel Nador (1579m).

Cet oued descend du massif de la haute Tafna sous le nom d'oued Meffrouche et pénètre dans le bassin tertiaire sous le nom d'oued Saf-Saf. Il se reforme à partir des sources des cascades d'El Ourit situées à 800m d'altitude et prend ; jusqu'à l'aval du village Saf-Saf ; le nom d'oued Saf-Saf puis celui d'oued Sikkak à partir de la commune de Chetouane. Il longe d'abord une vallée profonde et encaissée pour ensuite continuer son cours sur les plaines d'Hennaya. A son Nord, avant de confluer avec l'Isser sur la rive gauche, la Sikkak reçoit les affluents de la région de Beni Ouazzane. Au Nord du village d'Aïn Youcef, oued Sikkak rejoint l'Isser et est retenu dans le barrage du même nom.

Aperçu sur l'oued Chouly

Il prend naissance dans les Monts de Tlemcen à environ 900m d'altitude. Il draine le versant Nord-Est des Monts de Tlemcen avec un sous bassin 1860Km² de superficie. De direction SW / NE, il bénéficie d'une alimentation permanente par les nombreuses sources de la région dont Aïn Tot Hamam, Aïn Ouissert.

Il parcourt une vallée alluviale encaissée en amont et de plus en plus large vers l'aval. Le cours d'eau principal se jette plus bas dans oued Isser constituant ainsi son principal affluent (affluent rive gauche). Il prend sa source dans les monts de Tlemcen à environ 900m d'altitude, il draine le versant Nord de ces monts, sa vallée est surplombée par une série de massifs.

1.2.3 La Basse Tafna

Le cours inférieur de la Tafna s'étend, depuis les gorges de Tahouaret jusqu'à la mer, sur une distance rectiligne de moins de 20km. Il sillonne la vallée de la Basse Tafna. Le fleuve serpente dans une plaine étroite qui dessine un arc de cercle dont la flèche est orientée E.O. Le cours d'eau se développe en grandes boucles dans un lit à berges verticales. Cet oued termine son cours dans une région volcanique, montrant fréquemment sur les bords de la basse plaine des colonnes basaltiques.

La jonction du fleuve avec la mer se fait par une seule branche. Le cours d'eau s'étend des gorges de Tahouret jusqu'à la mer, sur une longueur de 20 km. Il reçoit des affluents beaucoup moins importants, de direction Est-ouest qui sont l'oued Lemba et l'oued Fed El Atouch sur la rive droite et l'oued Ben-Djelloul sur la rive gauche.

La Tafna continue son cours depuis les gorges de Tahouret vers le village de pierre du chat et la plaine de Maghnia alimentée en eaux et apports des oueds du versant Nord et ceux de l'oued Mouilah qui arrive du Maroc. En traversant la plaine de Remchi, elle est ravitaillée par son principal affluent l'Isser et achève finalement son parcours par un estuaire au niveau de la plage de Rechgoun.

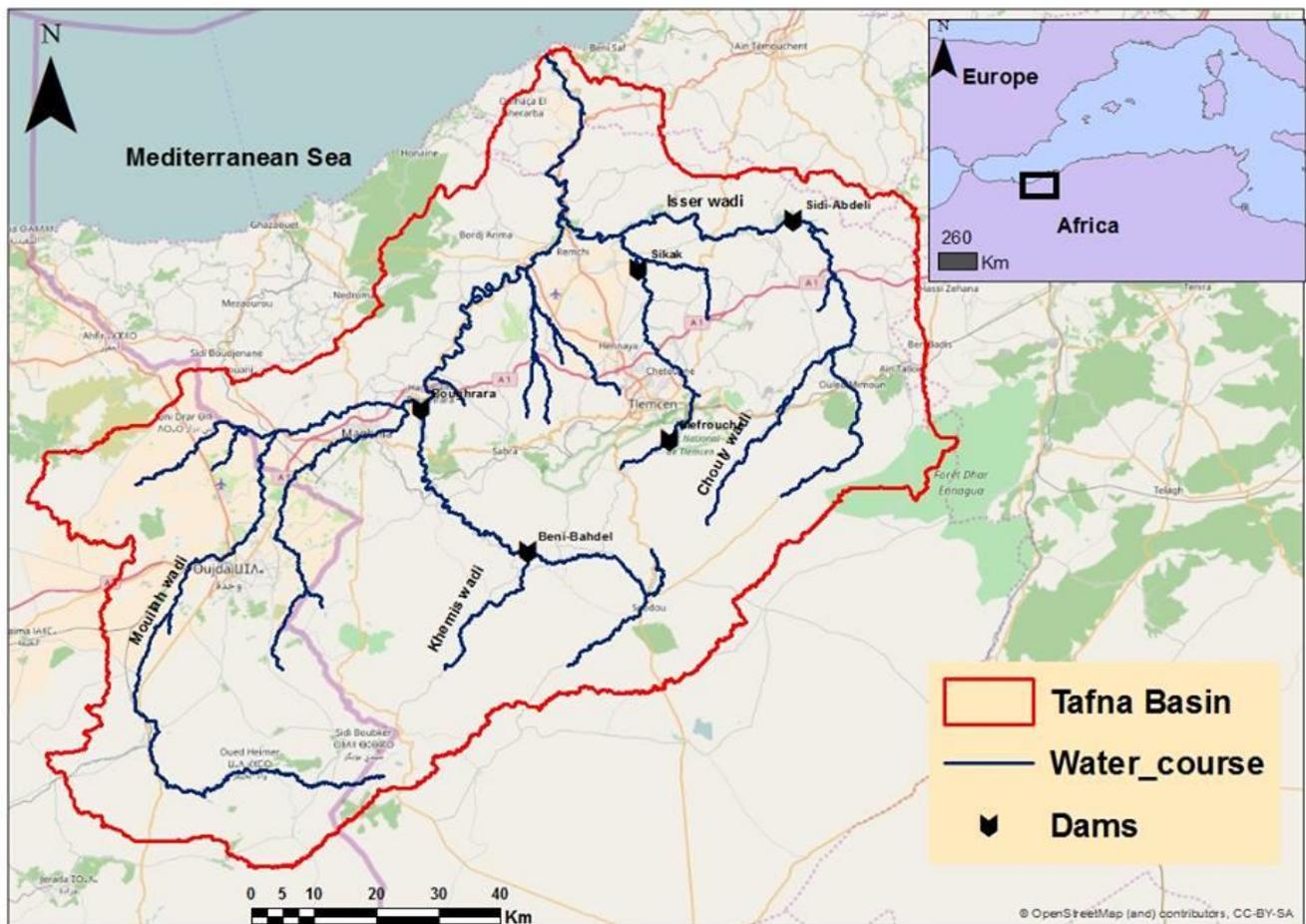


Figure 18: Carte du réseau hydrographique de la Tafna.

1.3 Contexte géologique

La géologie d'un bassin versant donné a une influence directe sur l'étude hydrologique de ce bassin notamment sur la répartition des écoulements superficiels (Belarbi, 2010). Le bassin versant de la Tafna renferme une richesse géologique très complexe qui va du primaire au plio – quaternaire (Fig. 20) que l'on peut résumer en deux parties :

1.3.1 Le bassin amont

C'est littéralement, les monts de Tlemcen (800 à 1400m d'altitude) d'orientation WSW-ENE, ils sont formés par des affleurements dolomitiques riches en carbonates de Magnésium (Collignon, 1986) datant du Secondaire et plus précisément du Jurassique Supérieure ; où les précipitations peuvent s'infiltrer à travers les karsifications et ressortir par des résurgences multiples. Il domine au Nord, les plaines de Maghnia et d'Hennaya, les plateaux de Zenata et de Sidi Abdelli. La partie orientale est formée par des argiles dont les affleurements sont apparents dans le noyau de l'anticlinal érodé de la haute Isser.

Les formations jurassiques de ces monts sont représentées par :

Les grès de Boumédiène : C'est un ensemble à dominance gréseuse comportant des passées argileuses. Ce sont des grès à ciment calcaire se présentant sous forme de bancs assez durs, dont les épaisseurs peuvent atteindre 500m. On les trouve au Sud du bassin de l'oued Sikkak.

Les dolomies de Tlemcen : Ce sont des dolomies cristallines grises dont les nombreuses cavités sont remplies de calcite. Cette formation atteint jusqu'à 200m aux environs de Tlemcen notamment à El Ourit, elle se retrouve dans la plupart des bassins versants de la Tafna.

Les dolomies de Terny : Elles ont un aspect très massif qui permet de les distinguer des dolomies de Tlemcen, elles sont parfois vacuolaires qui comportent de nombreuses stratifications obliques avec une épaisseur atteignant les 100m dans le plateau de Terny. Elles sont présentes au niveau des bassins de l'oued Seb Dou, Terny et Sikkak.

1.3.2 Le bassin aval

Se trouvant au Nord, il comporte la zone de piémont ainsi que les plaines d'Hennaya, de Remchi et de l'Isser. Il souligne les formations tertiaires du Miocène composées de marne et de grès (Gentil, 1903) qui succèdent à celles du jurassique et dominent la moyenne et la basse Tafna, avec dans les fonds des vallées, des dépôts d'alluvions récentes du quaternaire composées de sédiments fins qui sont des marnes sableuses ou d'argile peu perméables ou des chenaux, ces sédimentations ont donné des conglomérats très rocheux, présentant les principaux aquifères actuellement exploités ; nappe de Maghnia et Hennaya (Belarbi, 2010). Les formations alluviales récentes sont localisées tout au long des vallées et en particulier dans la basse Tafna.

A l'échelle régionale, le bassin présente un pendage d'ensemble faible vers l'Est. Tout le long de la frontière marocaine, les grès affleurent en couches ayant un pendage Est, et les écoulements souterrains se font comme les écoulements superficiels, vers la vallée de la Tafna (Belarbi, 2010).

Plus au Nord, les massifs montagneux des Traras ; qui sont constitués de formations jurassiques composées essentiellement de calcaire, de marne et de calcaire marneux qui se prolongent sous les assises marneuses du miocène.

Sur la carte (Fig. 20), l'hétérogénéité des strates géologiques du bassin versant de la Tafna est encore plus frappante et l'on arrive à repérer la situation géographique de chaque âge strate (Gentil, 1902, Bouanani, 2004, Belarbi, 2010).

➤ **Le primaire**

Il affleure dans le bassin de l'oued Mouilah ; au niveau des Monts de Ghar Roubane à l'Ouest et les Fillaoucène à l'Est. Il est caractérisé par des dépôts d'argiles et des sables siliceux dont résultent la formation de schistes et de quartzites puissants fortement modifiés par des masses granitiques (granite de Nedroma). Ces dépôts primaires ont subi des plissements intenses, qui ont donné lieu à l'enchaînement du massif Tellien des Traras.

➤ **Le secondaire**

Il occupe une grande partie des sous-bassins de la Tafna et forme l'essentiel des monts de Tlemcen, cette formation présente de grandes surfaces d'affleurements dont les plus importantes sont celle du plateau de Terny et de l'anticlinale de l'Ouled Mimoun. Notant aussi, les calcaires de Zarifet bien exposés dans la région de Tlemcen ; cette formation se trouve à la base de successions carbonatées du jurassique supérieur. Il s'agit de calcaires bleus à géoïde dont les bancs occupent une position intermédiaire entre les grès de Boumediène et les dolomies de Tlemcen.

- **Le Trias** : Il est essentiellement localisé au Nord d'Aïn Tellout et au niveau de Béni-Bahdel et à l'Est dans le bassin d'oued Mouilah. Il est constitué par des argiles plus ou moins dolomitiques et gypseuses et des marnes bariolées fortement teintées. Il est souvent traversé par des pointements d'ophite d'âge plus récent (Jurassique ou Crétacé) s'accompagnant d'un léger métamorphisme.
- **Le Jurassique** : comporte entre autres les grès de Boumediène d'âge Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur, ces grès sont notamment développés dans les forêts de Zarifet et de Hafir au Sud-Ouest de Terny et au niveau des cascades d'El Ourit au Sud du bassin d'oued Sikkak.
- **Le Crétacé** : est représenté par la série du Crétacé Inférieur, c'est une formation argilo-gréseuse au sommet calcaire. Elle affleure au niveau de Hassi Zerga dans le bassin de Sebdou.

➤ **Le tertiaire**

L'Eocène : Cette formation affleure en très faible surface au niveau d'Aïn Berkouk ; c'est un ensemble gréseux avec passage de bancs de poudingues ; dans la vallée d'oued Isser, près de la confluence avec oued Tafna, le massif de Sebaâ - chioukh est constitué de grès siliceux, jaunes à rougeâtres, assez friables à ciment argileux alternant avec des marnes argileuses verdâtres qui sont attribuées à l'Eocène supérieur. L'Eocène est surmonté par des poudingues ; des grès plus ou moins grossiers ; et des marnes rouges ou verdâtres très ferrugineux à la base : c'est le terrain rouge de la basse Tafna, attribué à l'Oligocène (Gentil, 1902) pouvant correspondre à une émergence momentanée du bassin.

Le Miocène : On y retrouve :

Le Miocène inférieur ou le Burdigalien : il commence par un niveau de poudingues très durs à blocs bien roulés hétérométriques et polygéniques, formés d'éléments calcaires dolomitiques à ciment calcaire-gréseux, très résistants. Sa partie supérieure comporte des argiles marneuses verdâtres, au sein desquelles s'intercalent des bancs décimétriques de grès ferrugineux friables. Le Miocène Inférieur affleure surtout de part et d'autre de la Tafna, essentiellement, entre la vallée de l'oued Zitoun et le Djebel Fillaoucène.

Le Miocène moyen ou le Serravallien : il repose souvent en discordance sur le Miocène Inférieur, il paraît déformé et partiellement érodé. Il contient principalement une épaisse série d'argiles marneuses grises ou bleutées ; qui par altération deviennent ocre. Au sein de cette série ; qui se trouve dans la vallée de l'oued Isser ; s'intercalent de nombreux bancs décimétriques de grès jaunes, plus fréquents au sommet de la série. La base du Serravallien, en particulier dans le bassin de la Tafna, est marquée par un niveau discontinu de poudingues relativement peu consolidés à ciment argilo-gréseux.

Le Miocène supérieur ou le Tortonien : il est constitué par des dépôts de grès durs, de couleur jaune d'or ou citron, il est peu consolidé. Ces grès s'appuient sur les marnes serravalliennes comme entre Tlemcen et Remchi dans le bassin du Sikkak, ou, directement sur le Jurassique comme c'est le cas au Nord et au Sud de la plaine de Maghnia dans le bassin du Mouilah. Il est formé par des dépôts de grès durs, jaunes or ou citron, mal lités qui s'appuient sur des marnes Helvétiens localisés entre Tlemcen et Remchi ou directement sur le Jurassique (au Sud de la plaine de Maghnia). Le Tortonien peut avoir des faciès différents, argiles plus au moins sableuses qui affleurent près de Terny.

1.3.2.1 Le Plio-quaternaire

Il est représenté par des sédiments continentaux d'âges analogues cependant, de nature variable (Fig. 20). Il est question d'une série complexe de dépôts discontinus formé d'éléments hétérométriques et hétérogènes.

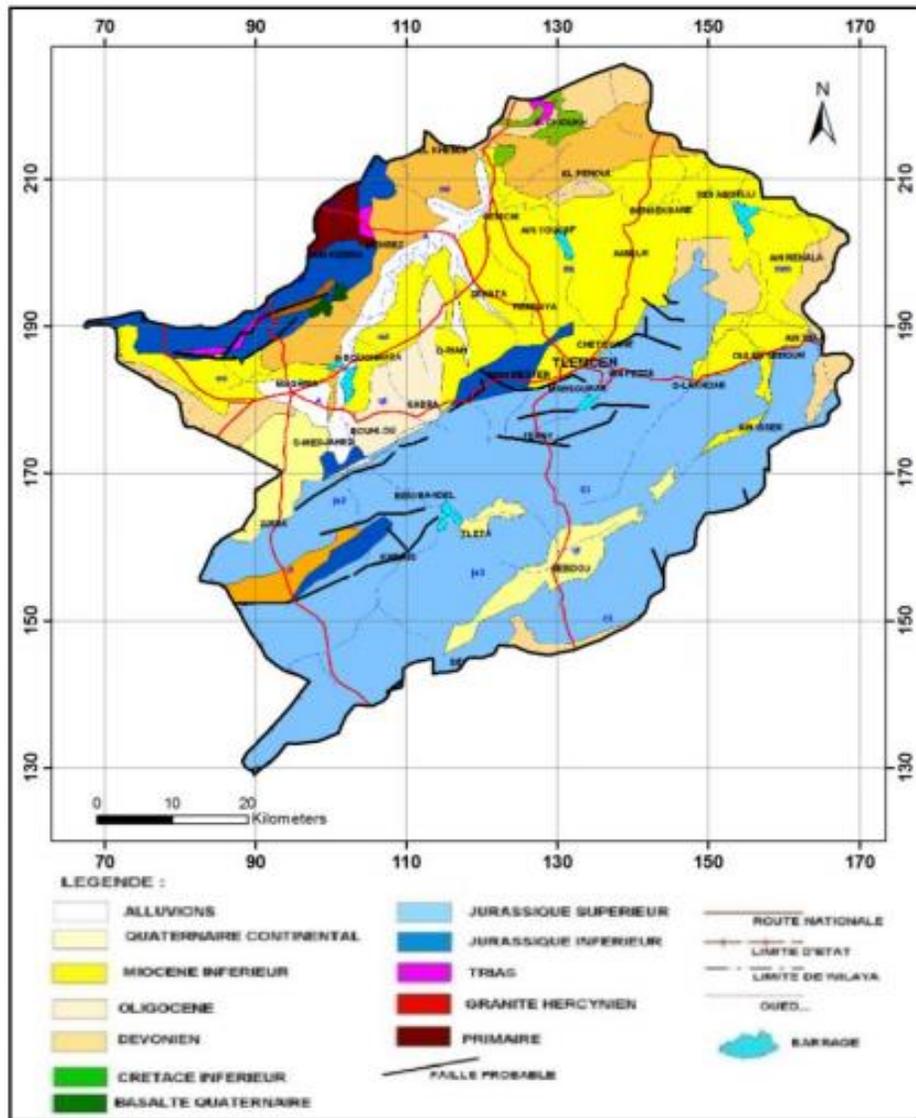


Figure 19: Carte géologique de la wilaya de Tlemcen (A.N.A.T, 2009)

On y rencontre les faciès qui suivent :

- **Les travertins villa-franchiens** : Ils se situent en bordures des monts de Tlemcen, ils sont caractérisés par des travertins fortement consolidés et des calcaires lacustres.
- **Le complexe de sédiment plio-villa-franchien** : La bordure des massifs secondaires est soulignée par des éboulis de piémont plus au moins écroûtés et remaniés d'épaisseur très variables mais toujours assez faible.

- **Des marnes** : Contenant peu ou pas de galets, plus au moins tufeuses, parfois très épaisses surtout au niveau du bassin de l'oued Mouileh.
- **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'étalent de l'oued Mihaguène et Chaâbat El Arnab au Nord-Est des frontières algéro-marocaine. Les limons sont de couleur jaune avec généralement des couches rougeâtres. Les galets se trouvent surtout en lits à la base des limons.
- **Quelques lambeaux de basaltes interstratifiés** : Témoins d'une activité volcanique. On les retrouve au Nord-Ouest de la plaine de Maghnia dans le bassin du Mouileh.

1.4 Régime hydrologique

Selon Bouanani (2004), le type de formations géologiques qui affleurent dans les bassins versants a une influence sur la répartition des écoulements superficiels ainsi un bassin qui serait formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aurait, généralement, une densité de drainage moindre qui assurera une meilleure infiltration des eaux superficielles (cas de presque tous les sous-bassins de la Tafna), un bassin avec des qualités contraires à celui-ci favoriserait plutôt le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration (cas de Mouileh et du Nord de l'Isser). En plus des précipitations qui constituant un facteur primordial interviennent différemment sur le flux et ce, selon la période temporelle, ainsi leur hauteur totale annuelle détermine l'abondance fluviale, leur répartition mensuelle et saisonnière influence directement les régimes hydrologiques, leurs totaux journaliers et surtout les averses génératrices de crues (Bouanani, 2004).

D'une part, l'hétérogénéité du relief du bassin versant de la Tafna influe donc sur le régime hydrologique de ces oueds. D'autre part, l'irrégularité et la saisonnalité des précipitations perturbent l'écoulement induisant une succession des saisons de crues et d'étiages :

- Une saison de crues hivernales ; assez courtes ; où les précipitations régissent la quantité du débit. Ces crues sont d'une violence extrême apportant des modifications morphodynamiques assez visibles.
- Une saison d'étiage ; plutôt longue ; où les oueds perdent une grande partie de leur débit ou s'assèchent par la combinaison des températures estivales élevées (évaporation) et l'irrégularité des précipitations, seules les zones de montagne ; bien arrosées ; bénéficient d'une alimentation continue de par les sources. Le débit est encore plus réduit de par les pompages des oueds à des fins souvent agricoles.

1.5 Climatologie régionale

Les conditions climatiques d'un bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (Roche 1963, Cosande, 2001, Bouanani, 2004). Les facteurs climatiques dans leur ensemble, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique.

Le bassin versant de la Tafna, sis dans un climat semi-aride, orienté face au Nord, subit l'influence des perturbations complexes du régime du climat du bassin méditerranéen (Belarbi, 2010) qui est caractérisé par une importante variabilité saisonnière (Paskoff, 1973 ; Daget & Michel-Villag, 1975) avec des étés chauds et secs et des hivers frais et humide (Köppen, 1923). Ces dernières confèrent une variété dans les caractéristiques des rivières méditerranéennes qui est l'origine de la grande biodiversité tant floristique que faunistique (Prat et al., 2000) et de l'endémisme (Gasith & Resh, 1999).

Selon Belarbi (2010), le climat de la Tafna a été marqué par une succession de périodes de sécheresses : (1917-1924), (1939-1947), (1955-1962) et (1975-1986). On peut dire qu'une sécheresse se produit tous les 20 à 30 ans de façon prolongée.

L'étude climatique qui suit nous permettra d'apprécier la qualité climatique du bassin versant de la Tafna sur une échelle de 30 ans et de donner ses principales caractéristiques.

1.5.1 Température et précipitations

La température a une grande influence sur les variations du débit ; surtout lors de la saison chaude, en accélérant l'évaporation et en asséchant ou appauvrissant ainsi le flux hydrique les oueds.

D'après Ayache (2007), la caractérisation thermique d'un lieu donné se fait généralement à partir de la détermination de ces quatre variables climatiques : les températures moyennes mensuelles, les températures maximales, les températures minimales et l'écart thermique. Les températures moyennes annuelles ont une grande influence sur l'aridité du climat (Tab. 4).

Les données climatiques (températures et précipitations) figurant dans le tableau 4 sont issus des enregistrements réalisés par l'Office Nationale de la météorologie (ONM) et par la station météorologique « 605310 (DAON) » située à Latitude : 35.01 | Longitude : -1.46 | Altitude : 247mde Tlemcen Zenata. Les données climatiques de l'ancienne période sont celles de Seltzer (1913-1938).

Les températures moyennes mensuelles sont comprises entre 9°C et 26°C ; températures enregistrées respectivement aux mois de janvier et d'août ; durant l'ancienne période. La nouvelle période comprend des températures allant de 10.85°C pour le mois de janvier et de 26.75°C pour celui d'Août. Donc le mois le plus froid reste inchangé pour les deux périodes (janvier) comme le mois le plus chaud (août) (Fig. 21).

Les moyennes annuelles des températures mensuelles de chaque période ont permis que déceler une augmentation de la température de 1.83°C (15.91°C pour l'ancienne période et 17.74°C pour la nouvelle) qui est assez significative sachant qu'il est situé sur une échelle d'un peu plus de 40 ans séparant les deux périodes.

Tableau 6 : températures moyennes mensuelles et précipitations moyennes mensuelles des deux périodes.

| Station
Période
Mois | Zenata (Température °C) | | Zenata (Précipitations mm/an) | |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | Ancienne période (1913-1938) | Nouvelle période (1980-2015) | Ancienne période (1913-1938) | Nouvelle période (1980-2015) |
| Janvier | 9.9 | 10.85 | 65 | 46.74 |
| Février | 10 | 11.74 | 62 | 44.31 |
| Mars | 10.5 | 13.77 | 49 | 42.28 |
| Avril | 13 | 15.82 | 44 | 33.65 |
| Mai | 15 | 18.89 | 38 | 26.67 |
| Juin | 21 | 22.78 | 11 | 7.39 |
| Juillet | 24 | 26.07 | 1 | 1.82 |
| Août | 26 | 26.75 | 4 | 4.74 |
| Septembre | 21.5 | 23.79 | 23 | 16.15 |
| Octobre | 17 | 19.95 | 42 | 24.95 |
| Novembre | 13 | 15.30 | 68 | 48.27 |
| Décembre | 10 | 12.10 | 67 | 43.21 |
| Moy ann | 15.91 | 18.15 | 474 | 340.17 |

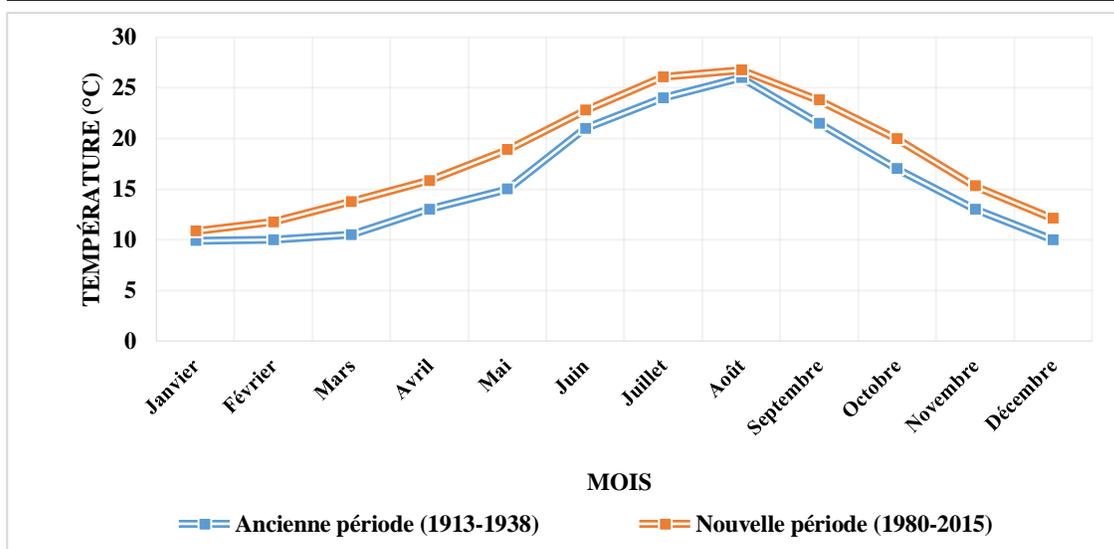


Figure 20: Températures moyennes mensuelles des deux périodes.

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat (Le Houerou et al, 1977). Selon Belarbi (2010), dans le bassin versant de la Tafna, la pluie moyenne annuelle est de 350mm. Les précipitations y sont irrégulières et sont ; la plupart du temps ; concentrées sur la saison fraîche.

Belarbi (2010) affirme que les précipitations et les facteurs climatiques dans leur ensemble permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large., en effet, les précipitations agissent directement sur l'alimentation pluviale de l'écoulement de la Tafna, elles dépendent surtout des dépressions atmosphériques d'origine atlantique et méditerranéenne qui traversent le détroit de Gibraltar, la partie nord du Maroc et touche la région de la Tafna, elles se manifestent par des vents d'Ouest et des vents humides vers le Nord du bassin.

- **Régime mensuel des précipitations**

La latitude et l'altitude des stations ont une liaison directe avec l'importance et la fréquence des pluies (Chaâbane, 1993 ; Hassani, 2013). Pour les deux périodes (nouvelle et ancienne), on distingue deux cycles de précipitations ; une période pluvieuse s'étalant du mois d'octobre au mois d'avril, avec des valeurs maximales notées en janvier pour la nouvelle période (46.74mm/an) et en décembre pour l'ancienne période (67mm/an) ce qui en déduction définit les mois les plus arrosés ou les plus humides (Fig. 22).

La période sèche englobe la fin du printemps et le début d'automne ainsi que toute la saison estivale, elle s'étend du mois de mai au mois d'octobre. Les minima des deux périodes (nouvelle et ancienne) se rassemblent au même mois de juillet qui est par définition le mois le plus sec.

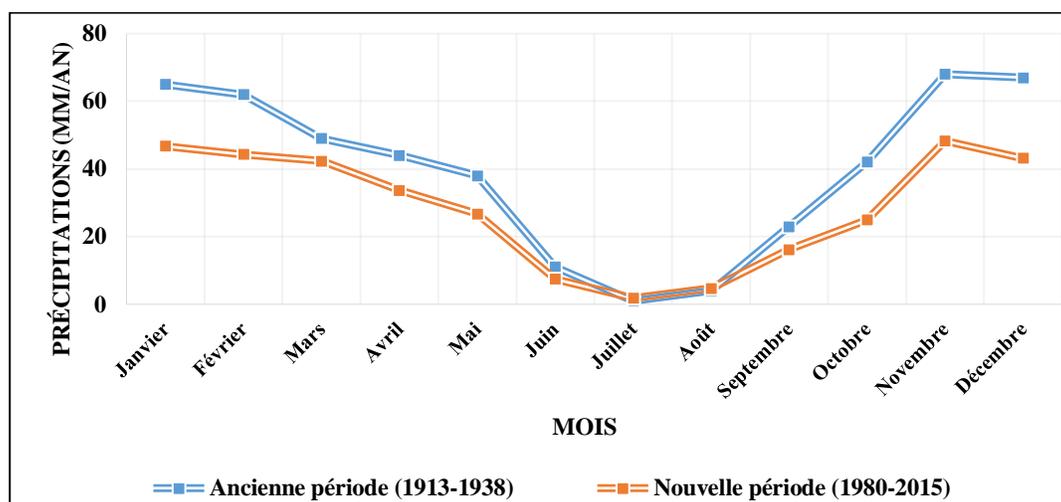


Figure 21: Précipitations moyennes mensuelles des deux périodes.

- **Régime annuel des précipitations**

On a remarqué une tendance à l'aridité à travers les deux périodes qui s'est manifestée par une nette diminution des précipitations moyennes annuelles d'une valeur de 133.83mm/an. L'ancienne période reste la plus arrosée.

- **Régimes saisonniers**

Musset (1943) a mis au point une méthode assez simple et récapitulative des précipitations, elle consiste au calcul d'un coefficient qui considère les précipitations saisonnière et annuelles et en déduit classement des saisons par ordre de pluviosité décroissante, le résultat est un acronyme dont chaque lettre désigne l'initiale d'une saison, donc P. (printemps) ; H. (Hiver) ; E. (été) et A. (automne) ex : HPAE.

$$Crs = P_{sx} / P_a$$

Ps : précipitations saisonnières

Pa : précipitations annuelles

Crs : Coefficient relatif saisonnier de Musset Selon Corre (1961)

Tableau 7: Régimes saisonniers.

| Saisons | Hiver | | Printemps | | Eté | | Automne | | Pluviosité annuelle | régime saisonnier |
|-----------|--------|------|-----------|------|-------|------|---------|------|---------------------|-------------------|
| | P(mm) | Crs | P(mm) | Crs | P(mm) | Crs | P(mm) | Crs | | |
| Zenata AP | 194 | 1,63 | 131 | 1,03 | 16 | 0,13 | 133 | 1,12 | 474 | HAPE |
| Zenata NP | 133,32 | 1,57 | 67,72 | 0,8 | 22,7 | 0,27 | 116,42 | 1,37 | 340,17 | HAPE |

Sur le tableau 5 ci-dessus, on constate que le régime saisonnier est resté inchangé, il est de type HPAE avec une abondance pluviale hivernale voire aussi automnale et une sécheresse estivale.

1.5.2 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen 1953

Bagnouls et Gaussen (1953) ont proposé de rassembler les précipitations et la température en un seul graphe sous la forme d'un diagramme ombro-thermique où l'échelle des températures exprimées en degrés Celsius équivaut au double de celle des précipitations (millimètre) car cette méthode considère qu'un mois est sec, lorsque les valeurs des précipitations (mm) sont inférieures ou égales à celles de la température (°C), donc $P \leq 2T$. Cet indice fait ressortir la période sèche d'une région donnée d'après les interactions des deux courbes, elle donne de bons résultats dans les régions à climat méditerranéen.

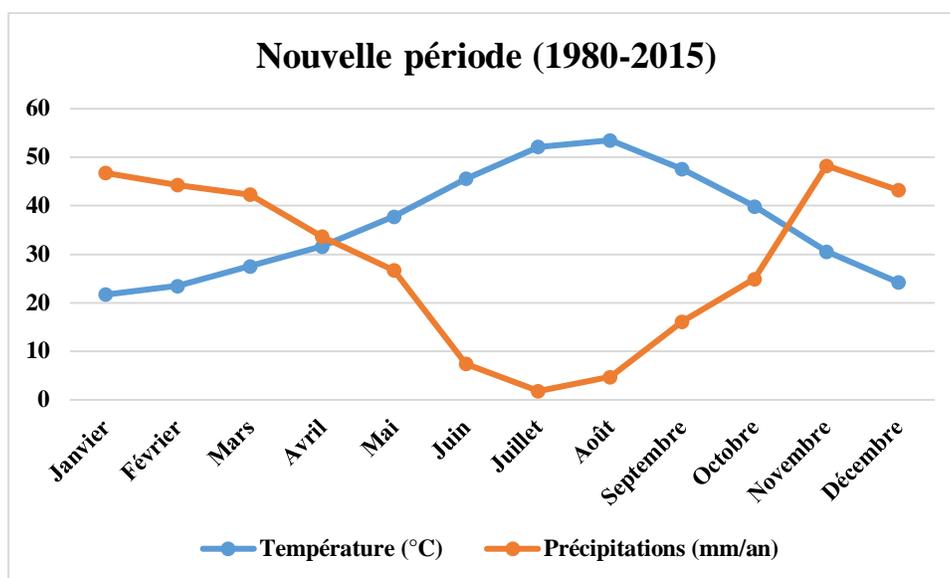


Figure 22: Diagramme ombro-thermique de la nouvelle période (1980-2015).

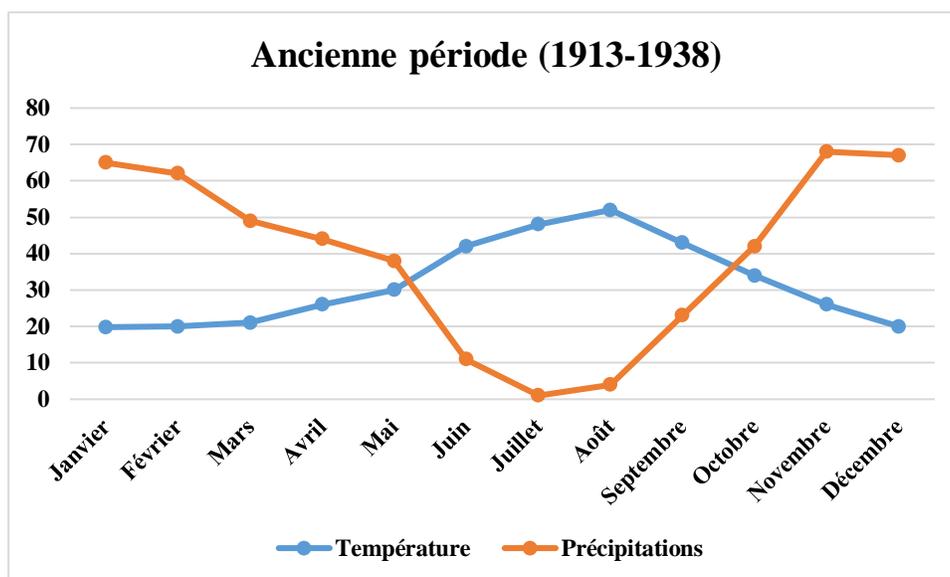


Figure 23: Diagramme ombro-thermique de l'ancienne période (1913-1938).

D'après Ayache (2007), la saison sèche s'étale 6 et 7 mois, coïncide avec l'été et comprend parfois même des pans des saisons printanières et automnales, ce qui correspond parfaitement à nos diagrammes, cependant, dans la nouvelle période, la saison humide semble se prolonger d'un mois (d'avril à octobre) par rapport à l'ancienne période (de mai à octobre) (Fig. 23, Fig. 24). Aussi, la durée de la saison sèche subit fortement l'influence de l'altitude (Bagnouls et Gaussen, 1953), c'est-à-dire qu'en montagne, les températures s'élèvent plus tardivement et diminuent plus tôt qu'en bord de mer.

1.5.3 Indice d'aridité de De Martonne (1926)

Cet indice détermine le degré d'aridité du climat d'une région et qui associe les précipitations moyennes annuelles aux températures moyennes annuelles. Plus la valeur de l'indice est faible plus le climat est aride. Il évalue l'intensité de la sécheresse et l'exprime par la relation suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

I : indice de De Martonne.

P : Précipitation moyenne annuelles (en mm)

T : Températures moyennes annuelles (en °C).

D'après le Tableau 6 et le graphe (Fig. 25) ci-dessous, on conclue une aridification du climat du tempéré au semi-aride.

Tableau 8: Indice de De Martonne.

| | Ancienne période (1913-1938) | Nouvelle période (1980-2015) |
|-----------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Indice de De Martonne | 18.30 | 12.08 |
| Type de climat | Zone tempérée à drainage extérieur | Semi-aride sec |

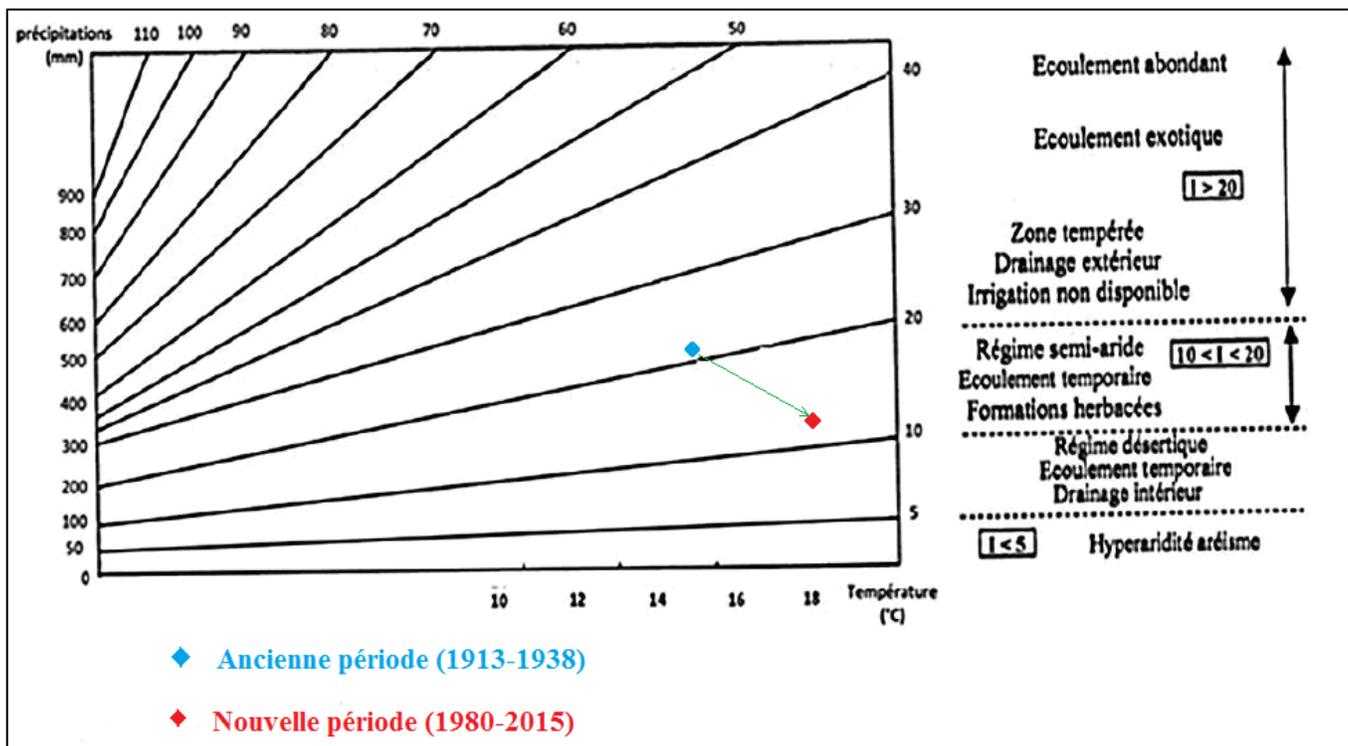


Figure 24: Indice d'aridité de De Martonne.

1.5.4 Quotient pluviothermique d'Emberger Q2 (1933,1955)

Etabli pour la caractérisation du bioclimat en région méditerranéenne, ce quotient pluviothermique requiert l'utilisation d'un diagramme bidimensionnel dans lequel sa valeur calculée est annexée à l'axe des ordonnées et la moyenne du mois le plus froid de l'année « m » est en abscisse. Ainsi, on peut déterminer l'aire bioclimatique d'une station donnée.

Dans un premier temps, ce quotient a été formulé par Emberger (1930, 1955) de la manière suivante:

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2} = \frac{1000 P}{(M+m/2)(M-m)}$$

P : Pluviosité moyenne annuelle (mm/an)

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud ($T^{\circ}k = T^{\circ}C + 273$).

m : Moyenne des minima du mois le plus froid ($T^{\circ}k = T^{\circ}C + 273$).

(M+m/2) : traduit les conditions moyennes de la vie végétale, alors que (M-m) donne une valeur approchée de l'évaporation. Sachant que plus la sécheresse est sévère, plus le quotient est faible.

Puis cette formule a été revue par Sauvage et Daget (1963) sous la forme suivante :

$$Q_3 = \frac{1000}{(M+m/2)+273} \times \frac{P}{M-m}$$

(M et m sont exprimés en degrés absolus °K).

En Algérie, Stewart (1969) SAUVAGE (1960) ont reformulé le quotient pluviothermique d'Emberger à partir de la formule ci-dessous :

$$Q_3 = 3.43 \times \frac{P}{M-m}$$

M et m sont exprimés en degrés Celsius.

La valeur 3,43 est une constante k propre à l'Algérie et au Maroc, elle est attribuée lorsque (M+m/2) est en moyenne égal à +16,1°C. Le tableau 7 ci-dessous suivant regroupe les valeurs du Q2 de la station de Zenata des deux périodes :

Tableau 9 : Valeurs du Q2 d'Emberger

| Période | Q2 | M°C | m°C | P(mm) |
|------------------------------|-------|-------|------|--------|
| Ancienne période (1913-1938) | 64.16 | 32.00 | 6.70 | 474.00 |
| Nouvelle période (1980-2015) | 37.70 | 34.78 | 3.83 | 340.17 |

Sur le climagramme (Fig. 26), on remarque que le bioclimat a nettement changé du sub-humide tempéré à l'aride tempéré.

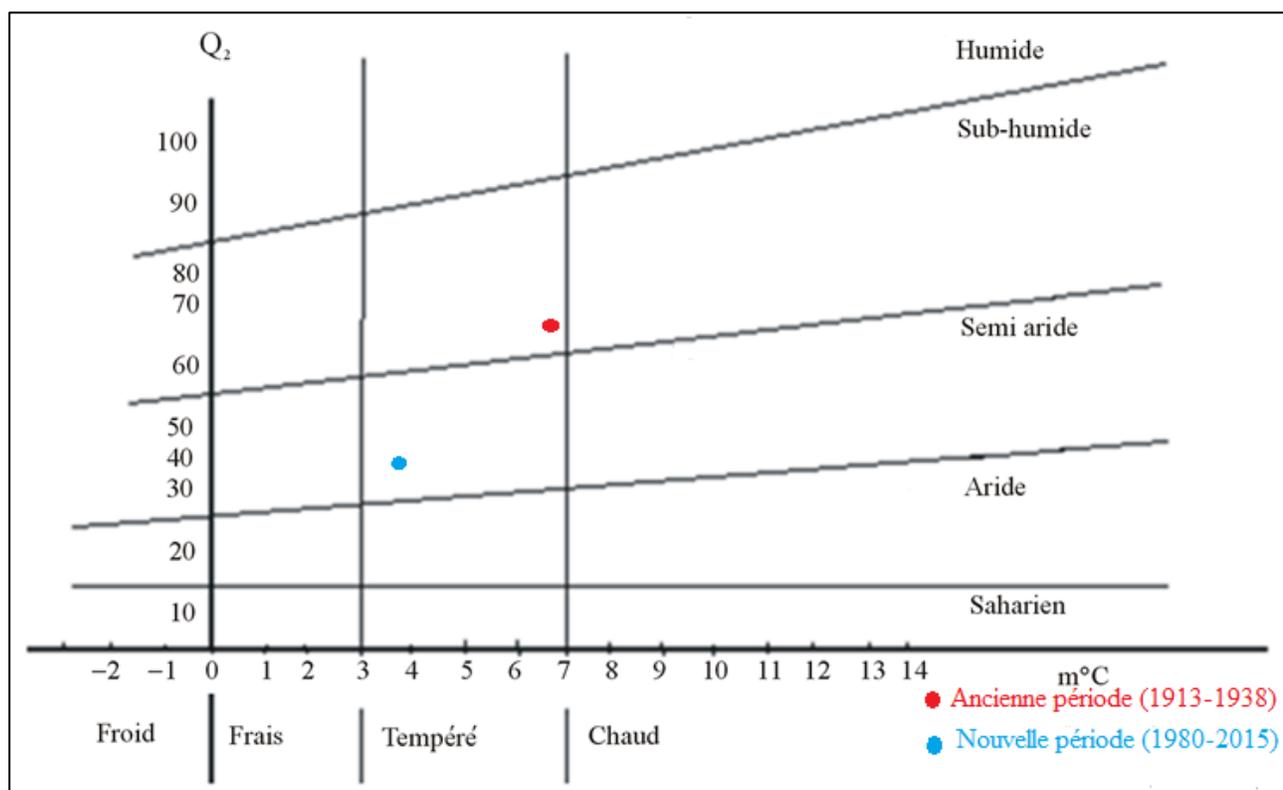


Figure 25: Positionnement des deux périodes sur le Climagramme d'Emberger (1952).

Conclusion de l'étude climatique

L'étude climatique dans son ensemble a fait ressortir l'aridité et l'aridification actuelle du climat de notre la région par rapport à l'ancienne période en raison de :

- un prolongement de la saison sèche dans la nouvelle période vu les températures moyennes mensuelles qui sont plus importantes et la saison humide est moins arrosée qu'avant.
- La diminution nette des précipitations nettement passant d'une moyenne de l'ordre de 600mm/an à moins 300mm/an.
- L'irrégularité des précipitations d'une année à une autre et d'un mois à un autre, avec un déficit hydrique pouvant se produire durant la période humide fraîche.

Ces conditions climatiques se répercutent sur les hydro systèmes par des sécheresses prolongées auxquelles doivent faire face les organismes aquatiques tels les Ephéméroptères.

1.6 Localisation et description des sites d'étude

Les stations sélectionnées dont les données sont présentées dans le tableau 8, sont toutes localisées dans le bassin versant de la Tafna (Fig. 27).

Tableau 10: Données géographiques et physiques des sites d'étude du bassin de Tafna Algérie.

| Sites | Longitude W | Latitude N | Altitude (m) | Substrat dominant | Turbidité | Végétation riveraine |
|-------|---------------|----------------|--------------|-------------------|-----------|----------------------|
| CH0 | 1° 13' 6.71" | 34° 47' 20.19" | 1022 | P | C | Ps |
| CH1 | 1° 10' 55.00" | 34° 49' 15.00" | 850 | P | C | Ps |
| CH2 | 1° 10' 0.03" | 34° 50' 25.91" | 806 | P | C | Ps |
| CH4 | 1° 04' 26.49" | 34° 55' 57.21" | 552 | P,V,L | T | Ps |
| KH1 | 1° 34' 11.63" | 34° 37' 59.18" | 853 | P,S | C | Hb |
| SK1 | 1° 17' 1.83" | 34° 51' 23.41" | 700 | P,S | C | Ps |
| IOM | 1° 04' 51.60" | 34° 47' 56.77" | 870 | P,V,L | T | Ps |
| IRE | 1° 23' 30.07" | 35° 04' 56.06" | 80 | V,L | T | Ar |
| TGB | 1° 18' 44.14" | 34° 41' 33.78" | 1090 | P | C | Hb |
| TGA | 1° 20' 13.08" | 34° 40' 14.67" | 787 | P,G,S | T | Ps |
| TFF | 1° 26' 42.66" | 34° 41' 58.16" | 665 | P,G,S | T | Ps |
| TPC | 1° 25' 32.00" | 35° 12' 4.11" | 45 | V,L | T | Ar |

P: Pierres/Galets, G: Gravier, S: Sable, L: limon, V: Vase, C: Claire, T: Turbide, Ps: pluristratifiée, Ar: Arbustive, Hb: Herbacées

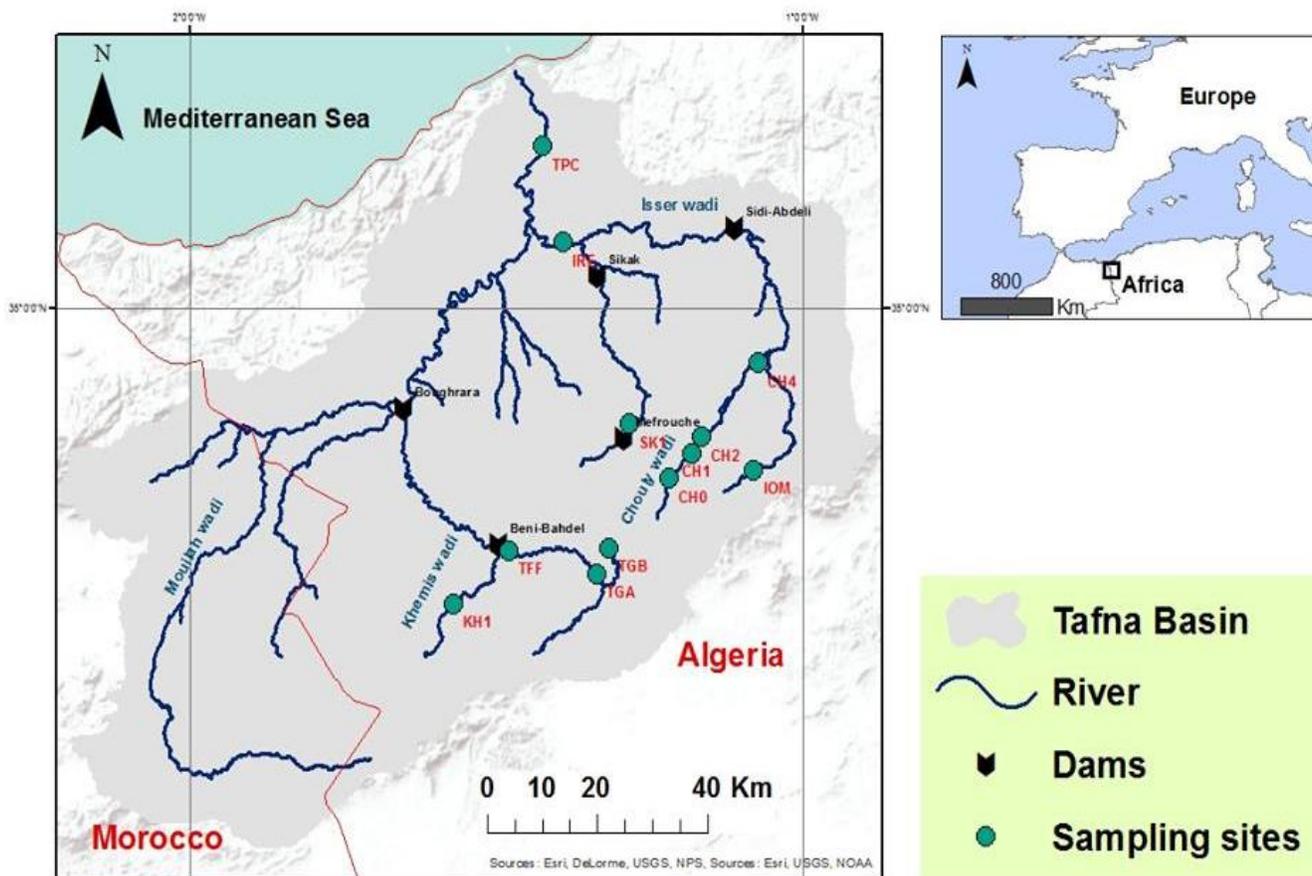


Figure 26: Carte de localisation des stations d'étude.

- **Station Tafna Ghar Boumaaza (TGB)**

Sis au nord de Sebdou, l'oued est formé par la résurgence de la rivière souterraine de Ghar Boumaâza, entouré d'une garrigue à affleurement rocheux carbonaté tapissée de thérophytes et de cultures céréalières et maraîchères. C'est une station ensoleillée avec une absence totale du couvert végétal, la granulométrie y est grossière comprenant des blocs, galets et pierres allant de 10 à 50cm de diamètre avec une végétation aquatique éparse composée de *Ranunculus trichophyllus*, *Potamogeton densus* et d'algues filamenteuses (Ph. 1). Le débit de l'oued dépend non seulement de l'intensité du flux acheminé de Ghar Boumaâza mais aussi des pompages d'eau par les riverains. L'eau y est peu profonde et claire mais on a noté, une pollution ponctuelle faite par le lavage de linge et de voitures et le rouissage de l'alfa d'où une légère turbidité de l'eau.

- **Station Tafna Ain Ghoraba (TGA)**

Sise à 6km à l'aval de la commune de Sebdou sur le tronçon Sebdou-Maghnia, près d'Ain Ghoraba, elle se situe dans une vallée aux rives inclinées ; surtout la rive gauche ; avec un affleurement rocheux et une ripisylve assez dense mais qui n'ombrage que très peu le cours d'eau (olivier sauvage, laurier rose *Nerium oleander*..) et une garrigue formée de plusieurs phanérogames comme le chêne vert *Quercus ilex*, *Pistachia lentiscus*, *Eucalyptus globulus*, etc, ainsi que d'autres herbacées comme le Diss *Ampelodesma mauritanicum* et le palmier nain *Chamaerops humilis* (Ph. 2). Le substrat est formé de gros blocs hétérométriques (30-50cm) et éléments plus fins. L'eau y est très turbide ; conséquence des rejets d'eaux usées domestiques ainsi que des déchets de huileries en amont de la station.

- **Station Tafna Taffessera (TFF)**

Située à 14 km de la station TGA à l'entrée du barrage de Béni Bahdel ; sous le pont de la route de Tlemcen – Khémis; le débit y est assez fort étendu sur un lit large parfois de 13-15m sur un substrat formé de galets et de pierres mais aussi d'éléments fins et de vase (Ph. 3), la turbidité de l'eau dépend des activités agricoles, la végétation aquatique se résume au *Potamogeton natans* dans les mouilles et d'algues filamenteuses dans les seuils. La ripisylve est assez dense, elle est formée de Peuplier blanc *Populus alba*, de figuier *Ficus carica* et de laurier rose *Nerium oleander*.

- **Station Khémis (KH1)**

Elle se trouve à 1km avant le village de Khémis, sous le pont d'Aïn Ghbali ; pont reliant la route du village de Khémis et le village d'Ouled Moussa. La station longe une haute vallée encaissée avec un lit pas très large 4-6m composé de substrat hétérométrique de blocs et de roches formant une succession de pools et de riffles avec des mini cascades au débit très fort et à l'eau fraîche et limpide avec un fond pauvre en éléments fins (Ph. 4). La station est d'une vue générale très ombragée avec une végétation très dense de la végétation dont le lentisque *Pistacia lentiscus* et le figuier *Ficus carica*.

- **Station Sikkak (SK1)**

Sise à l'aval d'El Ourit, dans une vallée aux pentes très abruptes formée de grès de Boumediène et de calcaire, elle fait partie de l'oued Saf-Saf ; affluent de l'amont du Sikkak. Avant la création du barrage El Meffrouch en 1940 et d'être alimenté par plusieurs sources et bassins d'El ourit, l'oued prenait sa source à 1100m d'altitude dans la région de Terny et portait le nom d'oued El Meffrouch jusqu'à l'amont des cascades d'El ourit. La station est très ombragée grâce à sa ripisylve formée en grande partie par le peuplier blanc *Populus alba* d'où le nom de l'oued Saf-Saf « peuplier » mais aussi de frêne *Fraxinus sp.*, de laurier rose *Nerium oleander*, de diss *Ampelodesma mauritanicum*, on y retrouve aussi plein de bryophytes *Cratoneurum commutatum* et de fougères *Adiantumcapillus-veneris*. L'oued est essentiellement composé de dalle calcaire et rocher avec fond de lit pierreux ou caillouteux (Ph. 5). La station montre une pollution de déchets solides non négligeable causée par les déchets domestiques de riverains mais aussi des déchets de plus grande taille (pneus, grosses pièces métalliques...) qui ont été entraînés par les lâchées du barrage d'El Meffrouch de 2008 après près 20 ans de rétention.

- **Station Chouly (CH0)**

Située à la partie amont de l'oued Chouly dans le village Beni Ghazli. Une eau très fraîche et claire y coule dans un lit plutôt étroit de 50cm à 4m pour un lit majeur de 8 à 9m (Ph. 6), sur un substrat composé de blocs et de galets hétérométriques et de dalle rocheuse par endroits. Le débit moyen est aussi alimenté par une source situé sous une roche à même l'oued. Sur sa rive gauche, la station reçoit un petit affluent temporaire. Le débit souffre des nombreux prélèvements d'eau que soit par le pompage ou part les petits canaux de dérivation.

- **Station Chouly 1 (CH1)**

Elle se situe à l'amont du village de Yebdar sous le pont en aval du village d'Ouled Sid El Hadj dans une vallée encaissée à affleurement rocheux, c'est une station plus au moins ombragée (Ph. 7) avec une ripisylve formée de peuplier *Populus alba*, de laurier rose *Nerium oleander*, de frêne *Fraxinus axelsia* et de Figuier *Ficus carica*, elle est aussi truffée de végétation aquatique comme la menthe *Mentha rotundifolia*, l'arche aquatique *Apium gravolens*, de mousse aquatique *Fontinalis antipyretica* sur fond de galets et pierres allant de de 5 à 30cm de diamètre. L'eau fraîche et claire d'un débit moyen coule dans un lit mineur qui est étroit 1-4 m par rapport au lit majeur qui atteint plus de 10m de largeur. Les blocs, galets et pierres composent la quasi-totalité du substrat. L'activité agricole a un fort impact sur la constance du volume du débit.

- Station Chouly (CH2)

Située aussi en amont de l'oued Chouly et à l'aval du village de Yebdar ; elle est traversée par un gué. L'eau ; légèrement moins claire que celle des stations de l'amont ; coule sur un lit mineur en forme de petites tresses de moins d'1m sur un lit majeur d'environ 20m ; les blocs et galets hétérométriques composent le substrat quand ce n'est pas un affleurement rocheux qui couvre tout le lit (Ph. 8). Malgré la présence d'une bonne végétation riveraine (*Pistachia lentiscus*, *Nerieum oleander*. Etc) la station est totalement à découvert. Cette station n'échappe pas aux prélèvements d'eau à des fins agricoles ou autre et fait aussi office de station de lavage des voitures des riverains qui stationne à même le lit de l'oued.

- Station Chouly 4 (CH4)

Elle se situe au milieu des hautes plaines d'Ouled El Mimoum, juste avant la confluence Isser-Chouly. Elle est traversée par un pont routier. Le lit mineur y est assez large de 8 à 10m dans les zones à courant lent à très lent et de 2 à 3m dans les rapides (Ph. 9). L'eau y est très turbide et ce à cause des activités agricoles et des rejets d'élevage de bétails à même la station. Les blocs et les galets couverts de périphyton composent une grande partie du substrat quand ce ne sont pas les éléments fins en zone de dépôt. La station est assez ouverte car la ripisylve est assez éparse et n'offre pas beaucoup d'ombrage (saule *Salix pedicellata*, frêne *Fraxinus sp* et le laurier rose *Nerium oleander*). Dans cette station aussi, l'irrigation consomme du débit de l'oued.

- Station Isser amont (IOM)

Cette station se trouve tout juste en aval de la source d'Aïn Isser qui alimente l'Oued Isser sur la route entre Ouled Mimoun et Sebdou. Le débit y est moyennement faible car l'eau de l'oued est fortement sollicitée par les activités agricoles, l'oued est très dégradé en raison des rejets domestiques (liquides et solides) et d'élevage de bovins ; l'eau est turbide et les petits galets se trouvant sur un fond limono-argilo-sableux fortement colmaté (Ph. 10). La station est bien ombragée par une ripisylve typiquement méditerranéenne dominée par *Populus alba* et *Fraxinus angustifolia* et dont le schéma syntaxinomique est de type Clematido cirrhosae-Populion albae selon Bensettiti (1999). Sans oublier le figuier, le laurier rose et les ronces *Rubus sp*. On note aussi la présence de l'ache aquatique *Apium graveolens* et de Bryophytes, en plus, de différentes Graminées et de menthe aquatique.

- Station Isser Remchi (IRE)

Elle est traversée par l'un des ponts routiers qui se trouve sur la R.N. n°22 Tlemcen – Oran ; en aval de Remchi, cette station est ornée d'une ripisylve composée de lauriers roses et de joncs ; l'eau fortement turbide coule sur un substrat formé de limons et de sables avec quelques blocs (Ph. 11). Elle recevait, en

amont, les eaux de l'oued Sikkak avant la construction du barrage et est tout près (centaines de mètres) de la confluence Isser-Tafna. Cette station est fortement perturbée de par sa qualité d'eau et son débit et ce, par les nombreux rejets et pompages mais aussi la construction hydraulique de Sikkak.

- **Station Tafna Fatmi El Arbi (TPC)**

Station de la basse Tafna, elle se situe près du village de (Fatmi el Arbi) Pierre du chat ; donc après sa confluence avec l'Isser sous un second pont de la route national n°22 Tlemcen – Oran. L'eau fortement turbide et d'une petite profondeur (10-50cm) y coule avec un débit moyen sur un lit allant de 10 à plus de 25m ; composé de blocs et de galets liées par un substrat fin argilo-limoneux et une végétation très réduite (Ph. 12). Au niveau de cette station, se jette l'oued Ed-Diab qui est un oued temporaire fortement salé (Yadi, 1991).

2. Méthodes

Notre méthodologie de travail est une trilogie alliant la taxonomie classique morphologique basée sur l'observation minutieuses des caractères, de l'écologie descriptive des espèces à travers l'étude de leur distribution dans les différents habitats et un troisième volet de taxonomie moléculaire afin de confirmer l'identification et de situer une espèce donnée avec la même espèce de pays différents.

2.1 Protocole d'échantillonnage sur terrain

- **Périodicité**

La période d'échantillonnage; comportant un prélèvement mensuel; a été effectuée entre janvier 2015 et décembre 2016. Cet échantillonnage consistait en des prélèvements faunistiques pour dénombrement et identification des larves, la conservation de larves dans de l'éthanol pure pour conservation pour l'analyse biomoléculaire et collecte de larves vivantes pour élevage des adultes et des mesures physicochimiques.

- **Mesures des paramètres physicochimiques**

Des mesures des paramètres physicochimiques ont été effectuées à l'aide d'un appareil multiparamètres marque WTW Multi 340i, il s'agit de l'Oxygène, la température, le potentiel d'Hydrogène (pH), la conductivité électrique (Ec). Les mesures ont été répétées mensuellement durant un cycle hydrologique complet.



Photo 1: Station Tafna Ghar Boumaâza TGB.



Photo 4: Station pont Khémis KHI.



Photo 2: Station Tafna Ain Ghoraba TGA.



Photo 5: Station Sikkak El ourit SK1.



Photo 3: Station Tafna Aval village Tafesra TFF.



Photo 6: Station Chouly village Beni Ghazli CH0.



Photo 7: Station Chouly Amont village Yebdar CH1.



Photo 10: Station Amont Village Ouled Mimoun IOM.



Photo 8: Station Aval village Yebdar Chouly CH2.



Photo 11: Station Aval Remchi IRE.



Photo 9: Station Aval village Ouled Mimoun CH4.



Photo 12: Station Pierre du Chat TPC.

- **Protocole d'échantillonnage de la faune**

On a réalisé des prélèvements non limitatifs dans divers habitats. Nous avons utilisé principalement un filet Surber de 500µm de vide de maille. Nous avons effectué un premier tri des échantillons vivants au terrain, ce qui est souvent préférable à la fixation du contenu total du filet et ce qui a permis aussi un meilleur contrôle direct du succès de la collecte, une meilleure conservation des spécimens, des spécimens moins endommagés et un gain de temps considérable, les débris retenus par un maillage plus fin inutilement complique le tri (Hauer & Resh, 2007).

En période de très basses eaux (moins de 10cm de profondeur), le matériel d'échantillonnage a été adapté en raison de la faible voire très faible profondeur de l'eau des oueds échantillonnés.

On a aussi utilisé, une passoire à riz (150µm de vide de maille) pour échantillonner dans la végétation et dans le substrat à de très faibles profondeurs ou les petites rigoles présentent dans les cours d'eau lors des étiages habitats en balayant par les racines et les plantes submergées, en grattant la surface couverte de mousse de rochers, et tamisage des feuilles pourries. Cette méthode donne des résultats semi-quantitatifs comparables lorsqu'elle est appliquée d'une manière standardisée, par exemple, 10 'balaie', 10 " coups de filet (troubles à env. 400 cm² de substrat) pour chacun des différents mésohabitats (Hauer & Resh, 2006.).

La pince souple a été d'une grande utilité et efficacité pour cueillir les spécimens sur le vif et surtout intacte ce qui a été d'une grande aide pour le bon déroulement de l'identification.

Les stades ailés récoltés sont issus d'élevages réalisés in vivo, dans un aquarium muni d'un bulleur pour oxygéner l'eau, de cailloux, de quelques feuilles mortes et le tout a été couvert de tulle. On a échantillonné des larves avec des fourreaux alaires noires qui sont proches de l'envol, une fois qu'on a eu le subimago on n'attend 1 à 3 jours pour avoir l'imago.

Les spécimens ont été triés au laboratoire ou sur le terrain, la quazi-totalité de ces derniers a été conservée dans de l'alcool à 75% et celle destinée à la génétique à 100%.

Surtout pour les Epheméroptères, le matériel et les techniques de Hauer & Resh (2007) ont de nombreux avantages par rapport aux techniques plus quantitatives d'échantillonnage (Pescador et al., 1997): le petit filet ou dans notre cas la passoire est apte à l'emploi, même dans des circonstances restreintes comme pour une très faible profondeur de l'eau, le long du bord cassé de bancs de galets, parmi les racines immergées, ou dans des conditions proches et dans des petits habitats inégalement distribués. Le fait de gagner du temps permet un plus grand nombre d'échantillons à prélever par unité de temps, d'accroître l'efficacité et la comparabilité, et réduire les coûts (Hauer & Resh, 2007).

2.2 Protocole au laboratoire

2.2.1 Tri et identification des spécimens

L'identification a comporté deux premières étapes, une première observation des spécimens sous loupe binoculaire, la deuxième, quand il y a nécessité d'observer les caractères morphologiques qui ne sont pas bien visibles comme la forme et la disposition des pièces buccales ; la disposition des soies sur les pièces buccales ; la pilosité des pattes, tergites ou des branchies (Studemann et al. 1992), ces caractères ensembles ou séparément constituent des critères d'identification pertinents.

Pour la première étape d'identification (différentiation des familles et genres), on s'est basé non seulement sur les différents caractères morphologiques utilisés dans la littérature (Bauernfeind & Soldán, 2012; Jacob, 2003; Soldán & Gagneur, 1985; Soldán & Thomas, 1983b; Studemann et al., 1992). E.g.: les cerques, les pièces buccales et leurs formes qui sont très utiles et importantes dans ce processus, les tergites et leurs différents patterns, formes et soies des branchies...) mais également sur leurs répartitions biogéographiques (régional, local, endémique, cosmopolite...) et sur leurs habitats types. Après avoir confirmé le genre, on a soit déterminé le groupe d'espèces (ex : *Baetis* du groupe d'espèces *Rhodobaetis, alpinus*), soit à l'espèce (rarement) (ex : *Caenis luctuosa*), c'est dans cette étape que les montages sont devenus nécessaires.

Le montage nous a permis de voir les détails des pièces buccales, des pattes et autres des spécimens qui doivent être de préférence le moins usés possible afin de bien voir tous les caractères et éviter les artéfacts.

La méthode de montage consiste à faire une cuisson du corps dans du KOH chauffé puis arrêt de la lyse par de l'acide acétique puis immersion dans de l'alcool absolu et enfin disposition sur la lame dans une goutte d'Euparal (milieu d'inclusion) alors que le baume du Canada est utilisé dans un tout autre protocole avec la créosote qui sert à éclaircir.

- Protocole de montage

Ce protocole nous a été procuré par le Musée de Zoologie de Lausanne. Les larves sont stockées dans un eppendorf avec de l'alcool absolu pur. Chaque individu est transféré dans une boîte de pétri de petit diamètre, avec de l'alcool. Les branchies sont montées immédiatement entre lame et lamelle dans de l'Euparal, après un rapide séchage sur un papier absorbant. L'individu est ensuite séché rapidement sur un papier puis trempé dans une solution de soude caustique (KOH) à 10%. Que l'on chauffe 1 à 2 minutes sur la plaque chauffante thermostat 3 – 4. Lorsqu'il existe des pièces qui n'ont pas été digérées avant, celle-ci doivent rester plus longtemps dans la solution de KOH. Passage sur papier absorbant puis on stoppe la réaction en passant l'individu dans une solution d'acide acétique concentré. 1-2 minutes. Passage sur papier absorbant et on remet l'individu dans l'alcool absolu. Montage des diverses pièces,

pattes, abdomen, pièces buccales etc, sur lame dans de l'Euparal (Ph. 13). Séchage à plat quelques jours puis les lames sont mises dans une boîte de stockage.

Quand on s'appuie sur les caractères utilisés dans la bibliographie pour différencier les espèces ce n'est pas pour autant que l'on nommerait un tel un tel mais ça reste une référence pour la détermination. On ne peut pas mettre un nom sur chaque espèce pour le moment (sans l'aide de la génétique).

Quand on s'appuie sur les caractères utilisés dans la bibliographie pour différencier les espèces ce n'est pas pour autant que l'on nommerait un tel un tel mais ça reste une référence pour la détermination. On ne peut pas mettre un nom sur chaque espèce pour le moment (sans l'aide de la génétique). Des photos des spécimens ont été prises sous loupe binoculaire, microscope et le visionary LK.

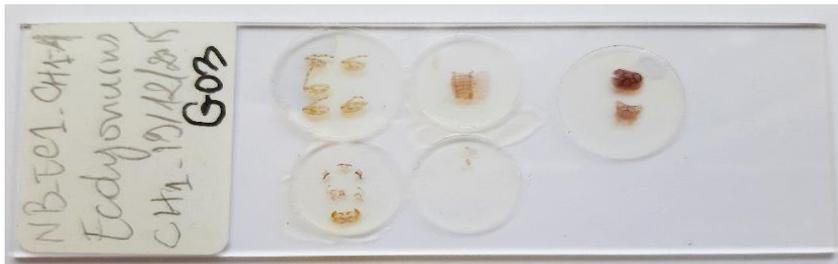


Photo 13: Lame de montage.

2.2.2 Taxonomie moléculaire

Une troisième étape de l'identification a été le recours à une méthode d'analyse biomoléculaire, une étape décisive qui a comporté une PCR précédé par une extraction d'ADN suivi par une réaction de séquence enfin un séquençage Sanger.

Les principales étapes de la taxonomie ADN utilisée sont :

- **Tri de morphologies** : au départ, on procède au tri des morphologies et sélection des spécimens avec prise de photos des spécimens (individu entier faces ventrale et dorsale) avant l'analyse biomoléculaire.
- **Analyse biomoléculaire** : laquelle va être de façon simplifiée comme suit : Extraction ADN → PCR - Choix du gène à utiliser e.g. CO1 et le choix des amorces → Purification → Réaction de séquence → Séquençage. Cette méthode de biologie moléculaire est appelée le barcoding ou barcode moléculaire (Fig. 28) et le gène qu'on a utilisé est le gène mitochondrial CO1.

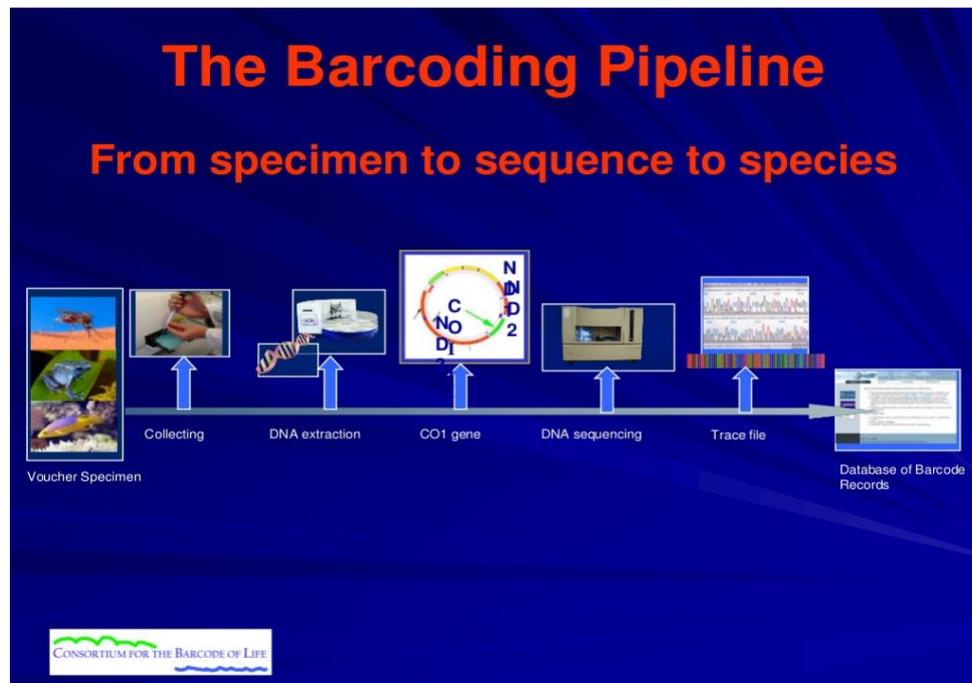


Figure 27: La méthode du barcoding moléculaire (<https://www.slideshare.net/CBOLAdelaide2011/schindel>).

2.2.2.1 Barcode moléculaire

Les organismes vivants de la même espèce partagent la même information génétique contenue dans l'ADN, ce qu'on appelle le barcode moléculaire est une séquence d'un fragment d'ADN. C'est grâce à cette séquence que l'on peut déterminer l'appartenance d'un individu à une espèce donnée. Ce qui fait de lui un outil d'identification taxonomique.

- **Le gène mitochondrial COI** : Ce gène est un fragment du génome mitochondrial codant pour la première sous-unité de la cytochrome oxydase (COI) (Fig. 29), c'est une protéine qui intervient dans la chaîne respiratoire de la mitochondrie. Ce gène en particulier est facile à séquencer vu qu'il est présent en grands nombres de copies dans les cellules et possède un taux de mutations dans le temps qui est très faible au niveau intraspécifique mais qui est en revanche élevé au niveau interspécifique. Et donc, les individus de la même espèce vont avoir les mêmes séquences.

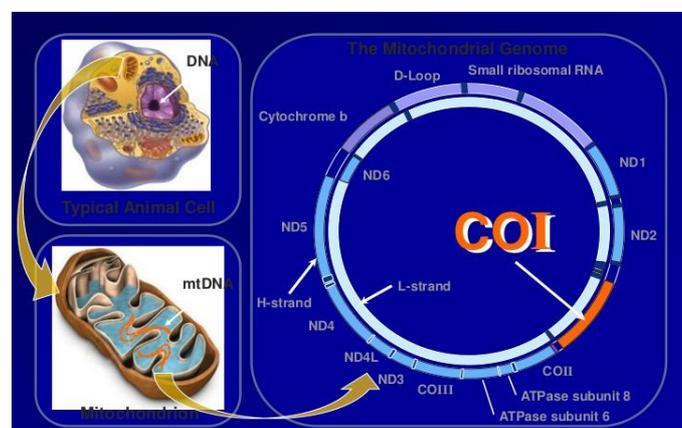


Figure 28: L'ADN mitochondrial COI (<https://www.slideshare.net/CBOLAdelaide2011/schindel>).

2.2.2.2 Protocole d'extraction de l'ADN des Ephémères

Le protocole suivant a été rédigé par Maude LIEGEOIS de l'Université de Lausanne.

Tout d'abord, chaque individu (éphémère) est mis dans un tube eppendorf dans de l'alcool absolu (Ethanol 96% ou 100%). Pour effectuer l'extraction de l'ADN, on suit les étapes suivantes :

1. Sortir l'éphémère du tube à l'aide d'une pince. S'il y a les branchies dedans les laisser, il faut juste prendre la partie principale. Garder les tubes avec l'alcool pour la suite.
2. Eponger chaque éphémère sur un kleenex propre puis les mettre dans un tube d'H₂O milli-Q (850µl) (Ph. 14) pendant 10 à 15 minutes.



Photo 14: Appareil Milli-Q

3. Eponger à nouveau chaque éphémère sur un kleenex propre et les placer dans un S-Block (un individu par puits), bien essuyer la pince entre 2 individus afin d'éviter toute contamination.
4. Ajouter 180µl d'ATL + 20% de Protéïnase K dans chaque puits (Pl. 1), bien immerger les individus mais surtout ne pas les écraser.

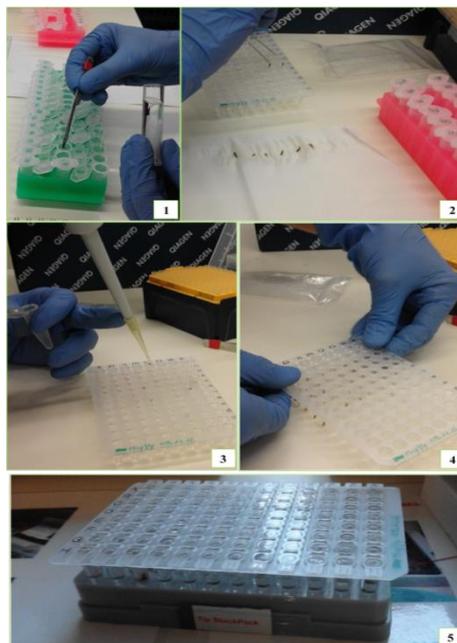


Planche 1: Etape A : 1. Mettre les éphémères dans de l'eau H₂O Milli-Q. 2. Eponger les éphémères. 3. Ajouter le buffer ATL + Protéïnase K. 4. Operculer la plaque. 5. Plaque operculée.

5. Operculer la plaque et incuber « overnight » à 56°C sous agitation (50rpm) (Pl. 2).
6. Centrifuger le lendemain en mode « short » pour faire descendre la condensation dans les puits (pour éviter la contamination lorsqu'on enlève l'opercule). Ensuite, sortir chaque individu et les remettre dans leur tue d'origine dans l'Ethanol absolu. Bien essuyer la pince entre chaque individu. S'il y a des pattes ou autres morceaux qui se sont décrochés pendant la digestion, il faut aussi les prendre.
7. Faire l'extraction normalement en suivant le protocole du robot Qiagen BIOSPRINT (Ph. 15).



Planche 2: Etape B : 1.

Vortemp. 2. Incuber overnight. 3. Fin d'incubation. 4. Observation de la plaque. 5. Exuvies des larves d'éphémères résultant de l'extraction.

Incubateur agitateur

2.2.2.3 Purification de l'ADN

On réalise la purification de l'ADN obtenu suivant le protocole Qiagen à l'aide du robot BIOSPRINT (suivre le Protocole du robot).

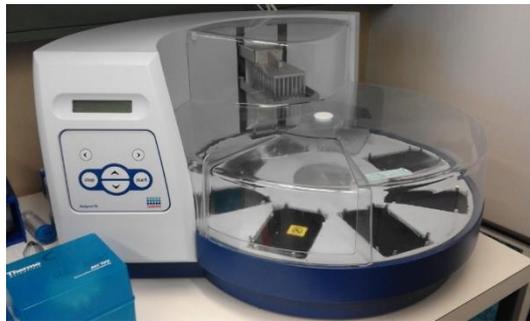


Photo 15: Robot Qiagen BIOSPRINT.

2.2.2.4 Concentrations d'ADN

On vérifie les concentrations et la pureté de l'ADN grâce au Spectrophotomètre (Nanodrop) en suivant le protocole (valeurs attendues entre 10 et 40ng/μl) (Pl. 3).



Planche 3: Etape C : 1. Spectrophotomètre Nanodrop. 2. Courbe de la quantité d'ADN d'un échantillon.

2.2.2.5 Polymerase Chain Reaction PCR

- Définition

La Polymérase Chain Reaction dite PCR est une technique qui permet la réplication in vitro d'un fragment d'ADN en plusieurs millions de copies et ce, à partir d'une très faible quantité d'échantillon d'ADN à la base et en quelques heures.

- Principe

La PCR consiste en une succession de plusieurs cycles (en moyenne entre 20 à 40 cycles) qui se répètent en boucle, chaque cycle est caractérisé par 3 paliers de température ou 3 réactions chimiques se

produisent. Il s'agit de réaliser une succession de réactions de réplication d'une matrice double brin d'ADN.

Pour réaliser ce processus, on prépare un milieu réactionnel contenant l'ADN, les amorces, la Taq polymérase et les dNTPs mais aussi, un buffer (tampon) pour maintenir un pH optimal et des ions magnésium (MgCl₂) afin d'assurer une concentration saline optimaux pour le bon fonctionnement de l'enzyme (Fig. 30).

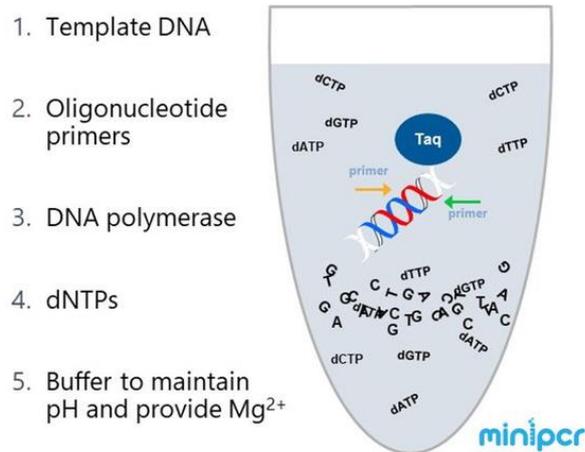


Figure 29: Milieu réactionnel de la PCR

(<https://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-3-genetics/35-genetic-modification-and/pcr.html>)

- **ADN** : Donc, l'ADN à amplifier qu'on a extrait des éphémères et purifié.
- **Amorces/primers** : Les amorces sont au nombre de deux fragments d'ADN courts contenant en général d'une vingtaine de désoxyribonucléotides qui vont s'hybrider sur un seul brin d'ADN chacune (Fig. 31) afin d'amplifier le brin ADN ou bien séquence dans les deux sens Forward et Reverse) et ce, par complémentarité des bases, ce qui va induire par la suite à la création de nouveaux ADN doubles brins.

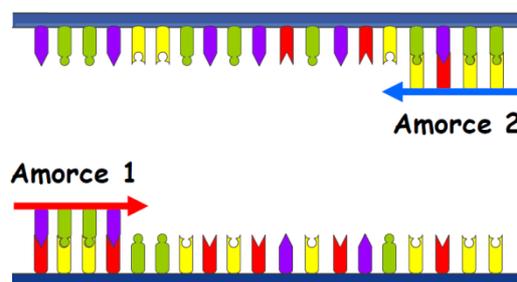


Figure 30: Hybridation des amorces (<https://ed414-openlab.unistra.fr/les-tp/adn-et-genetique-2009-2012/pour-preparer-le-tp/la-pcr-quest-ce-que-cest/>).

- **Enzyme Taq polymérase** : On utilise la Taq polymérase qui est une enzyme de synthèse qui va se fixer au brin d'ADN grâce à l'amorce et synthétiser un nouveau brin d'ADN et composer un double brin en imbriquant les dNTPs (Fig. 32).

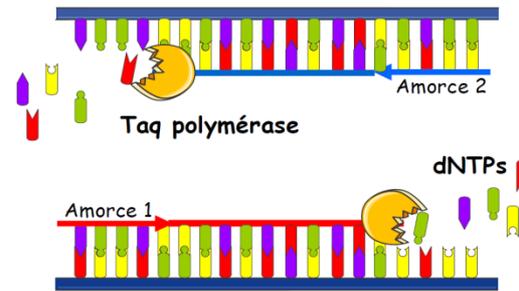


Figure 31: Synthétisation d'un nouveau brin d'ADN par la fixation des dNTPs par l'enzyme Taq polymérase (<https://ed414-openlab.unistra.fr/les-tp/adn-et-genetique-2009-2012/pour-preparer-le-tp/la-pcr-quest-ce-que-cest/>).

- **Les DésoxyriboNucléotides-Tri-Phosphates (dATP, dCTP, dGTP, dTTP) :** Les DésoxyriboNucléotides-Tri-Phosphates « dNTPs » sont des molécules de base, qui constituent l'ADN, utilisés par la Taq polymérase pour la synthèse du nouveau brin d'ADN complémentaire.

- **PCRisation**

La réaction de la PCR est assurée par thermocycleur où vont s'effectuer en répétition 3 étapes par cycle, ces étapes sont conditionnées par des températures précises, ce sont la dénaturation, hybridation (annealing) et extension des amorces (Fig. 33). Le thermocycleur permet de programmer plusieurs cycles à des températures bien distinctes auxquels seront soumis nos milieux réactionnels qui se trouvent dans les puits de notre plaque ADN.

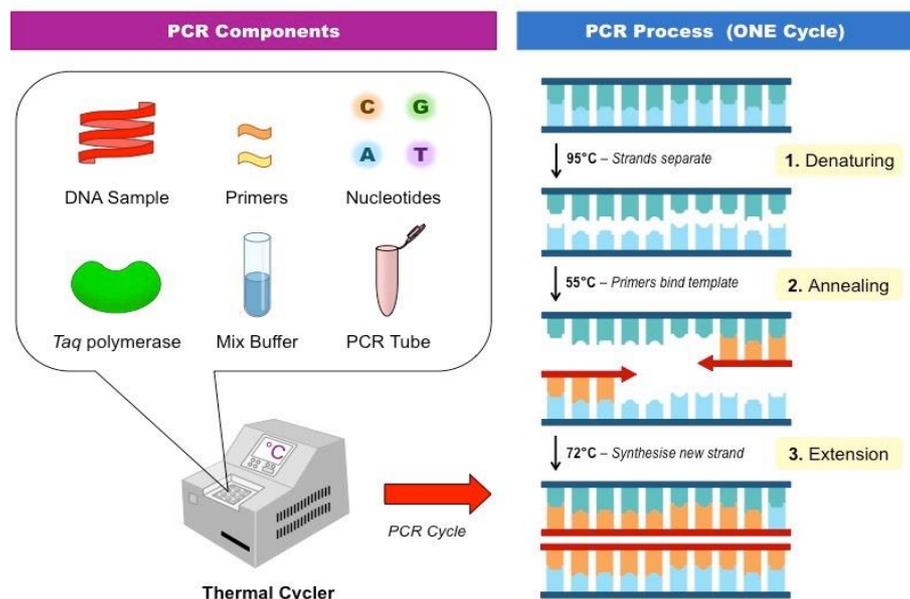


Figure 32: Synthèse du procédé de la PCR

(<https://ed414-openlab.unistra.fr/les-tp/adn-et-genetique-2009-2012/pour-preparer-le-tp/la-pcr-quest-ce-que-cest/>)

- **La dénaturation :** C'est la dénaturation des doubles brins d'ADN par l'effet de la température qui est à 95°C qui va rompre les liaisons d'hydrogènes ce qui va induire à la séparation des deux brins et l'obtention des monobrins dans le milieu réactionnel (Fig. 34).

- **L'hybridation** : Encore sous l'effet d'une température allant de 50°C à 65°C, les deux amorces lesquelles se trouvent en grand nombre dans le milieu, vont se fixer sur leurs bases complémentaires, c'est ce qu'on appelle l'hybridation des amorces (Fig. 34).
- **L'extension** : L'extension des amorces se produit à une température de 72°C, la Taq polymérase viendra compléter le brin où se sont fixées les amorces comme la tête d'une fermeture éclair, l'enzyme va allonger la séquence d'une amorce en y incorporant des désoxyribonucléiques complémentaires de la séquence de la matrice à laquelle elle est hybridée (Fig. 34).

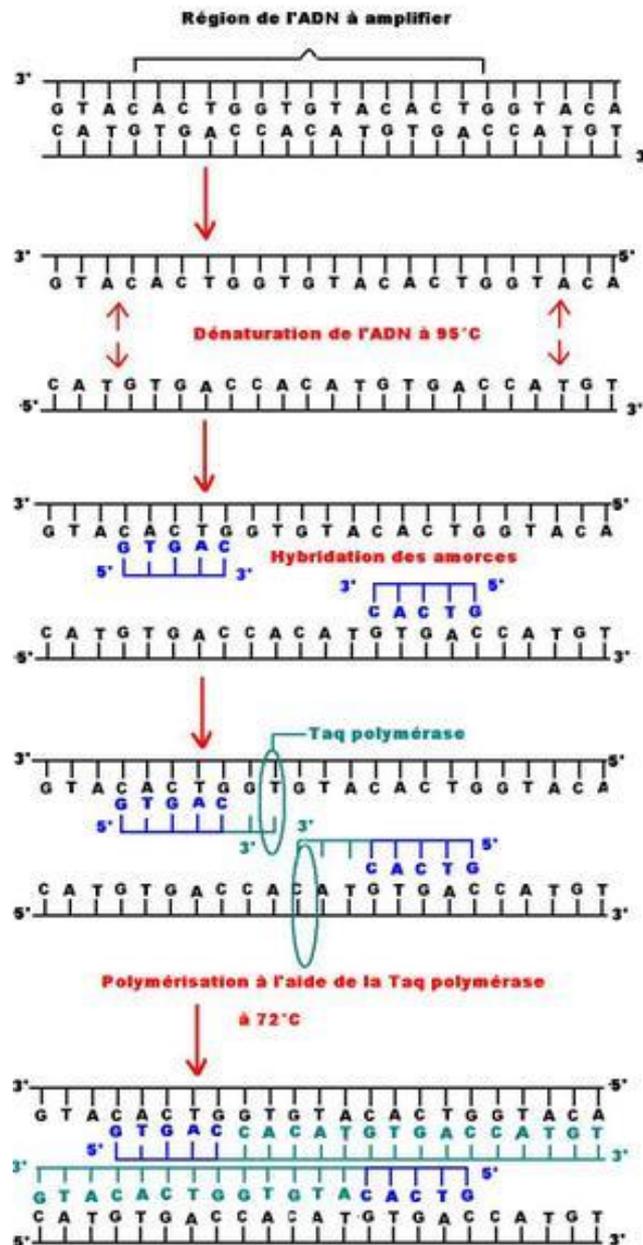


Figure 33: Déroulement de la PCR au niveau des bases des séquences d'ADN (<http://www.technobio.fr/article-17071980.html>).

Les cycles vont se répéter et la quantité des fragments d'ADN de tailles égales dont la taille équivaut à la distance entre les deux amorces, va ainsi découpler en plusieurs millions d'amplicons (copies) du fragment d'ADN de base (Fig. 35).

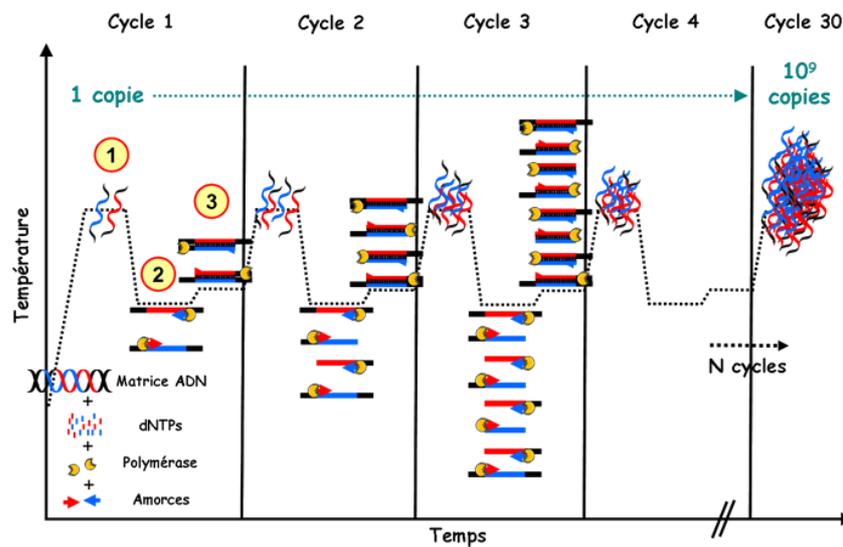


Figure 34: Déroulement global de la PCR

(<https://ed414-openlab.unistra.fr/les-tp/adn-et-genetique-2009-2012/pour-preparer-le-tp/la-pcr-quest-ce-que-cest/>).

Protocole de la PCR

Pour effectuer la PCR, on a commencé par réaliser un MIX PCR contenant les composés suivants : ddH₂O + Buffer + MgCl₂ + Primers (F&R) + dNTP (Tab. 9), on a vortexé le tout puis ajouté la Taq et mélangé doucement. L'ependorf contenant ce mix est placé dans de la glace puis on a distribué ce mix dans notre plaque PCR placée dans un bac de glace. On ajoute l'ADN à l'aide de multipipette (Pl. 4).

Tableau 11 : Protocole du cycle PCR

| Reaction Volume | 10 | ul/well | | | | | | |
|--------------------|------------------------------------|---------|-------------|---------|----------|----------|---------------|-----------|
| Réactifs | Con. Init. | Unit | Conc. Final | Unit | 1 | x | 110 | x |
| ddH ₂ O | | | | | 3.82 | µl | 420.20 | µl |
| Buffer Promega | 5 | X | 1 | X | 2.00 | µl | 220.00 | µl |
| MgCl ₂ | 25 | mM | 2.5 | mM | 1.00 | µl | 110.00 | µl |
| Solution Q 5X | 5 | X | 0 | X | 0.00 | µl | 0.00 | µl |
| Primer F | 10 | Um | 0.5 | Um | 0.50 | µl | 55.00 | µl |
| Primer R | 10 | Um | 0.5 | Um | 0.50 | µl | 55.00 | µl |
| DNTP mix | 25 | mM each | 0.2 | mM each | 0.08 | µl | 8.80 | µl |
| Taq Pol Promega | 5 | U/ul | 1 | U | 0.10 | µl | 11.00 | µl |
| | | | | | | | Total | 880.00 µl |
| | | | | | | | To distribute | 8.00 µl |
| Add template DNA | | | | | 2.00 | µl | | |
| Cycling conditions | according to Genoscreen conditions | | | | Primer F | LCO 1490 | | |
| | Temperature | Time | Cycles | | Primer R | HCO 2198 | | |
| Denat. Initial | 95°C | 5min | | | | | | |
| Denaturation | 95°C | 40 sec | | | | | | |
| Annealing | 50°C | 40 sec | 35x | | | | | |
| Extension | 72°C | 40 sec | | | | | | |
| Extension Finale | 72°C | 7 min | | | | | | |
| | 4°C | 10 min | | | | | | |
| | 12°C | xxx | | | | | | |

650pb/720

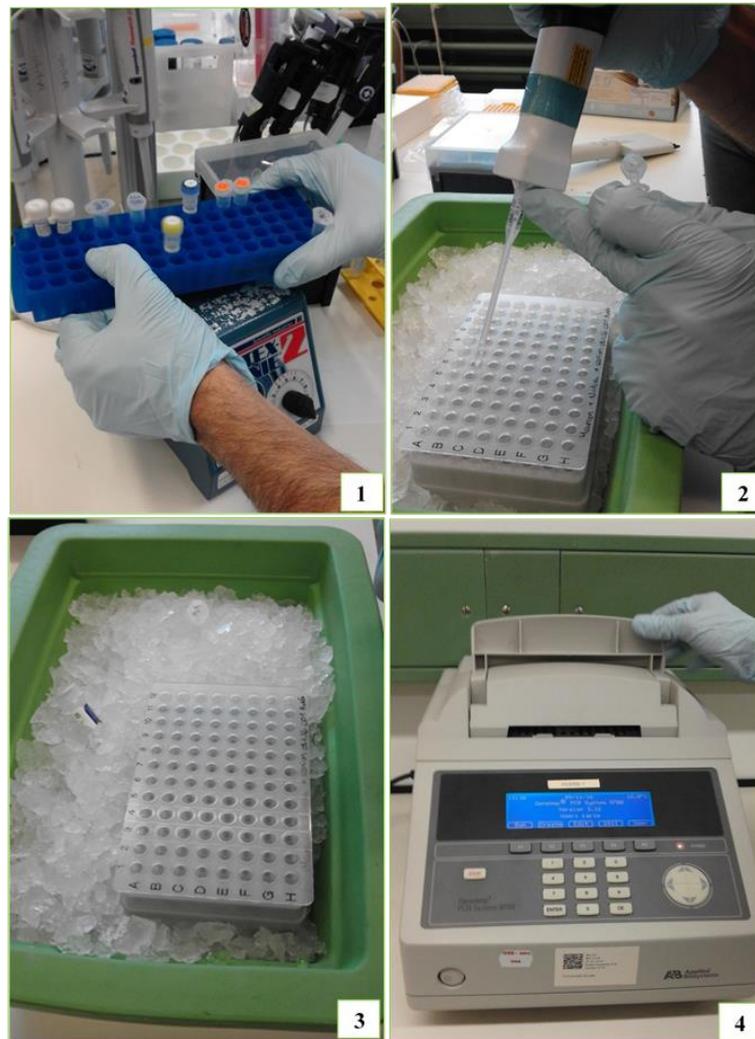


Planche 4: Etape D : 1. Vortexer le Mix PCR. 2. Ajouter le Mix. 3. Travailler sur froid dans un bac de glace. 4. Mettre la plaque d'ADN à PCRiser dans le thermocycleur.

2.2.2.6 Migration sur gel

Cette étape de migration sur gel par électrophorèse, nous a permis de vérifier que la PCR a bien amplifié l'ADN. Sachant que pour les puits qui n'ont pas amplifié, on a refait une PCR en changeant les conditions. On procède à la migration sur gel y procède comme suit :

1. Préparation du gel (1,5%) = 1,28g d'agarose + 85mL de TBE agar + 9 μ L de Bromure d'éthidium.
(Faire 2 gels pour une plaque de 96 puits) (Pl. 5).
2. Préparation de la plaque : à la multipipette, mettre 2 μ L de Bleu de méthylène (tampon de charger) + 5 μ L de produit PCR dans chaque puits (Pl. 5).
3. Remplissage des puits du gel (1 tips par puits) en laissant un puits pour l'échelle (3 μ L de Ladder) puis brancher la machine (Pl. 6). Allumer l'appareil, choisir le mode manuel, voltage (V) constant, 120 (=1/2run), puis appuyer sur Run (Pl. 7).Durée environ 20-30 min.

Après la fin de la migration sur gel, le gel est scanné pour avoir une photographie des puits d'ADN amplifié (Pl. 8, Ph. 16).

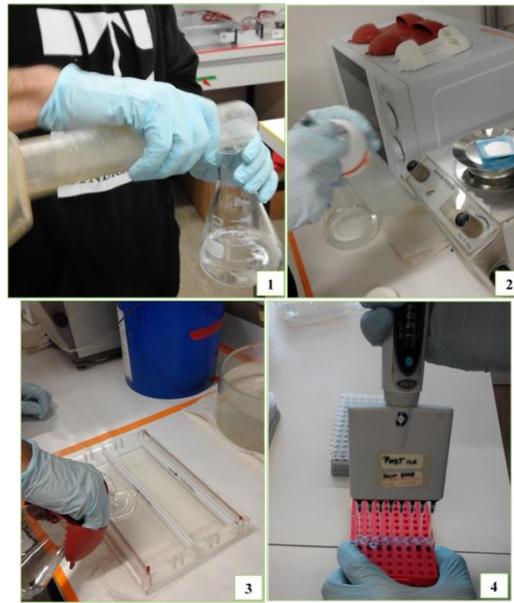


Planche 5: Etape E : 1. Préparer le Bromure d'Ethidium. 2. Préparer le gel. 3. Disposer le gel sur la plaque à migration sur gel. 4. Ajouter le bleu de Méthylène dans la plaque ADN.

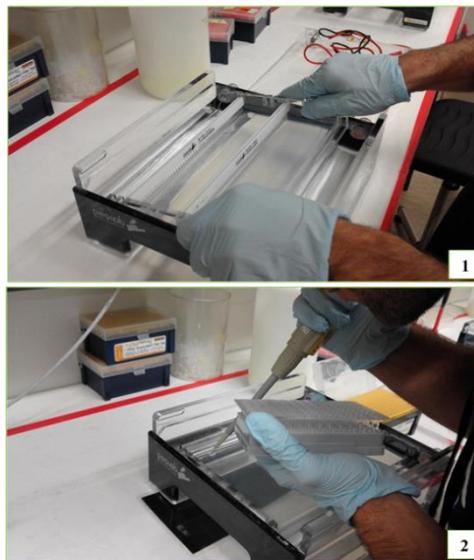


Planche 6: Etape F : 1. Disposition de la plaque avec gel dans l'appareil .2. Remplir les puits avec le mélange ADN+Bleu de Méthylène.

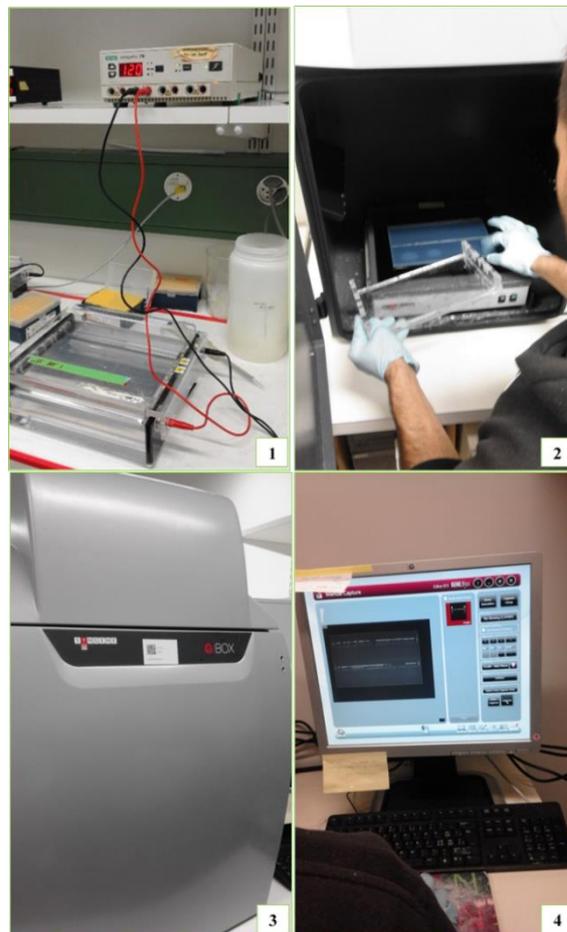


Planche 7: Etape G : 1. Lancement de l'électrophorèse pour la migration sur gel. 2. Disposition du gel dans l'appareil pour observer les puits amplifiés. 3. Scanner pour photographie des puits amplifiés. 4. Observation des bandes d'ADN des puits amplifiés sur Ordinateur.

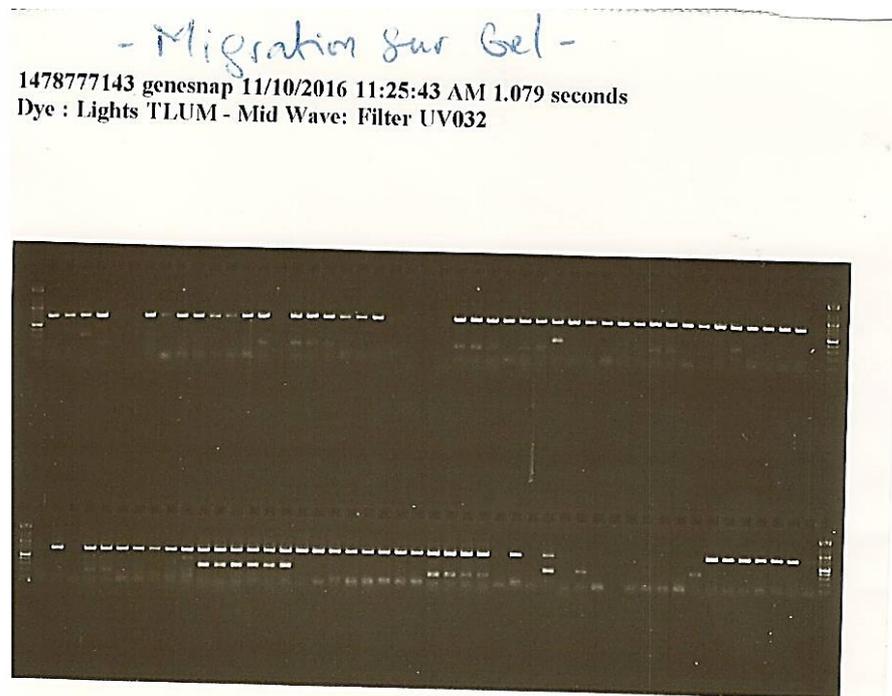


Photo 16: Résultats de la migration sur gel.

2.2.2.7 Purification

On purifie l'ADN des dNTP et des primers non-utilisés et pour ce, on utilise deux enzymes.

On a préparé le Mix de Purification = ExoI + FAP + milliQ. On a distribué le Mix à la distripipette dans une nouvelle plaque (4µL par puits). On a ajouté à la multipipette 5µL de produit PCR dans chaque puits. Et enfin, on a lancé le programme EXOSAP-IT dans la machine PCR.

- Protocole de la purification de la PCR ExoSAP

Tout d'abord, vérifiez 3µl des produits de PCR dosés sur gel selon le protocole de l'électrophorèse sur gel et dont cette dernière est réussie (bandes propres aux tailles appropriées), nettoyez pour débarrasser des primers, des dNTP, du Taq et des sels, en utilisant ExoSAP ou utilisez le kit de nettoyage PCR pour une petite quantité d'échantillons (Tab. 10).

Tableau 12 : Protocole de purification de la PCR ExoSAP.

| Consommables | Stockage | Référence du fournisseur et du catalogue | Gestion des déchets et risques biologiques |
|--|----------|--|--|
| ExoI | -20°C | Fermentas, Exonuclease I (Exo I)20.000Units (20U/µl) | Garder sur glace |
| SAP ou FAP
Alcaline
Phosphatase | -20°C | Fermentas, FastAP thermosensitivealkaline phosphatase
1000Units (1U/µl) | Garder sur glace |

1. Faire le mélange ExoSAP frais directement avant utilisation:

| Réactifs | Pour 100 réactions | Pour 25 réactions | Par 1 Réaction |
|---------------|--------------------|-------------------|----------------|
| ExoI | 8µl | 2µl | 0.08µl |
| FAP | 12µl | 3µl | 0.12µl |
| MilliQ | 380µl | 95µl | 3.8µl |

2. Transférer 5 µl de produit de PCR dans une plaque à 96 puits et ajouter 4µl d'EXOSAP-IT dans chaque puits.

3. Exécuter le programme EXOSAP-IT pour supprimer les amorces et les dNTP en excès à l'aide de ce profil (et définir le volume sur 10µl) :

| Température | Temps |
|-------------|-------|
| 37°C | 30min |
| 80°C | 15min |
| 12°C ou 4°C | ∞ |

2.2.2.8 Réactions de séquences

On a réalisé les réactions de séquences dans les 2 sens Forward et Reverse, on a utilisé le primer Forward LCO1490 et le primer Reverse HCO2198. Pour séquençage (Méthode Sanger, GATC).

Exemple pour le primer LCO1490, dans une nouvelle plaque (spéciale pour séquençage, celle avec rebord), on a mis :

- Puits « faibles » = 7,5µL d'ADN purifié + 2,5µL de primer LCO à 10µM
- Puits « normaux » = 5µL d'ADN purifié + 5µL de primer LCO à 5µM

Pour **5µM** : 40µL primer pur + 760 µL d'H₂O = 800µL à 5µM.

Ou 500µL de primer dilué + 500 µL d'H₂O = 1mL à 5µM.

A la fin, la plaque est étiquetée prête à être envoyée pour séquençage.

2.2.2.9 Séquençage Méthode Sanger

- Définition

Avant tout et de manière générale, le séquençage génétique c'est la détermination de la succession des nucléotides qui compose un fragment d'ADN et qui s'appuie sur les mécanismes de la réplication de l'ADN. Le séquençage Méthode Sanger tient son nom consiste à connaître l'ordre de succession des quatre nucléotides dans un brin d'ADN. Il tient son nom du biochimiste anglais Frederick SANGER qui l'a mise au point.

- Principe

Le principe de la méthode Sanger dite par terminaison de chaîne consiste à initier la polymérisation de l'ADN, il fait appel à 4 composants que sont l'échantillon d'ADN matrice, les nucléotides dNTP (A, T, C, G), la polymérase et les amorces, il s'appuie sur l'utilisation des nucléotides dites didésoxyribonucléotides (ddNTP) ne possèdent pas de groupement OH en position 3' contrairement aux désoxyribonucléotides triphosphates (dNTP) et ce, pour effectuer 4 réactions de séquences (réaction de polymérisation) avec 4 nucléotides différents à raison d'un nucléotide intégré différent chacune pour constituer une séquence d'ADN. Les ddNTP sont les bases-stop qui arrêteront la synthèse de l'ADN, elles sont marquées par un agent fluorescent (fluophore).

On réalise ensuite une électrophorèse en gel sur les échantillons obtenus ce qui va permettre de séparer les nombreux brins d'ADN, l'automatisation va nous permettre d'apprécier les bandes d'ADN sous rayons X ou à la lumière ultraviolette après migration électrophorétique des fragments migration en fonction de leur taille. La fluorescence des bases-stop lu verticalement via les photorécepteurs nous indique la succession des bases nucléotidiques de séquence d'ADN.

Le protocole du séquençage par automatisation (Fig. 36) a été réalisé par les services de séquençage Sanger GATC, services d'une société allemande (Eurofins Genomics) qui est spécialisée dans le séquençage d'ADN et d'ARN pour des partenaires académiques et industriels dans le monde entier.

En attendant les séquences issues du séquençage, nous avons effectué le montage des exuvies résultantes de l'extraction de l'ADN, ce qui nous permettra de comparer les résultats moléculaires avec un diagnostic morphologique complet.

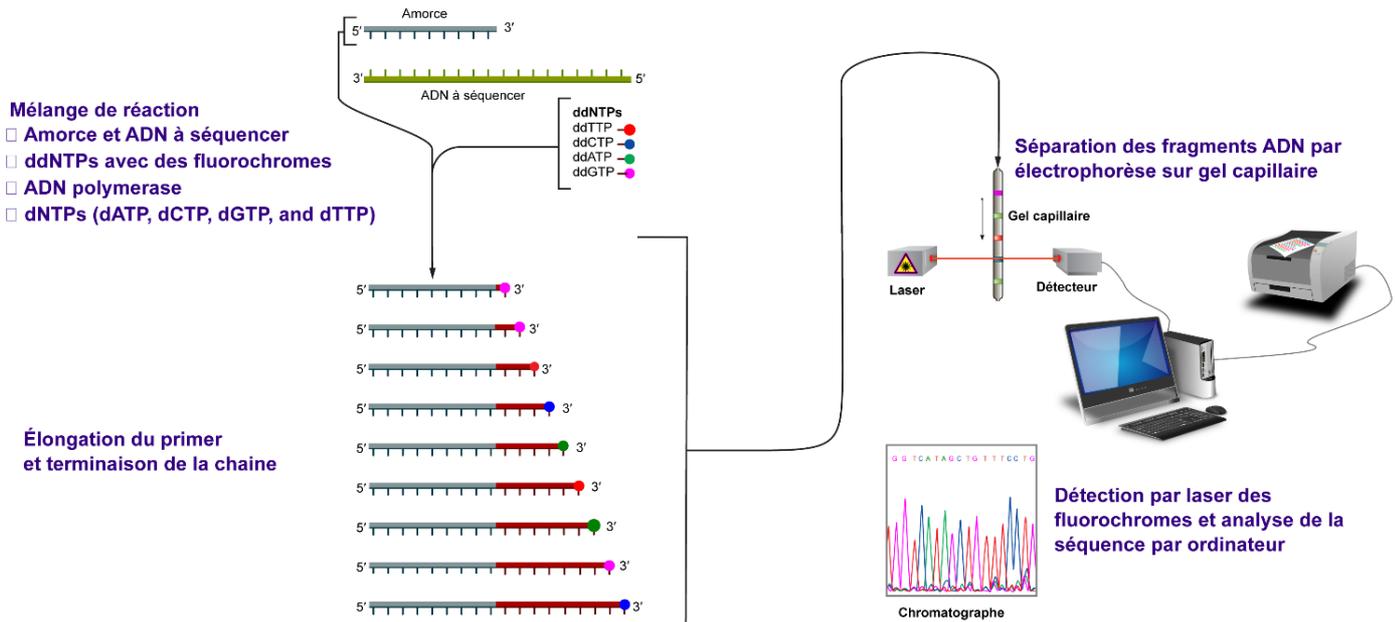


Figure 35: Schéma récapitulatif de la méthode Sanger par automatisatisation

(http://bebatut-edu.github.io/metagenomique_cm/sequencage.html#/).

2.2.3 Bioinformatique

2.2.3.1 Correction des séquences et alignement

Après obtention des séquences grâce au séquençage Sanger, les séquences ont été nettoyées, éditées, alignées à l'aide des logiciels BioEdit, CodonCode, Jalview et MEGA afin d'obtenir des arbres phylogénétiques de chaque espèce.

- Correction des chromatogrammes (fichiers.ab1) : logiciels utilisés : Bioedit et CodonCode aligner ;
- Exportation des séquences corrigées au format .fasta (le format fasta est un format de base pour analyses phylogénétiques) ;
- Alignement des séquences et enlever la séquence des amorces : logiciels utilisés : MEGA et Jalview (alignement MAFFT).

2.2.3.2 Analyses phylogénétiques

Grâce au logiciel MEGA, nous avons utilisé l'analyse ML (Maximum Likelihood ou maximum de vraisemblance) qui est basée sur des modèles d'évolution. Les tâches correspondent à :

- Recherche du meilleur modèle d'évolution (e.g. GTR+G+I, TN93+G+I, HKY+G, ...etc) selon le critère AICc ;
- Analyse phylogénétique avec la recherche du meilleur arbre ou méthodes de bootstrap, les analyses ont été effectuées à 1000 bootstraps ;
- Création d'un arbre phylogénétique de chaque espèce.

Chapitre III : Résultats et discussion

Chapitre III : Résultats et discussion

1 Révisions taxonomiques

- Inventaire faunistique

Sur les six familles du sous-Ordre Schistonotes présentes en Afrique du Nord, nous en avons rencontré trois seulement : les Baetidae, les Leptophlebiidae et les Heptageniidae. Les 12 taxons récoltés au cours de la présente étude, sont présentés dans le tableau 12.

En s'appuyant sur les caractères morphologiques représentatifs dans les publications relatives aux descriptions des larves et des adultes, leurs répartitions biogéographiques (régional, local, endémique, cosmopolite...) et leurs habitats types, Gattolliat a mis au point une ébauche de clé d'identification que nous avons illustrée dans la figure 35. Cette clé concerne exclusivement les taxons rencontrés dans notre aire d'étude et qui faudrait bien évidemment développer encore plus pour en faire un outil pratique.

Tableau 13: Liste faunistique des espèces d'Ephéméroptères collectées.

| Superfamille | Famille | Sous-Famille | Genre | Sous-Genre | Genre espèce | |
|-------------------------|-----------------------------|--|---|--|--|---|
| Baetoidea | Baetidae Leach, 1815 | Baetinae Leach, 1815 (sensu Kazlauskas 1972) | <i>Baetis</i> Leach, 1815 | <i>Rhodobaetis</i> Jacob, 2003 | <i>Baetis sinespinosus</i> Soldán & Thomas, 1983 | |
| | | | | | <i>Baetis atlanticus</i> Soldán and Godunko 2006 | |
| | | | | | <i>Baetis alpinus</i> (Pictet, 1843)
<i>Baetis pavidus</i> Grandi, 1949 | <i>Baetis maurus</i> Kimmins, 1938
<i>Baetis c.f. pavidus</i> Grandi, 1949 |
| | | | <i>Acentrella</i> Bengtsson, 1912 | <i>Acentrella</i> Bengtsson, 1912 | <i>Acentrella c.f. sinaica</i> Bogoescu, 1931 | |
| | | | Cloeoninae Newman, 1853 (sensu Kazlauskas 1972) | <i>Cloeon</i> Leach, 1815 (Sous-Genre) | <i>Cloeon dipterum</i> Linné, 1761 | <i>Cloeon peregrinator</i> Gattolliat and Sartori, 2008 |
| | | | | <i>Procloeon</i> Bengtsson, 1915 | <i>Procloeon</i> Bengtsson, 1915 | <i>Procloeon stagnicola</i> Soldán & Thomas, 1984 |
| Heptagenioidea | Heptageniidae Needham, 1901 | Ecdyonurinae Ulmer, 1920 | <i>Ecdyonurus</i> Eaton, 1868 | <i>Ecdyonurus</i> Eaton, 1868 | <i>Ecdyonurus rothschildii</i> Navás, 1929 | |
| Leptophlebioidea | Leptophlebiidae Banks, 1900 | Atalophlebiinae Peters, 1980 | <i>Choroerpes</i> Eaton, 1881 | <i>Choroerpes</i> Eaton, 1881 | <i>Choroerpes atlas</i> Soldán and Thomas, 1983 | |
| | | Leptophlebiinae Banks, 1900 | <i>Paraleptophlebia</i> Lestage, 1917 | | <i>Paraleptophlebia cincta</i> (Retzius, 1783) | |
| | | Habrophlebiinae Kluge, 1994 | <i>Habrophlebia</i> Eaton, 1881 | | <i>Habrophlebia hassainae</i> Benhadji and Sartori, 2018 | |

1.1 Les Baetidae

La richesse générique des Baetidae d'Afrique paléarctique est très peu connue (7 genres) par rapport à celle de l'Afrotropique (26 genres), toutefois le genre *Baetis* compte 3 sous-genres avec au moins un groupe d'espèces chacun *Baetis* Leach, 1815 (3 groupes); *Labiobaetis* Novikova & Kluge, 1987 (1 groupe) et *Nigrobaetis* Kazlauskas, 1987 (3 groupes) (Jacob, 2003b).

Tenant compte des représentants du Paléarctique seulement, Kazlauskas (1972) a divisé la famille des Baetidae en deux sous-familles : les Baetinae et les Cloeoninae (Kluge, 2004 ; Bauernfeind & Soldán, 2012). Selon Sroka (2012), le genre *Baetis* Leach, 1815 a été considéré à lui seul comme englobant toutes les espèces ouest-paléarctiques comprises dans la sous-famille des Baetinae.

D'après Bauernfeind and Soldán (2012), la diagnose des larves des Baetinae se caractérise entre autres par un corps des fois aplati ventralement or comprimé latéralement, un palpe maxillaire généralement avec deux segments, le deuxième segment du palpe labial avec un lobe apico-interne, des griffes fortes, crochues, courtes avec une seule rangée de dents, et des paracerques réduits.

Selon les mêmes auteurs les larves des Cloeoninae peuvent être différenciées par un corps toujours cylindrique, des palpes maxillaires avec deux ou trois segments, le deuxième segment du palpe labial est généralement sans lobe apical interne, les mandibules sont avec ou sans une frange dense de poils fins entre la protheca et la mola, des griffes longues et fines, légèrement courbées avec une double rangée de denticules, des paracerques bien développés.

L'ébauche de clé de détermination des Baetidae établie par Jean-Luc Gattolliat (Fig. 35), nous a permis de scinder les Baetidae en deux groupes : (i) un groupe avec le paracerque plus au moins de la même longueur que les cerques ainsi que des griffes longues avec de très nombreuses dents petites à minuscules jusqu'à absentes ; ce sont les formes limnophiles de cette famille et (ii) un groupe avec la longueur du paracerque qui est inférieure aux 2/3 de la longueur des cerques, avec des griffes plus courtes et des dents bien visibles (de 7 à 15 dents), il constitue les formes plutôt rhéophiles.

1.1.1.1 Les Baetinae

- *Baetis* Leach, 1815 s.l.

Müller-Liebenau (1969) a réparti le *Baetis* s.l. sur 11 groupes d'espèces comprenant *Baetis alpinus*, *Baetis lutheri*, *Baetis pavidus*, *Baetis lapponicus*, *Baetis rhodani*, *Baetis vernus*, *Baetis fuscatus*, *Baetis buceratus*, *Baetis atrebatinus*, *Baetis niger* and *Baetis gracilis*, puis Novikova & Kluge (1987), suivant à peu près le même concept de Müller-Liebenau, ont établi deux groupes ; un groupe du genre *Baetis* s.l. en créant 6 sous-genres et y incorporant les sous-genres *Baetis*, *Nigrobaetis*, *Labiobaetis*, *Acentrella*, *Takobia* et *Baetiella* et un second groupe qui consiste en un sous-genre nommé *Baetis s.str.* qui réunit le restant des groupes d'espèces du genre *Baetis* (Sroka, 2012).

Les *Baetis s.l.* ont notamment des branchies simples, des griffes courtes et un paracerce plus court que les cerques (Tachet et al., 2000). On a pu distinguer les *Baetis s.l.* (lato sensu ou au sens large) suivant la forme du palpe labial (Fig. 35), d'une part nous avons un groupe avec le lobe apical du 2^{ème} article du palpe labial bien développé et un palpe maxillaire tronqué dont *Labiobaetis* Novikova et Kluge (1987) avec l'espèce *L. neglectus* Navás, 1913 (présente en Algérie) et un autre groupe qui réunit les taxa ayant un ce 2^{ème} article peu ou très peu développé, ce second groupe peut être par la suite différencier en deux autres groupes ; un groupe avec le paracerce long et un groupe avec le paracerce réduit (Fig. 35).

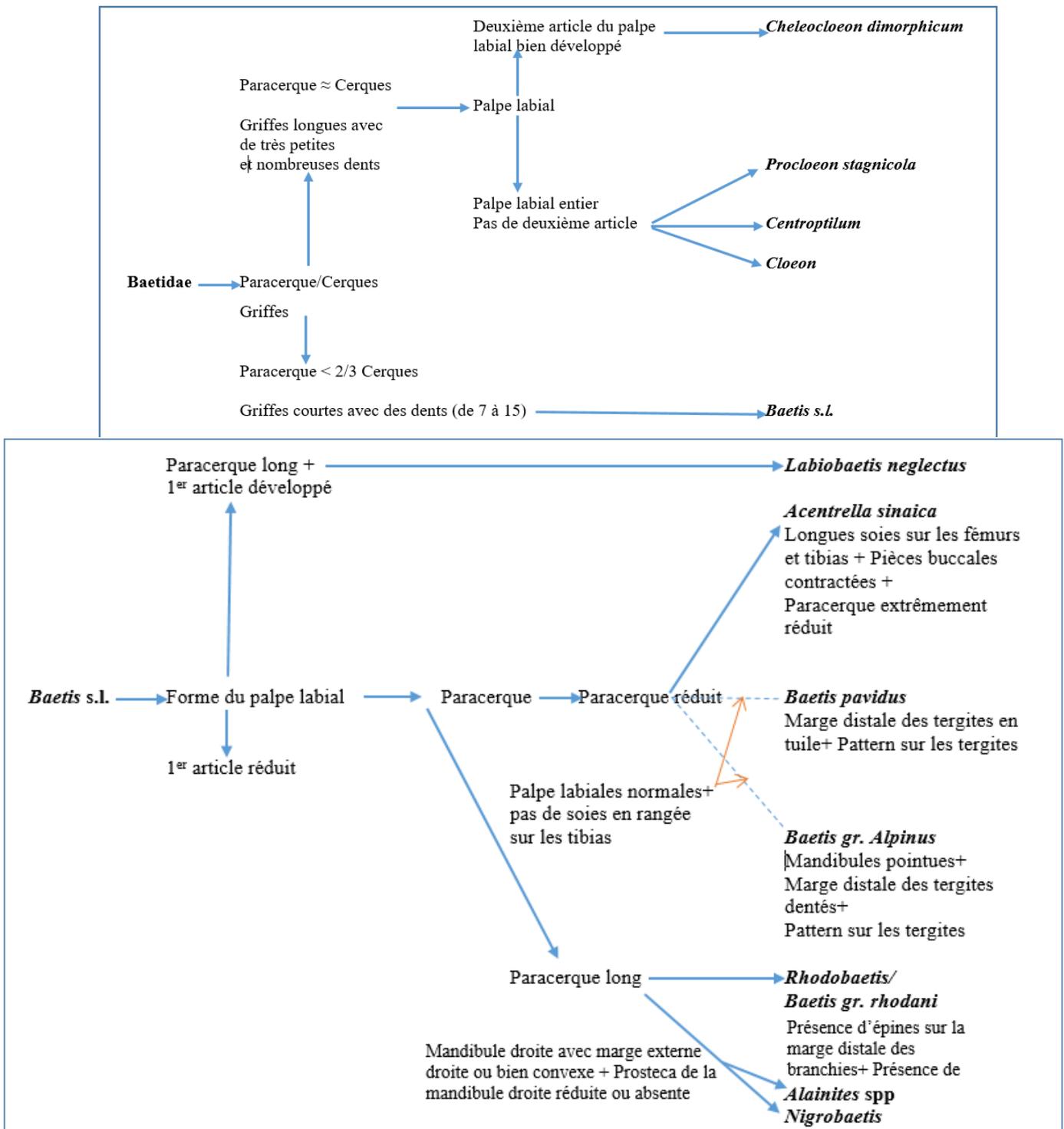


Figure 35 : Ebauche de clé d'identification de la famille des Baetidae établie par J.L. Gattolliat.

- ***Rhodobaetis* Jacob, 2003**

Baetis sensu auct., partim [*B. rhodani* species-group]

Rhodobaetis Kazlauskas, 1972

Rhodobaetis Jacob, 2003

Ce sous-genre établi par Jacob (2003a) correspond *Baetis* groupe d'espèces *rhodani* sensu Müller-Liebenau, 1969 dont le nom attribué revient à Kazlauskas (1972), il englobe un bon nombre d'espèces Ouest et Est-paléarctiques, holarctiques ou encore du Caucase mais aussi des espèces cryptiques (Williams *et al.* 2006 ; Gattolliat & Sartori, 2008).

D'après Jacob (2003), ce qui permet d'identifier les larves de *Rhodobaetis* est la présence de spatules sur la surface des tergites mais cette diagnose a été corrigée et affinée par Godunko *et al.* (2004) qui ont spécifié plutôt la présence d'écailles de structures différentes qui peuvent recouvrir le pédicelle, la surface du fémur et des paraprotectes.

On a séparé les *Rhodobaetis* (Ph. 17) du reste des *Baetis s.l.* par la marge distale des tergites (Ph. 18) qui est lisse à écailles (Ph. 19) parfois avec deux ou trois épines (Ph. 20), les épines insérées, libres, sur les branchies symétriques (Ph. 21) ainsi que les épines présentes sur les paraprotectes (Ph. 22).

Bien que ce taxon reste d'un point de vue morphologique très hétérogène, en réalité, nous n'avons distingué que deux espèces que sont *Baetis sinespinosus* et *Baetis atlanticus*.



Photo 17: Morphologie générale des *Rhodobaetis*.

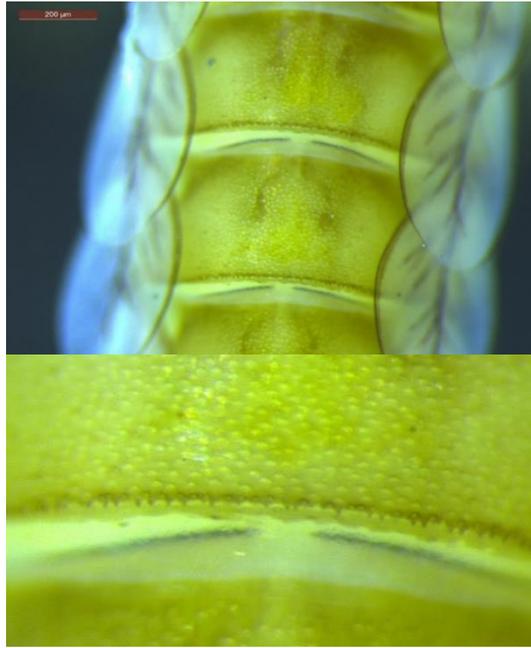


Photo 18: Marge distale des tergites.



Photo 19: Ecailles de la marge distale d'un tergite.



Photo 20: Epines de la marge distale d'un tergite.

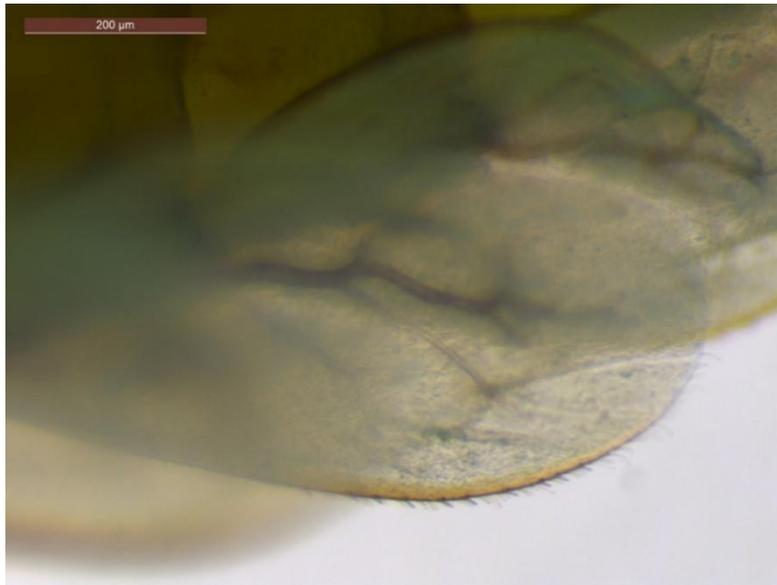


Photo 21: Epines sur les bords d'une branchie trachéenne.

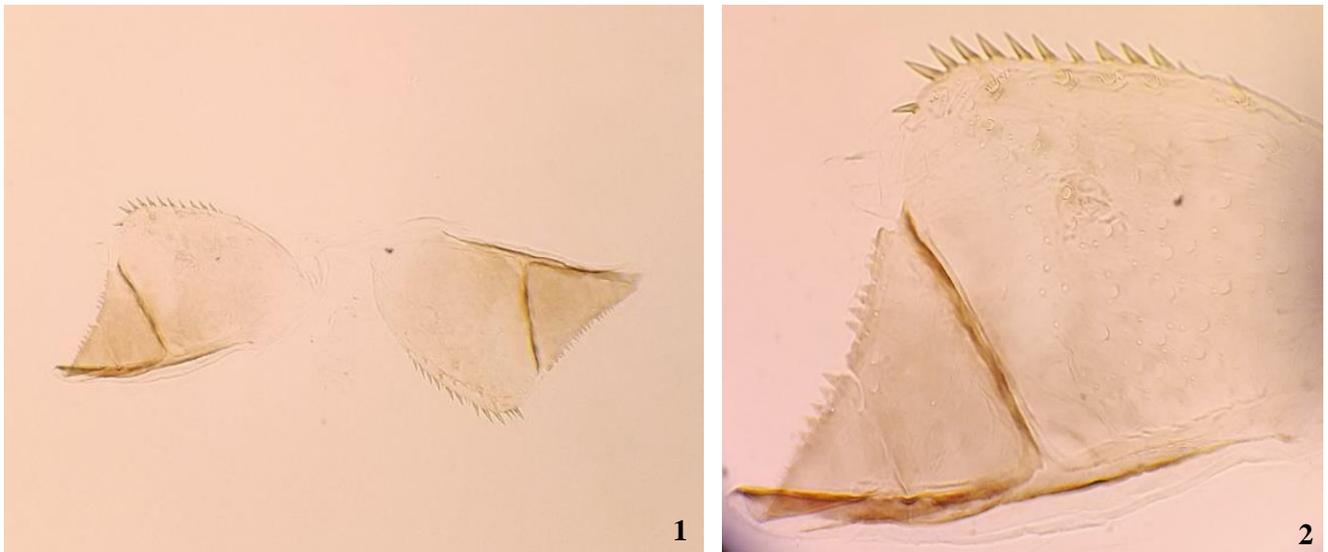


Photo 22: Les paraprotectes: 1. Paraprotectes. 2. Epines sur les paraprotectes.

a. *Baetis sinespinosus* Soldán & Thomas, 1983

Baetis (Rhodobaetis) sinespinosus Soldán & Thomas, 1983

Diagnose : Les larves de *B. sinespinosus* se caractérisent par des soies sur les fémurs étant plus au moins pointues (Ph. 24), il y a 4 rangées de soies sur les paraglosses (Ph. 25), le palpe labial est très large et le deuxième article est peu développé, ce qui différencie le *B. sinespinosus* du *B. chelif* et du *B. atlanticus* est l'absence d'une écaille sur l'apex du palpe maxillaire.



Photo 23: Larves *B. sinespinosus* (mâle à gauche/femelle à droite).

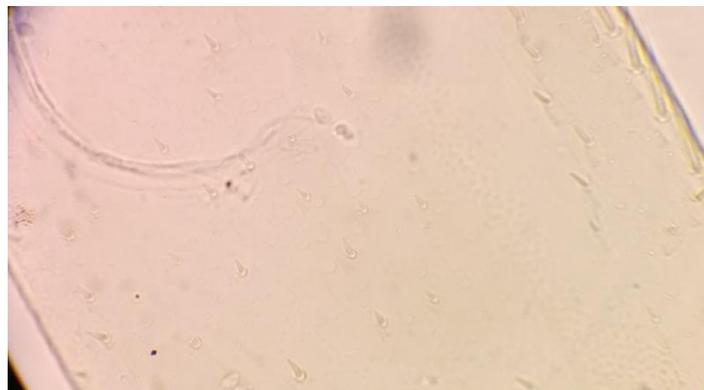


Photo 24: Soies pointues sur un fémur d'une larve de *B. sinespinosus*.



Photo 25: Labium de *B. sinespinosus*(gauche) avec 4 rangées de soies sur les paraglosses (droite).

b. *Baetis atlanticus* Soldán and Godunko 2006

Baetis (Rhodobaetis) atlanticus Soldán & Godunko 2006

Baetis rhodani sensu Eaton, 1871

Baetis rhodani sensu Brinck & Scherer (1961)

Baetis rhodani sensu Stauder (1991)

Baetis (Rhodobaetis) rhodani Soldán & Godunko 2006

Baetis atlanticus Soldán & Godunko 2006; apud Gattolliat et al. (2008).

Diagnose : Les larves de *B. atlanticus* (Ph. 26) présentent un abdomen avec beaucoup d'épines entre les écailles sur la marge distale (Ph. 27), soies arrondies sur les fémurs (Ph. 28), labium avec la forme du palpe labiale différente et les paraglosses avec 3 rangées de soies (Ph. 29).



Photo 26: Larves *Baetis atlanticus* (mâle à gauche/femelle à droite).



Photo 27: Marge distale d'un tergite de *B. atlanticus*.



Photo 28: Soies arrondies sur un fémur de *B. atlanticus*.

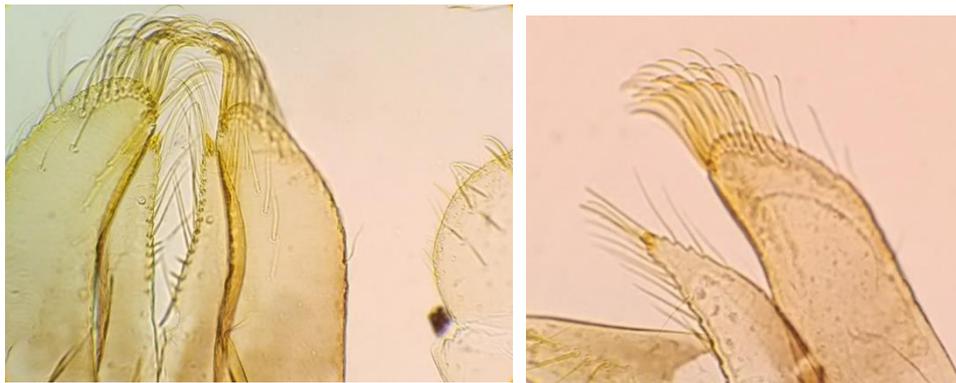


Photo 29: Labium de *B. atlanticus* (gauche) avec 4 rangées de soies sur les paraglosses (droite).

c. Acentrella c.f. sinaica Bogoescu, 1931

***Acentrella* Bengtsson, 1912**

Ce genre se caractérise par un aplatissement dorso-ventral, une rangée régulière de soies sur la marge distale postérieure des fémurs et tibias.

Synonymies

Baetis atrebatinus sensu Grandi, 1948 ; apud Bogoescu & Tabacaru (1957)

Baetis subatrebatinus Grandi, 1956 ; nec *Baetis atrebatinus* Eaton, 1870

Baetis pseudatrebatinus Grandi, 1960

Baetis sinaicus (Bogoescu, 1931) ; apud Müller-Liebenau (1969)

Baetis sinaicus (Bogoescu, 1931) ; apud Kopelke & Müller-Liebenau (1982)

Acentrella sinaica Bogoescu, 1931 ; apud Waltz & Mc Cafferty (1987)

Baetis (Acentrella) sinaicus (Bogoescu, 1931) ; comb. nov.

Diagnose : La larve d'*Acentrella* (Ph. 30) a un corps clair avec des patterns bien particuliers sur les tergites, en effet, les bords antérieurs et postérieurs des tergites portent une bande de couleur sombre (marron clair à marron foncé) et une paire de points médians (Ph.31), une marge distale des tergites avec de petites et fines épines (Ph. 32) avec des soies sur les tibias et les fémurs et a une forme plaquée (Ph. 33) caractéristique du genre *Acentrella* et qui est une adaptation à la vitesse du courant.



Photo 30: Morphologie d'une larve d'*A. sinaica*.



Photo 31: Forme des patterns sur les tergites d'une larve d'*A. sinaica*.

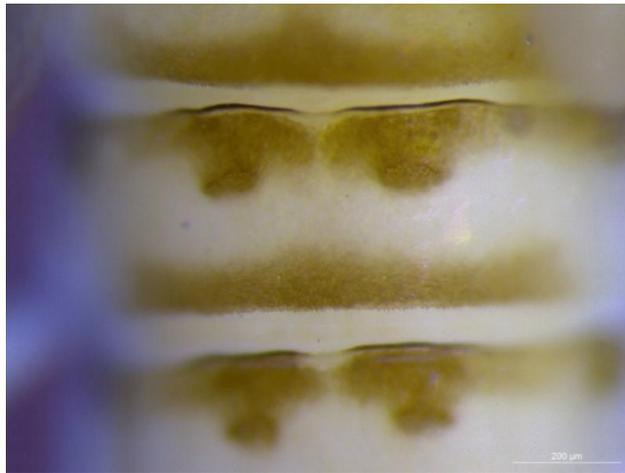


Photo 32: Marge distale des tergites d'*A. sinaica*

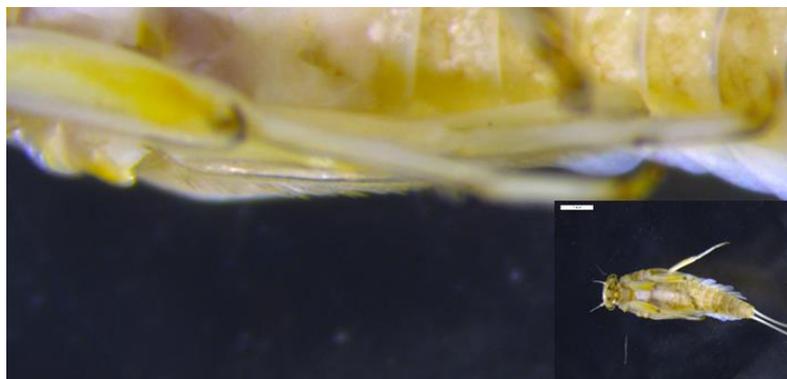


Photo 33: Soies sur la marge distale des tibias d'une larve d'*A. sinaica*.

d. *Baetis maurus* Kimmins, 1938

***Baetis* du groupe *alpinus* (Pictet, 1843)**

Diagnose : Le groupe *Baetis alpinus* se caractérise par une marge distale avec des épines courtes et triangulaires et double points foncés sur les tergites (Ph. 35, Ph. 36). Les mandibules de la larve de *Baetis maurus* (Ph. 34) se distingue par la double rangée de dents sur les griffes (Ph. 37) et des mandibules avec des incisives pointues (Ph. 38).



Photo 34: Morphologie d'une larve de *B. maurus*

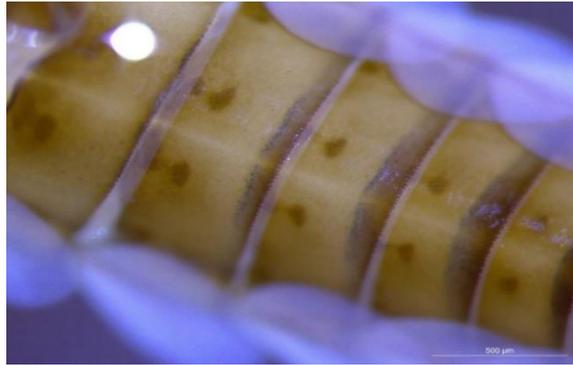


Photo 35: Marge distale des tergites et Forme des patterns sur les tergites de *B. maurus*.



Photo 36: Marge distale des tergites de *B. maurus* (vue microscopique).



Photo 37: Double rangée de dents sur une griffe d'une larve de *B. maurus*.



Photo 38: Mandibules de *B. maurus*.

e. *Baetis c.f. pavidus* Grandi, 1949

Baetis pavidus Grandi, 1951 nomen novum pour *Baetis parva* Grandi, 1949

Baetis parva Grandi, 1949

Baetis pavidus Grandi, 1951 ; apud Müller-Liebenau (1969)

Baetis pavidus Grandi, 1951 ; apud Kopelke & Müller-Liebenau (1982)

Baetis iberi sensu Soldán & Thomas (1983)

Baetis pavidus Grandi, 1951 ; apud Jacob (2003)

Diagnose : De visu, la larve de *Baetis pavidus* (Ph. 39) ressemble à celle de *B. alpinus*, néanmoins, sans les patterns sur les tergites, avec une marge distale des tergites dentée (Ph. 40), des mandibules plus droites (Ph. 41) et un paracercue plus long (Ph. 42).



Photo 39: Morphologie d'une larve de *B. pavidus*.



Photo 40: Marge distale d'un tergite d'une larve de *B. pavidus*.



Photo 41: Mandibule d'une larve de *B. pavidus*.

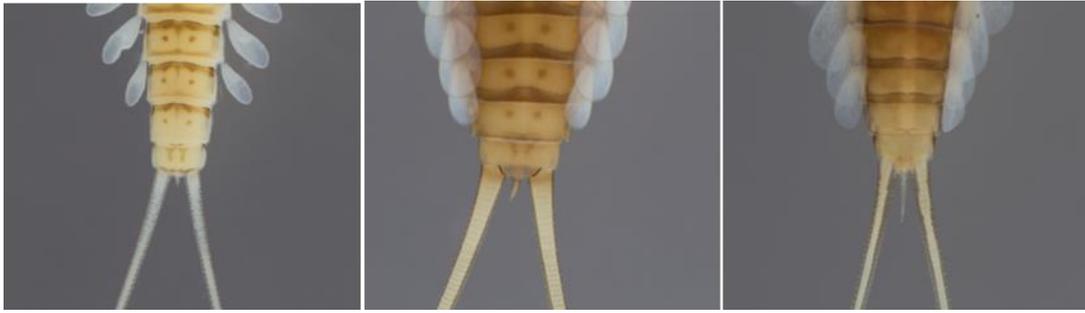


Photo 42: Longueur du paracercus chez *Acentrella* (gauche), *B. maurus* (milieu) et *B. pavidus* (droite).

1.1.1.2 Les Cloeoninae

- *Cloeon* Leach, 1815

Le genre *Cloeon* se distingue d'aspect général par la présence des branchies qui sont doubles de tailles presque égales, le rapport longueur/largeur d'une branchie est presque égale, et d'épines sur les marges latérales de segments abdominaux, en général sur les segments 5 à 9 (Studemann et al., 1992 ; Tachet al., 2000).

- *Cloeon cf. dipterum* Linné, 1761

La larve de *Cloeon dipterum s.l.* (Sowa, 1975) se distingue de celle de *C. cognatum* et *C. inscriptum* par la présence d'une tache ou point sombre bien distincte sur la marge distale de l'extrémité du fémur des pattes postérieures qui est absente chez les deux autres espèces suscitées, en plus de patterns différents sur les tergites et des divergents de l'agencement des lamelles des branchies (Sowa, 1975b). Le palpe maxillaire est muni de trois articles contrairement à celui *Cloeon simile* group *sensu* (Sowa, 1980) qui n'en contient que deux.

a. *Cloeon peregrinator* Gattolliat and Sartori, 2008

Cloën diptera sensu Hagen (1865)

Cloëon dipterum sensu Eaton (1871)

Cloeon dipterum sensu Brinck & Scherer (1961)

Cloeon dipterum sensu Stauder (1991)

Cloeon dipterum sensu Soldán & Godunko (2006)

Cloen (Cloeon) peregrinator Gattolliat & Sartori, 2008

Diagnose : Les larves de *Cloeon peregrinator* observée présente les caractères des larves de *C. cf. dipterum* (Ph. 43), en effet, Gattolliat et al. (2008) ont affirmé la forte ressemblance de cette espèce à son homologue européenne appartenant au *Cloeon dipterum s.l.* (Sowa 1975). Elle possède une marge distale des tergites très dentelée avec des épines à alternance courtes et longues fines et pointues et une paire de branchies symétriques disposées l'une sur l'autre avec ramification dès la base. Les branchies 1 à 6 sont doubles et la 7^{ème} est simple. La lamelle supérieure de la première paire de branchie est différente des autres paires de branchies. Les larves de *C. peregrinator* possèdent les mêmes caractères rapportés par Gattolliat et al. (2008) Les épines latérales sont limitées sur les segments VIII et IX alors que chez les *C. dipterum s.l.* elles sont présentes du segment V à IX. Les pattes portent des griffes longues et fines et portent des denticules sur leur première moitié alors que chez *C. dipterum s.l.* les griffes sont plus courtes et les denticules sont présentes sur au moins les 2/3 de la longueur de la griffe.



Photo 43: Morphologie d'une larve de *C. peregrinator*.

- ***Procloeon* Bengtsson, 1915**

Ce genre se caractérise par des branchies qui peuvent être composées d'une grande lamelle et d'une deuxième lamelle nettement plus petite que la première avec les ramifications des trachéations qui se fait au fur et à mesure. Ce genre possède aussi des épines les marges latérales des segments abdominaux, notamment sur le 8^{ème} segment (Studemann et al., 1992).

b. *Procloeon stagnicola* Soldán & Thomas, 1983

Cloeon (Procloeon) stagnicola (Soldán & Thomas, 1983) ; apud Novikova (1987)

Procloeon stagnicola Soldán & Thomas, 1983; McCafferty & Waltz (1990)

Cloeon (Procloeon) stagnicola (Soldán & Thomas, 1983) ; apud Jacob (1991)

Diagnose : La larve de *Procloeon stagnicola* (Ph. 44) présente une grande similarité avec les espèces européennes notamment de *P. bifidum* (Soldán & Thomas, 1983), elle se caractérise notamment par la deuxième lamelle des branchies qui encore plus réduite et des épines latérales sur les segments V à IX.



Photo 44: Morphologie d'une larve de *P. stagnicola*.

1.1.2 Les Heptageniidae

Cette famille se caractérise par un aplatissement dorso-ventrales très marqué, des yeux dorsaux, la présence de branchies de grande taille. Sur les 28 genres existants dans le monde, elle est représentée en Europe par au moins 8 genres (Bauernfeind and Soldán, 2012), on en retient 4 genres en Afrique du Nord : *Ecdyonurus* ; *Epeorus*, *Afronurus* et *Rhithrogena* qui contient le plus genre nombre d'espèces (7) ; dont la plupart sont endémiques au Maroc ; et seulement 3 genres en Algérie (Tab. 11).

- Les Ecdyoneuriinae

Les larves de cette sous-famille se distingue des Heptageniinae Needham, 1901 et des Rhithrogeninae Lestage, 1917 surtout par la présence de poils ou de fortes soies sur la face ventrale de la maxille.

- *Ecdyonurus* Eaton, 1865

On reconnaît les larves d'*Ecdyonurus* grâce à la présence du paracerque en plus des cerques et du prolongement postérieur du des marges latérales du pronotum.

- *Ecdyonurus rothschildii* Navás, 1929

Ecdyonurus rothschildi Navás, 1929

Ecdyonurus rothschildi [sic] Navás, 1929; apud Thomas & Dakki (1979)

Ecdyonurus rothschildi Navás, 1929; apud Soldán & Gagneur (1985)

Ecdyonurus rothschildi Navás, 1929; apud Vitte & Thomas (1988)

?*Ecdyonurus venosus* var. *constantinica* Lestage, 1925

Ecdyonurus (Ecdyonurus) rothschildi Navás, 1929; comb. nov.

Diagnose : La larve d'*E. rothschildi* (Ph. 45) se distingue notamment par un hypopharynx avec des lobes externes concaves vers l'arrière tout le long marqué par une forte pilosité comme chez *E. ifranensis* et de fortes expansions paranotales du pronotum qui descendent latéralement sur le métanotum, toutefois, elles sont moins développées que chez *E. ifranensis* (Ph. 47), ces deux espèces diffèrent aussi par le rapport de la longueur totale du labre à la largeur de son insertion qui est supérieur à 2 chez *E. ifranensis* et légèrement inférieur à 2 chez *E. ifranensis* (Vitte & Thomas, 1988).



Photo 45: Morphologie d'une larve d'*Ecdyonurus rothschildi*.

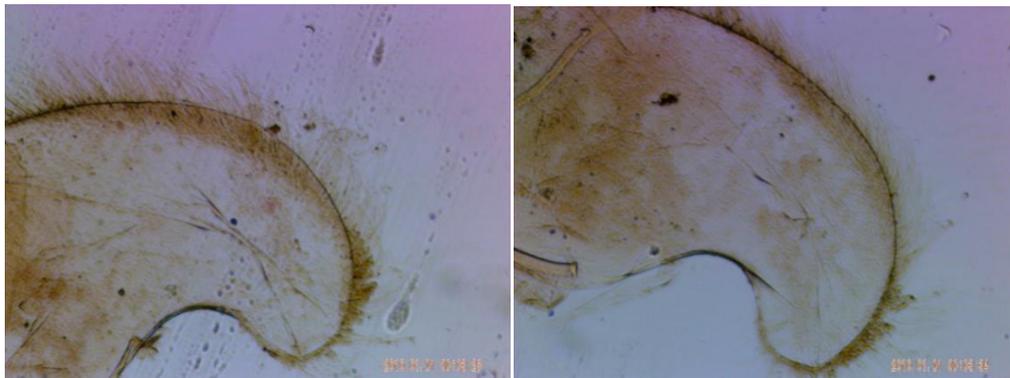


Photo 46: Forme du labrum chez une larve d'*E. rothschildi*

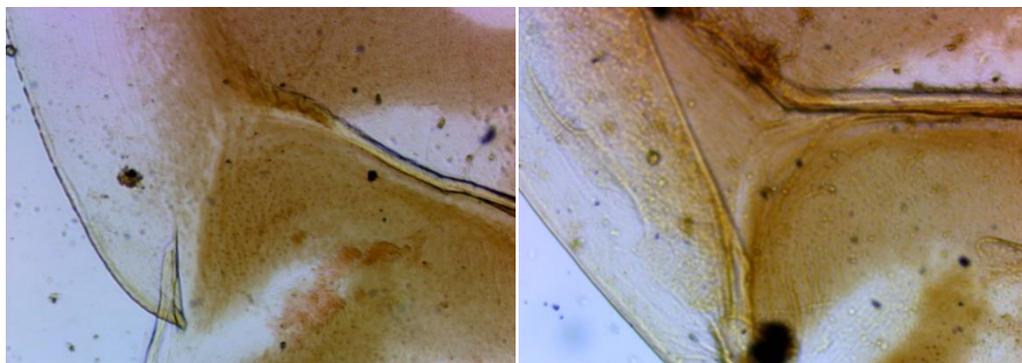


Photo 47: Prolongement du pronotum chez une larve d'*Ecdyonurus rothschildi*.

1.1.3 Les Leptophlebiidae

Les spécimens de cette famille sont identifiés grâce aux courtes soies disposées de part et d'autre sur les cerques. Ils portent également sept paires de branchies abdominales doubles qui peuvent être digitées, foliacées ou lobées. Le genre est déterminé par ces formes-là mais aussi la morphologie de l'hypopharynx (Studemann et al., 1992 ; Tachet et al., 2000). Sur les 120 genres présents dans le monde, cette famille est représentée par 7 genres seulement en Europe (Bauernfeind & Soldán, 2012) et 4 en Afrique du Nord (Tab. 11). Les sous-familles sont identifiées grâce aux différences des pièces buccales médianes, principalement celles de l'hypopharynx.

1.1.3.1 Les Atalophlebiinae

Selon Bauernfeind & Soldán (2012), ce qui permet de différencier les larves des Atalophlebiinae des autres sous-familles, c'est la présence d'une émargination antéromédiane du labre avec présence de denticules ou seulement d'une fente médiane aiguë et d'une rangée de poils plus au moins uniforme sur le bord antérieur des maxilles, le palpe maxillaire tout comme le palpe labial porte 3 segments, dans l'hypopharynx, la lingua possède des projections latérales longues et incurvées contrairement à chez les Habrophlebiinae et chez le Leptophlebiinae *Thraulius*, la lingua a des processus latéraux bien développés, la superlingua est longue et pointue avec des poils le long de leur marge antérieure.

- *Choroerpes* Eaton, 1881

Ce qui permet de déterminer ce genre est la présence d'une seule branchie sur le 1^{er} segment abdominal et de branchies sur les segments 2 à 7 constituées de deux lamelles dont chacune est constituée de trois processus dont le médian est le plus allongé (Studemann et al., 1992).

- *Choroerpes atlas* Soldán & Thomas, 1983

Choroerpes (Choroerpes) atlas Soldán & Thomas, 1983

Choroerpes (Ch.) atlas Soldán & Thomas, 1983; apud Thomas & Vitte (1988)

Diagnose : La larve de *Choroerpes atlas* (Ph. 48) des branchies foliacées avec les extrémités distales lobées et se caractérise par des lamelles dorsales des branchies 2-7 plus fines et plus étroites que chez *Ch. Picteti* (Studemann et al., 1992).



Photo 48: Morphologie d'une larve de *Choroerpes atlas*

1.1.3.2 Les Leptophlebiinae

Chez les larves, l'émargination antéromédiane du labre est peu profonde, les denticules sont lisses et les soies latérales sont grosses et très pointues, la superlingua de l'hypopharynx généralement sans processus apical, la lingua ne possède pas de processus latéraux comme chez les Habrophlebiinae (Bauernfeind & Soldán, 2012).

- ***Paraleptophlebia* Lestage, 1917**

Ce genre se distingue par un hypopharynx avec des lobes latéraux arrondies sans prolongements latéraux et des antennes sont insérées dorsalement sur la capsule céphalique contrairement au genre *Habroleptoides* Schönemund, 1929 où les prolongements latéraux de l'hypopharynx sont présents et les antennes sont portés sur la marge de la tête (Studemann et al., 1992).

- ***Paraleptophlebia cincta* (Retzius, 1783)**

Ephemera cincta Retzius, 1783

?*Ephemera halterata* Fabricius, 1777

Ephemera nigra Fourcroy, 1785

Ephemera inanis Gmelin, 1789

[?] *Ephemera albipennis* Fabricius, 1793

Ephemera hyalinata Zetterstedt, 1840

Ephemera vitreata Zetterstedt, 1840

? *Cloe fuscata* sensu Pictet, 1843, but see Haybach (2008)

Potamanthus cinctus (Retzius, 1783); apud Pictet (1843)

Potamanthus hyalinus [sic] (Zetterstedt, 1840)

Leptophlebia cincta (Retzius, 1783)

Paraleptophlebia cincta (Retzius, 1783)

Diagnose : La larve de *Paraleptophlebia cincta* (Ph. 49) possède des branchies allongées bifurquées, un hypopharynx avec des lobes latéraux arrondis et des fémurs postérieurs avec des poils avec des pointes émoussées ainsi que des dents seulement à la base des tarse.



Photo 49: Morphologie d'une larve de *Paraleptophlebia cincta*.

1.1.3.3 Les Habrophlebiinae

Les larves de cette sous-famille possèdent un hypopharynx avec une superlingua munie d'un processus apical contrairement aux Leptophlebiinae et une lingua sans processus latéraux comme chez Leptophlebiinae et à l'inverse des Atalophlebiinae (Bauernfeind & Soldán, 2012).

- *Habrophlebia* Eaton, 1881
- *Habrophlebia hassainae* sp. nov. Benhadji & Sartori, 2018

Diagnose : La larve de cette espèce très proche morphologiquement de *Habrophlebia fusca* (Curtis, 1834) et désignée comme tel par Gagneur & Thomas (1988). Elle détient une forte ressemblance plutôt avec *H. lauta* de laquelle elle diffère par la coloration de l'abdomen, la forme des soies sur la face dorsale des fémurs et des soies en formes de plumes sur la face dorsale des fémurs postérieurs.

De manière générale, la nymphe de *H. hassainae* diffère de celles des espèces européennes par la coloration des patterns sur l'abdomen, de toutes les espèces paléarctiques par sa taille, c'est la plus grande de 6.3 to 10mm vs 4.5 to 8 mm par rapport aux autres, elles portent le plus grand nombre de denticules sur les griffes de 18–22 denticules vs 11–16 chez d'autres espèces, et a le plus grand nombre de filaments sur chaque lamelle branchiale de 5–8 dans la lamelle ventrale et 9–12 dans la dorsale contre 1–6 et 3–9 dans les lamelles ventrales et dorsales respectivement chez toutes les autres espèces.

La découverte de cette espèce a fait l'objet d'une publication (Benhadji et al., 2018).



Habrophlebia hassainae, a new mayfly species (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) from North Africa

NADHIRA BENHADJI^{1,4}, KARIMA ABDELLAOUI HASSAINE¹ & MICHEL SARTORI^{2,3}¹Laboratoire de Valorisation des actions de l'homme pour la protection de l'environnement et application en santé publique, Université de Tlemcen, BP 119 13000 Tlemcen Algérie. E-mail: hassaine69@hotmail.com²Musée cantonal de zoologie, Palais de Rumine, Place Riponne 6, 1005 Lausanne, Suisse³Département d'écologie et évolution, Université de Lausanne, Biophore, 1015 Lausanne, Suisse. E-mail: michel.sartori@vd.ch⁴Corresponding author. E-mail: benhadji.nadhira@outlook.com

Summary

We present here a new species of *Habrophlebia*, *H. hassainae* sp. nov., described at nymphal, imaginal and egg stages obtained by rearing from the Tafna watershed, North western Algeria. The new species was previously identified as *H. cf. fusca* by Gagneur & Thomas (1988). *H. hassainae* is in fact more related to *H. lauta* McLachlan, 1884, but can be separated by different characters on the male imago and nymphs. This is the third species of *Habrophlebia* reported from North Africa.

Key words: Ephemeroptera, Leptophlebiidae, taxonomy, ecology, Tafna basin, Algeria

Introduction

The genus *Habrophlebia* Eaton, 1881 is a small genus of Leptophlebiidae, which has been historically considered as belonging to the subfamily Leptophlebiinae (e.g Peters & Edmunds 1970), but is now classified in the subfamily Habrophlebiinae, together with the genus *Habroleptoides* Schönemund, 1929 (Kluge 1994). Only seven species of *Habrophlebia* are currently recognized; one in North-eastern North America forming the monotypic subgenus *Hesperaphlebia* Peters, 1979, and six in the Western Palaearctic region (Barber-James *et al.* 2013). Two species are widely distributed in Europe, *H. lauta* McLachlan, 1884 and *H. fusca* (Curtis, 1834). *H. eldae* Jacob & Sartori, 1984 was described from Bulgaria, and is a widespread Mediterranean species which has extended its distributional range northwards due to climatic changes (Wagner *et al.* 2007). *H. consiglioi* Biancheri, 1959 was considered as an endemic to Sardinia Island, until Zrelli *et al.* (2011) reported the species from Tunisia. *H. antoninoi* Alba-Tercedor, 2000 is only known from southern Spain, whereas *H. vaillantorum* Thomas, 1986, seems endemic to the High Atlas in Morocco (Thomas *et al.* 1999). All these species are known at all ontogenetic stages (egg, nymph, male and female imagos), but the nymphs of *H. antoninoi* remain to be described. Several identification keys have been proposed for both nymphal (Jacob & Sartori 1984, Belfiore & Gaino 1985) or imaginal stages (Jacob & Sartori 1984, Alba-Tercedor 2000).

Besides *H. vaillantorum* (Morocco) and *H. consiglioi* (Tunisia), a third species has been mentioned from Algeria by Gagneur & Thomas (1988) under the name *Habrophlebia cf. fusca*, meaning some similarities with the true *H. fusca*.

The main objective of the present study was to investigate the populations studied by Gagneur & Thomas (1988), located in Northwest Algeria (Tafna watershed) with the help of freshly collected material at all stages obtained by rearing. It rapidly appeared that the species was not related to *H. fusca* and in fact constituted a new species which is described here below.

Material and methods

During a period of three years, 12 randomly chosen sampling sites situated in the Tafna watershed have been investigated (Fig. 1). This basin is located in North-western Algeria, mostly spread on the wilaya of Tlemcen. It drains an area of 7.245 km² and is confined in the north by the Traras mountains, in the south by the Tlemcen mountains, in the east by Djebel Sebaâ Chioukh and in the west by the Beni Snassen Mountains in Morocco. Overall, the Tafna watershed has a shape that is wider than long and has sub-basins that have moderately elongated shape, which promotes a regressive erosion and a longer period of concentration of the runoff (Baba Hamed & Bouanani 2016). The sampling sites (Fig.1) belong to 5 different tributaries which are wadi Tafna (TGB; TGA; TFF; TPC), wadi Chouly (CH0; CH1; CH2; CH4), the Isser wadi (IOM; I5), wadi Khemis (KH1) and wadi Safsaf (SK1 upstream of the wadi Sikkak).

The sampled specimens were preserved in 80% or 100% ethanol. Mature nymphs were transported to the laboratory where they were reared to obtain male and female subimagos and imagos. Specimens were observed under a Leica MZ12 and M205C stereomicroscope, mouthparts and legs were mounted on microscopic slides and observed under an Olympus BX51 microscope. Pictures were taken with the stereomicroscope and microscope photosystem with a LK system (Dun Inc, Virginia). For SEM pictures, eggs were dehydrated in pure ethanol, coated with 12 nm platinum and SEM pictures were performed at Lausanne University with a FEI Quanta FEG 250 at 5kV with a WD = 9.8mm. Final plates were assembled in Adobe Photoshop Elements 9.

Material is deposited in the Museum of zoology, Lausanne, Switzerland (MZL) and in the University Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algeria (UABT).

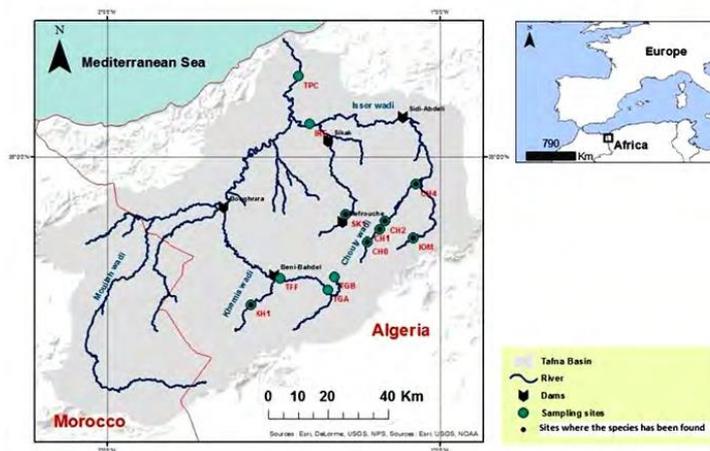


FIGURE 1. Location of investigated localities and those where *Habrophlebia hassainae* sp. nov. were found.

Results

Habrophlebia hassainae Benhadji & Sartori, sp. nov.

Habrophlebia cf. *fusca* Gagneur & Thomas 1988 : 215

Habrophlebia cf. *gr.fusca* Thomas 1998 : 14

Materials examined. Holotype: 1 male imago, with nymphal and subimaginal exuviae (GBIFCH00517552), Algeria, Tlemcen Wilaya, Isser watershed, Chouly wadi, upstream Yebdar (CH1), 34° 49' 15" N, 1° 10' 55" W, 915 m., 25.VII.2016, N. Benhadji coll. [MZL]

Paratypes: 16 male imagos (GBIFCH00517551), one of them partially mounted on slide (GBIFCH00585308) 18 female imagos, 9 female subimagos (GBIFCH00517559) with corresponding exuviae (GBIFCH00517550), with 2 of them mounted on slide (GBIFCH585306–307) same data as holotype [MZL]; 5 nymphs

(GBIFCH00517557), same locality, 20.V.2015 [MZL]; 3 nymphs (GBIFCH00517555), same locality, 8.XII.2015 [MZL]; 1 nymph, same locality, 14.IV.2015 [UABT]; 1 nymph, Chouly wadi, Beni Ghazli (CH0), 34° 47' 20.19" N, 1° 13' 6.72" W, 1022 m., 2.V.2015 [UABT]; 15 nymphs (GBIFCH00517560), same locality, 14.III.2015 [MZL]; 2 nymphs, Chouly wadi, road Ouled Mimoun-Sidi Abdelli (CH4), 34° 55' 57.22" N, 1° 04' 26.50" W 552 m., 14.III.2015 [UABT]; 1 nymph, Isser wadi, Aïn Isser (IOM), 34° 47' 56.78" N, 1° 04' 51.60" W, 870 m., 05.VI.2015 [UABT]; 1 nymph; Tafna watershed, Khemis wadi, upstream Khemis (KH1), 34° 37' 59.18" N, 1° 34' 11.63" W, 853 m., 29.VIII.2015 [UABT]; 10 nymphs (GBIFCH00517556), same data [MZL]; 1 nymph; Safsaf wadi, downstream El Ourit (SK1), 34° 51' 23.41" N, 1° 17' 1.84" W, 700 m., 31.XII.2015 [UABT]; 11 male imagos, 8 female imagos (GBIF00517554), same locality, 25.XII.2015 [MZL]; 4 nymphs (GBIFCH00517558), same locality, 27.VII.2015 [MZL]; 8 nymphs (GBIFCH00517553), same locality, 4.VIII.2015 [MZL]; all coll. N. Benhadji.

Other material (not type material): 9 male imagos, 1 female imago (GBIFCH00517561), Chouly wadi, downstream Tebbar [Yebdar] (C1), 800 m., 16.X.1982; 7 nymphs (GBIFCH00517566), same locality, 19.VI.1986; 5 male imagos (GBIFCH00517562), same locality, without date; 2 nymphs (GBIFCH00517565), Saf Saf wadi, upstream El Ourit (S1), 800 m., 17.III.1981; 12 nymphs, 1 male subimago (GBIFCH00517563), same locality, without date; 20 nymphs (GBIFCH00517564), Saf Saf wadi, downstream El Ourit (SS), 700 m., 24.V.1986; 2 nymphs (GBIFCH00517567), Tafna wadi, between the springs and Sebdu (T1), 4.II.1984 [all MZL]; coll. J. Gagneur, leg. A.G.B. Thomas.

Description. *Male imago.* Body length: 6.7 to 7 mm. Forewing length: 6.1 to 7 mm. Cerci and terminal filament length: 8.1 to 9 mm.

Head. General coloration medium brown, dark brown between ocelli; basal portion of compound eyes greyish, upper portion yellowish brown (Fig. 22); scape medium brown, pedicel dark brown, flagellum light brown.

Thorax. Pronotum greyish brown washed with dark brown; meso- and metanotum uniformly dark brown, pleura, coxae and trochanters greyish brown washed with dark brown; fore femora entirely dark brown, fore tibiae medium brown, tarsi light brown.; mid- and hind legs with femora medium brown on upper surface, lighter on proximal part, tibiae and tarsi light brown (Fig. 22).

Femur/tibia/tarsi ratio in foreleg: 1/1.5/0.5/0.5/0.4/0.2; mid leg: 1/1.2/0.1/0.1/0.05/0.2; hind leg: 1/1.2/0.08/0.07/0.05/0.15. Fore claw composed of two paddle-shape structures, mid- and hind claw with one paddle-like and one hooked. Fore wing (Fig. 24) transparent, pterostigmatic area milky with ca 10 oblique and simple transversal veins, longitudinal veins light brown, transversal veins whitish. MA and MP forks asymmetrical, cubital field with one short and two long intercalary veins Hind wing (Fig. 25) with rounded costal process ca in the middle of the wing; vein Sc long, reaching the apex of the wing.

Abdomen. Tergites and sternites colorations as in the nymph.

Styliger plate medium brown, first segment of the gonopods greyish brown, segments 2 and 3 yellowish brown. Posterior margin of the styliger plate strongly convex in the middle, median incision regularly rounded (Fig. 26); segment 1 slightly longer than segments 2 and 3 combined; ratio length segment 1 vs segment 2: ca 2.0 and segment 1 vs segment 3: ca 2.2; inner margin of segment one with a broad base, and a small incision on the outer margin. Penis lobes rounded and close together, ventral spine long and thin, reaching the base of the styliger plate (Fig. 26–27).

Cerci and terminal filament light brown, darker at base.

Female imago. Body length: 7.8 to 8.1 mm. Forewing length: 7.1 to 8 mm. Cerci and terminal filament length: 10.2 to 11 mm.

Similar to the male, with the following differences (Fig. 23). Overall coloration less contrasted, tibiae and tarsi medium brown, fore wing with longitudinal veins medium brown, transversal veins light brown; subgenital plate transformed in an ovipositor, subanal plate deeply cleft; cerci and terminal filament reddish brown.

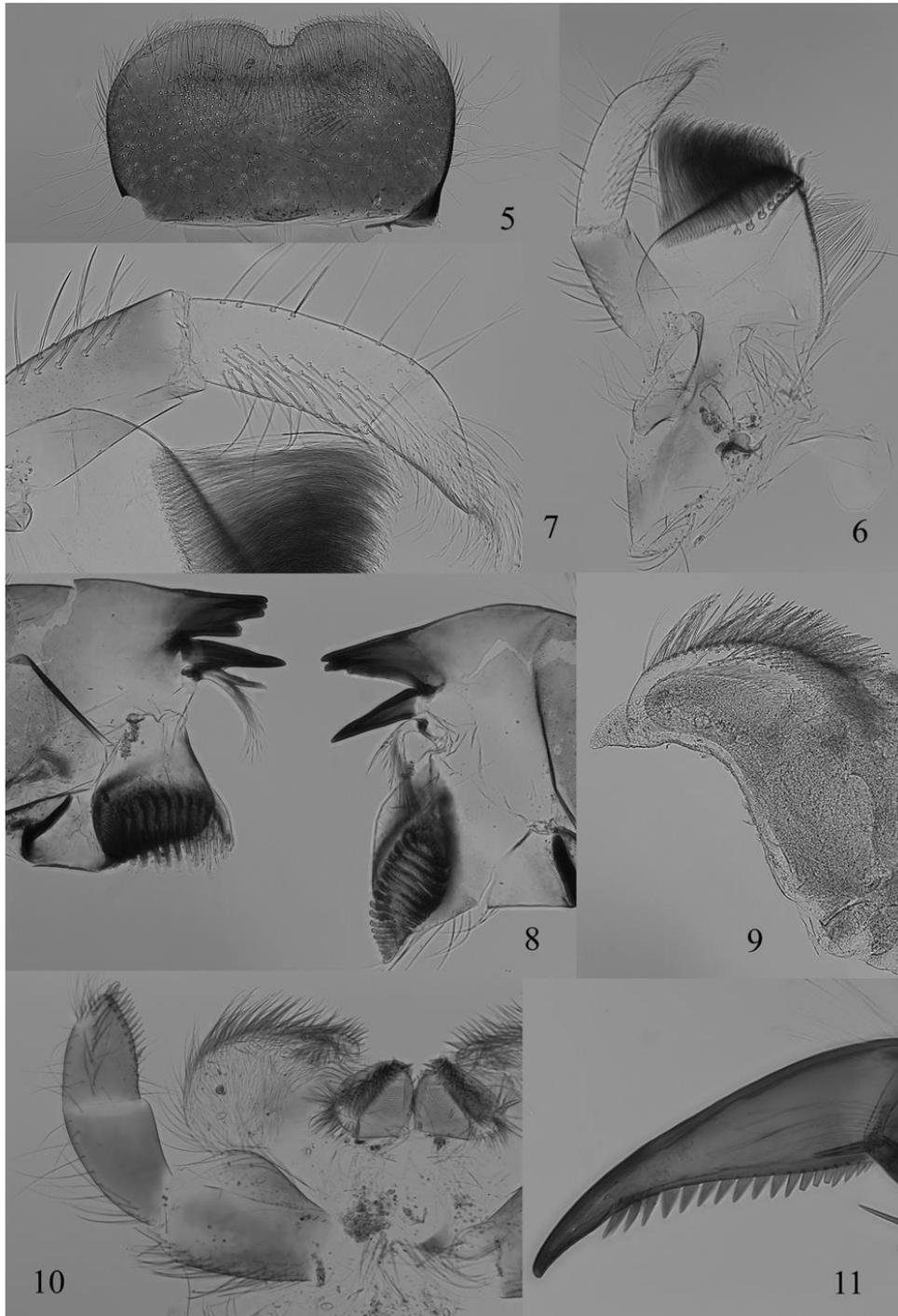
Subimagos. Similar to imagos, wings membrane brownish.

Eggs. General shape ovoid, length/width ca 190 µm/90 µm; numerous longitudinal ribs sinuous, ca 3.5–4.0 µm wide, entire without punctuation (Fig. 28); micropyle in equatorial position, with margins slightly elevated (Fig. 29).

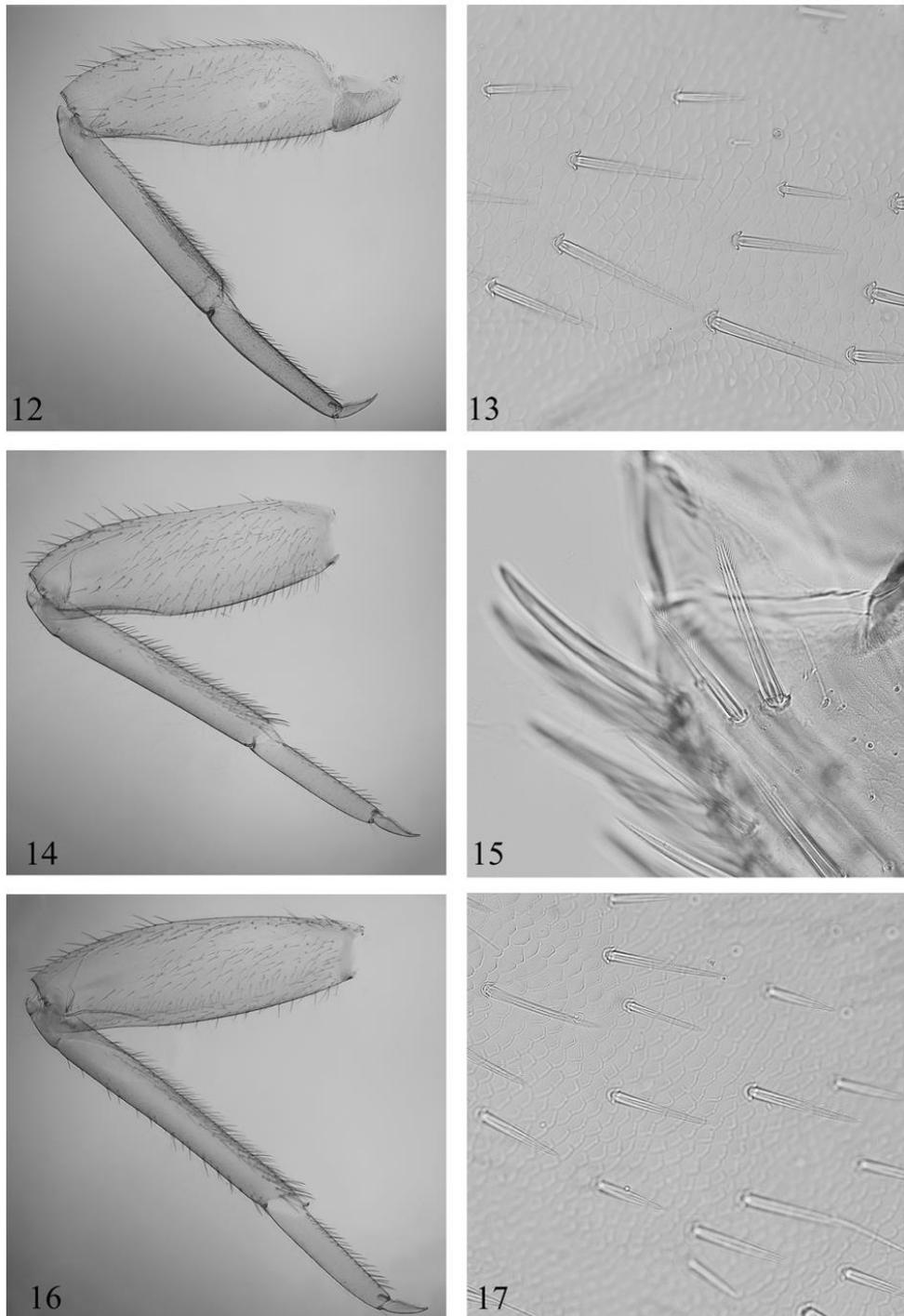
Nymph. Body length of final instar, excluding caudal filaments, 6.3 to 7.3 mm for male and 8.3 to 10 mm for female. Cerci as long as body length. General coloration light brown with dark brown markings mainly on abdominal terga (Figs 2–3). The whole cuticle is shagreened.



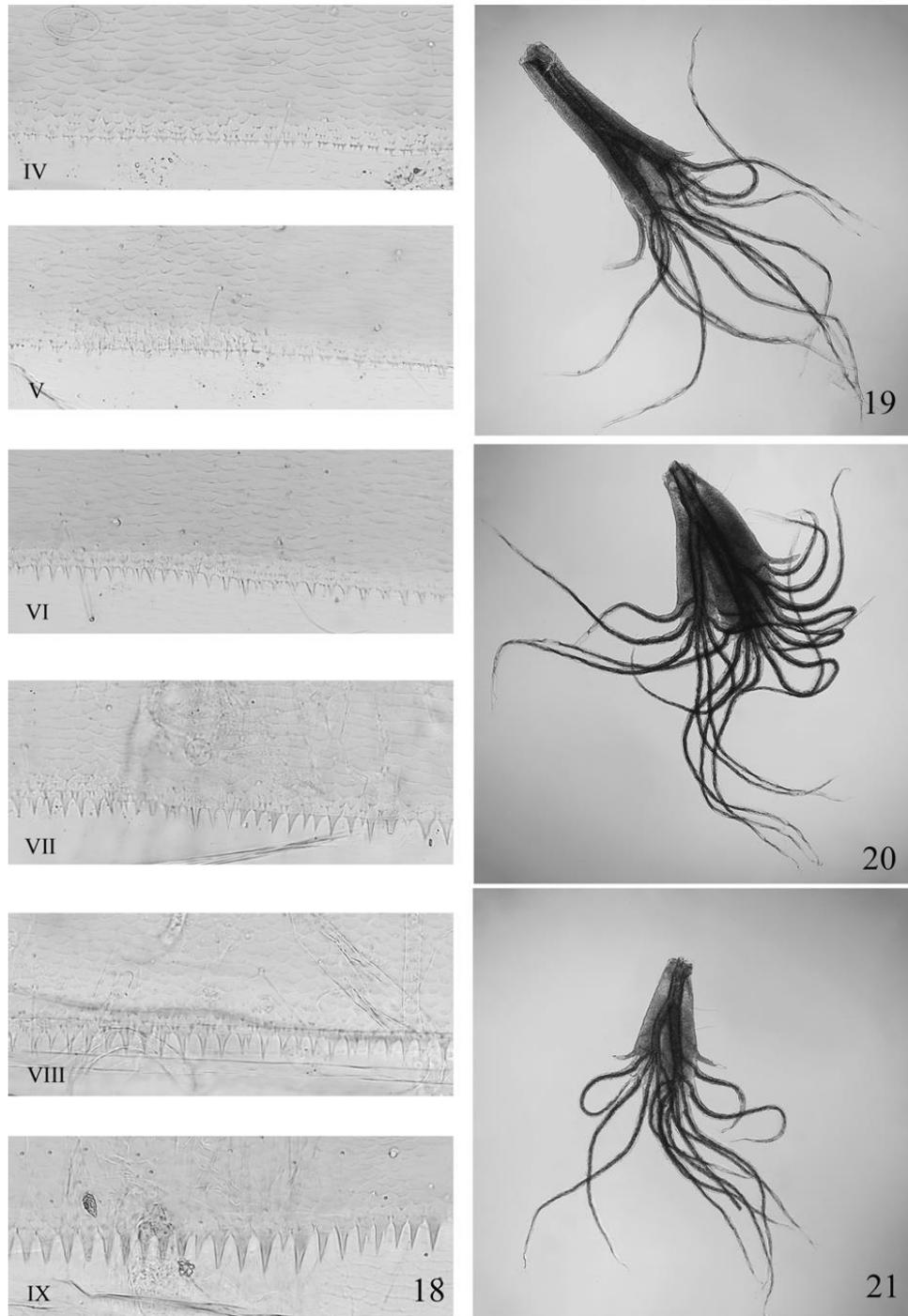
FIGURES 2–4. *Habrophlebia hassainae* sp. nov., 2, female nymph in dorsal view; 3, male nymph in dorsal view; 4, male nymph in ventral view. Scale bar = 1 mm.



FIGURES 5–11. *Habrophlebia hassainae* sp. nov. nymph: 5, labrum; 6, maxilla; 7, maxillary palp; 8, mandibles; 9, hypopharynx (right half); 10, labium (right half); 11, claw.



FIGURES 12–17. *Habrophlebia hassainae* sp. nov. nymph: 12, fore leg; 13, setae on dorsal surface of fore femur; 14, middle leg; 15, setae at apex of femur; 16, hind leg; 17, setae on upper surface of hind femur.



FIGURES 18–21. *Habrophlebia hassainae* sp. nov. nymph: 18, posterior margin of tergites IV–IX; 19, gill I; 20, gill IV; 21, gill VII.



FIGURES 22–23. *Habrophlebia hassainae* sp. nov. adults: 22, male imago; 23, female imago. Scale bar = 1 mm.

Head. General coloration medium brown; paler area between compound eyes and lateral ocelli; between ocelli, a dark brown mark not reaching the clypeus distally, and extending laterally in front of the compound eyes; vertex sutures yellowish, well visible. Upper portion of male eyes yellowish brown (Fig. 3). Antenna with scape and pedicel greyish brown, filament yellowish. Labrum (Fig. 5) rectangular, ca 1.7 x wider than long; dorsal surface covered distally with scattered stout setae, proximally with long and thin setae; anterior margin with a row of stout and spatulate setae; anteromedian emargination narrow with five flat/rounded denticles; ventral surface with two bunches of stout setae medially. Maxilla (Fig. 6) stocky, subapical row of 7–8 pectinate setae; maxillary palp 3-segmented, segment 1 slightly longer than segment 2, and about two times longer than segment 3; segment 3 triangular a little bit longer than wide at base; all stout setae on the palp entire, none feathered (Fig. 7). Mandibles similar to other *Habrophlebia* species (Fig. 8). Hypopharynx with superlinguae well developed ending with a membranous digitation (Fig. 9). Labium (Fig. 10) with glossae rhomboid, outer margin and apex covered with stout and short setae; paraglossae enlarged laterally, covered with thin and long setae on dorsal surface; with stout and long setae on outer margin; labial palp 3-segmented; inner margin of segment 1 greatly enlarged towards apex, ca 0.8 x longer than maximum width, segments 2 and 3 subequal in length, ca 0.7 x length of segment 1; segment 3 ca 1.5 x longer than wide at base.

Thorax. Pro- and mesonotum light brown to medium brown, with greyish black maculae, especially on lateral margins (Figs 2–3); legs yellowish brown to medium brown; dorsal surface of femora almost entirely washed with greyish brown macula, tarsi and tibiae generally lighter, except sometimes in mature nymphs. Anterolateral angles and anterior margin of pronotum with numerous long, stout and pointed setae. Fore femora (Fig. 12) elongated, ca 2.5 longer than wide, upper surface covered with long, entire, and pointed setae (Fig. 13); fore tibiae subequal in length to femora, outer margin with thin and long setae, inner margin with several rows of long stout and pointed setae, either entire or feathered especially near apex (as in Fig. 15); tarsi 0.6 x length of tibiae, outer margin with long and thin setae, inner margin with two rows of long, stout and pointed setae. Middle legs (Fig. 14) similar to fore legs, dorsal surface of femora with more numerous and slightly longer stout and pointed setae; tibiae 0.8 x length of femora and tarsi 0.5 x length of tibiae. Hind femora (Fig. 16) 3 x longer than wide, dorsal surface (Fig. 17) covered with stout, long, pointed and feathered setae (only visible at high magnification – 400 x and more); hind tibiae slightly shorter than hind femora, outer margin with scattered stout, pointed setae; inner margin with several rows of stout, pointed and entire setae; tarsi 0.5 x length of tibiae, outer margin with long and thin setae, inner margin with two rows of long, stout and pointed setae. Claws (Fig. 11) of all legs slightly hooked, with 18–22 denticles increasing in size towards apex.

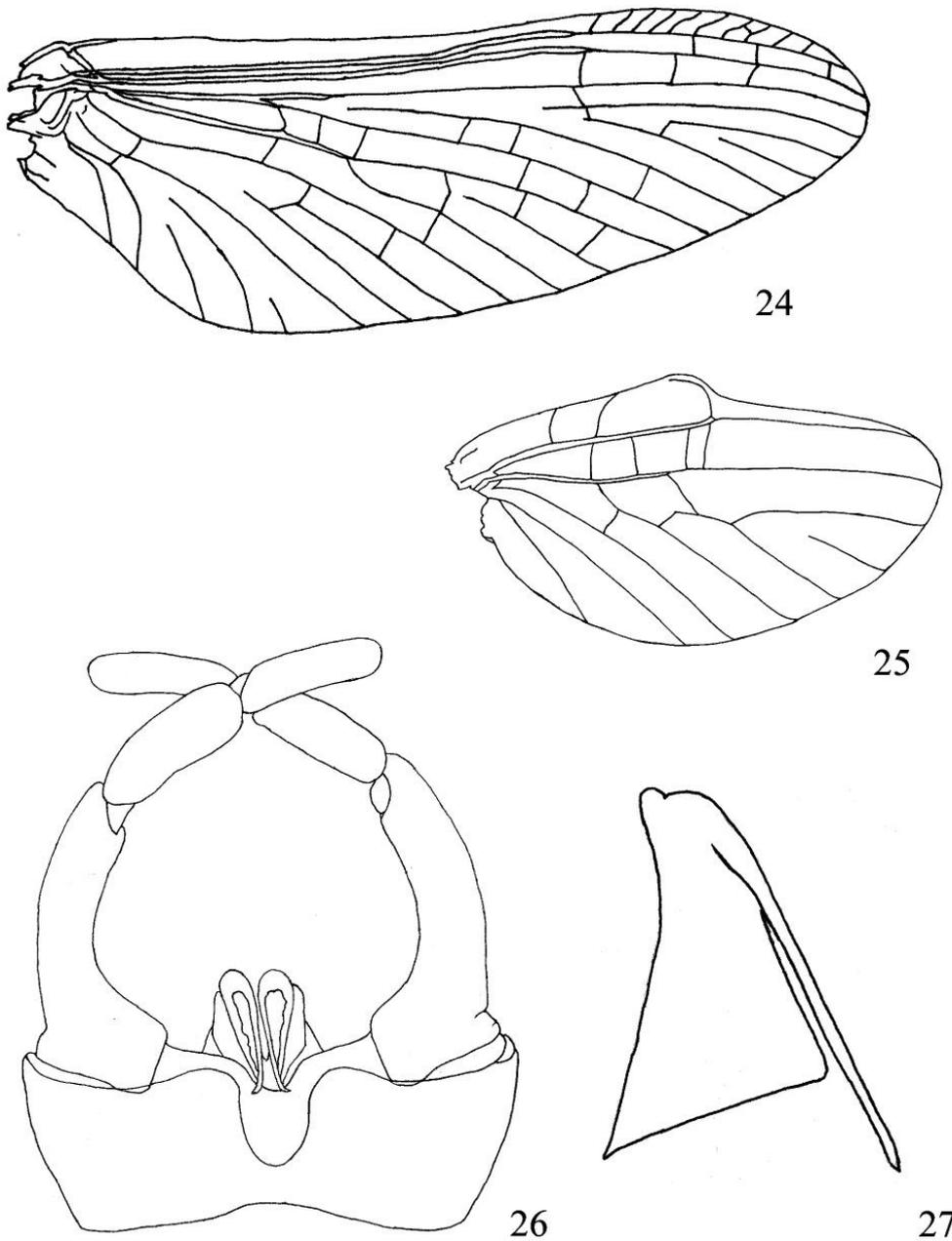
Abdomen. Tergites light to medium brown with characteristic markings (Figs 2–3), consisting in two sublateral elongated blackish brown maculae, joining on the posterior margin and with an oblong sagittal maculae, leaving two lateral light areas; posterior marking sometimes absent on tergites VIII–X. Sternites coloration somewhat similar to tergites (Fig. 4); sternite I entirely greyish brown; sternites II–VIII greyish brown with lateral, anterior and posterior bands light brown, and two parasagittal bean-like marks; sternite IX more light brown, in male nymphs with genitalia well visible and styliger plate dark brown. Posterolateral expansions only on segments VIII and IX. Ornamentation of the tergites (Fig. 18): posterior margin of tergite IX with well-developed narrow and pointed spines, ca 3 times longer than wide; tergites VII–VIII with narrower and shorter spines, bordered with submarginal microdenticles; tergites V–VI with even smaller spines, tergite IV with minute spines, not longer than the submarginal microdenticles; tergites I–III with barely visible spines at high magnification (400x). Gills present on segments I–VII; all gills long and large; first gill (Fig. 19) with ventral lamella bearing 3–4 filaments, dorsal lamella with 5–6 filaments, gills II–VI (Fig. 20) with 5–8 and 9–12 filaments on the ventral and dorsal lamella respectively, gill VII (Fig. 21) with about 8 filaments on ventral lamella and ca 10 filaments on dorsal lamella.

Cerci and terminal filament yellowish brown, medium brown in mature nymphs.

Etymology. The new species is dedicated to Prof. Karima Abdellaoui Hassaine, director of the « Laboratoire de Valorisation des actions de l'homme pour la protection de l'environnement et application en santé publique », University Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen, Algeria.

Affinities. The male imago of *Habrophlebia hassainae* sp. nov. can be easily separated from the one of *H. antoninoi* by the shape of the hind wing, from *H. fusca* and *H. eldae* by the presence of rounded lobes on outer margin of the styliger, from *H. consiglioi* and *H. antoninoi* by the shape of the penial spine which is not stout, and from *H. vaillantorum* by penis lobes in ventral view which are divergent and penial spine longer. It is more related to *H. lauta*, with whom it shares the styliger shape, the penis lobes almost straight, and the penial spine which is

long and thin. It can be separated however, from the latter by the ratio of the segments of the gonopods (segment 1 two times longer than segment 2, whereas in *H lauta*, it is less than 1.5), the coloration pattern of the abdomen, and by the shape of the penial spine which is straight and not concave in lateral view (see Alba-Tercedor 2000, Figs 12–23).



FIGURES 24–27. *Habrophlebia hassainae* sp. nov. male imago: 24, fore wing; 25, hind wing; 26, genitalia in ventral view; 27, penis lobe in lateral view.

The nymph of *H. hassainae* differs from those of *H. consiglioi*, *H. eldae*, *H. fusca* and *H. vaillantorum* by the coloration pattern of the abdomen, from *H. eldae*, *H. fusca* and *H. lauta* by the shape of the superlingua of the hypopharynx, from *H. eldae*, *H. vaillantorum* and *H. fusca* by the shape of the spines on the posterior margin of the tergites. As in male imagos, the nymph is most similar to the one of *H. lauta*, from which it can be separated by the coloration of the abdomen, the shape of the stout setae on the dorsal surface of the femora, and the presence of feathered setae on the dorsal surface of hind femora. Among all Palaearctic species of *Habrophlebia*, *H. hassainae* is the largest (6.3 to 10 mm vs 4.5 to 8 mm in others), bears the highest number of denticles on claws (18–22 denticles vs 11–16 in others), and has gills with the most numerous filaments on each lamella (5–8 in ventral and 9–12 in dorsal, versus 1–6 and 3–9 in ventral and dorsal lamella respectively, in all other species).

The eggs of *H. hassainae* (length/width ratio ca 2.1) differ from those of *H. lauta* (ca 2.7) and *H. vaillantorum* (ca 1.7) by the shape, from those of *H. fusca* and *H. consiglioi* by the shape of the ribs which are entire and not punctuate, thus resembling somewhat those of *H. eldae*.

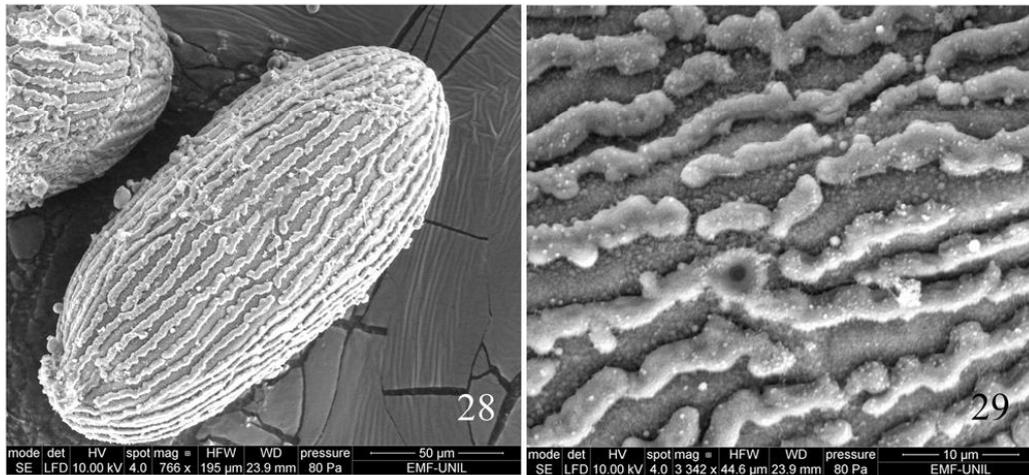
TABLE I. Geographical and physical data of sampling sites of Tafna basin Algeria (white rows = sampling sites with *H. hassainae* and grey rows = sampling sites without *H. hassainae*).

| Sites | Longitude W | Latitude N | Altitude (m) | Orientation | Distance from the source (km) |
|-------|---------------|----------------|--------------|-------------|-------------------------------|
| KH1 | 1° 34' 11.63" | 34° 37' 59.18" | 853 | S-N | 19,70 |
| SK1 | 1° 17' 1.83" | 34° 51' 23.41" | 700 | N-S | 2,30 |
| CH0 | 1° 13' 6.71" | 34° 47' 20.19" | 1022 | SE-NW | 0,30 |
| CH1 | 1° 10' 55.00" | 34° 49' 15.00" | 850 | SE-NW | 0,56 |
| CH2 | 1° 10' 0.03" | 34° 50' 25.91" | 806 | SE-NW | 1,40 |
| CH4 | 1° 04' 26.49" | 34° 55' 57.21" | 552 | SW-NE | 14,50 |
| IOM | 1° 04' 51.60" | 34° 47' 56.77" | 870 | SW-NE | 1,15 |
| TGB | 1° 18' 44.14" | 34° 41' 33.78" | 1090 | N-S | 0,56 |
| TAG | 1° 20' 13.08" | 34° 40' 14.67" | 787 | SE-N | 8,35 |
| TFF | 1° 26' 42.66" | 34° 41' 58.16" | 665 | SE-NW | 0,87 |
| IRE | 1° 23' 30.07" | 35° 04' 56.06" | 80 | S-N | 66,77 |
| TPC | 1° 25' 32.00" | 35° 12' 4.11" | 45 | S-N | 49,90 |

continued.

| Sites | Width of riverbed (m) | Dominant Substrate | Turbidity | Maximum Depth (cm) | Riparian vegetation |
|-------|-----------------------|--------------------|-----------|--------------------|---------------------|
| KH1 | 10 | P,S | C | 150 | Hb |
| SK1 | 7 | P,S | C | 100 | Ps |
| CH0 | 6 | P | C | 100 | Ps |
| CH1 | 4 | P | C | 50 | Ps |
| CH2 | 4 | P | C | 30 | Ps |
| CH4 | 6 | P,M,Si | T | 40 | Ps |
| IOM | 4 | P,M,Si | T | 70 | Ps |
| TGB | 3 | P | C | 60 | Hb |
| TAG | 4 | P,G,S | T | 100 | Ps |
| TFF | 4 | P,G,S | T | 100 | Ps |
| IRE | 5 | M,Si | T | 60 | Sh |
| TPC | 20 | M,Si | T | 70 | Sh |

P = pebbles, G = gravels, S = sands, Si = silts, M = mud, C = clear, T = turbid, Ps = pluristratified, Sh = shrublands, Hb = herbaceous.



FIGURES 28–29. *Habrophlebia hassainae* sp. nov. egg: 28, general shape; 29, detail of the chorion and micropyle.

Ecology. The seven sampling sites where nymphs of *Habrophlebia hassainae* sp. nov. were found share similar geomorphological (Table 1) and physicochemical characteristics (Table 2). Their proximity to the springs at medium and high altitude, linked to the closeness of the groundwater, the presence of riparian and aquatic vegetation allows the water temperature to remain cool.

TABLE 2. Physicochemical data of the sampling sites: mean values from monthly measurements carried out during the sampling period (3years), with the rate of 3 to 5 measurements per hydrological period; high flow lasts from November to April, low flow runs from May to October (white columns: sampling sites with *H. hassainae* and grey columns: sampling sites without *H. hassainae*).

| | KH1 | SK1 | CH0 | CH1 | CH2 | CH4 | IOM | TGB | TGA | TFF | IRE | TPC |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Air temperature (°C) | | | | | | | | | | | | |
| High flow | 18.75 | 18.5 | 19 | 19.50 | 18.50 | 19.50 | 18.22 | 19 | 20 | 21 | 21.50 | 22 |
| Low flow | 28 | 30.75 | 30.50 | 30.75 | 31.50 | 32 | 31.50 | 29 | 30 | 30.50 | 37 | 39.50 |
| Water temperature (°C) | | | | | | | | | | | | |
| High flow | 14.58 | 14.60 | 14.60 | 14.94 | 14.96 | 15.59 | 15.91 | 15.46 | 15.78 | 16 | 17.12 | 17.24 |
| Low flow | 20.50 | 20 | 20.40 | 20.60 | 20.50 | 20 | 21 | 20 | 20.80 | 20.60 | 23.33 | 23.71 |
| Dissolved O ₂ (mg/l) | | | | | | | | | | | | |
| High flow | 8.92 | 7.98 | 6.92 | 7.10 | 7.75 | 7.55 | 6.38 | 7.56 | 6.11 | 8.84 | 7.09 | 8.25 |
| Low flow | 8.57 | 8.46 | 7.38 | 7.04 | 7.88 | 7.79 | 7.22 | 7.20 | 7.05 | 8.48 | 7.56 | 6.05 |
| pH | | | | | | | | | | | | |
| High flow | 8.07 | 7.96 | 7.75 | 7.73 | 8.13 | 7.79 | 7.59 | 7.64 | 8.01 | 8.09 | 8.10 | 7.95 |
| Low flow | 8.12 | 7.61 | 7.59 | 7.41 | 7.98 | 7.40 | 7.10 | 7.28 | 8.38 | 8.39 | 7.88 | 8.07 |
| Conductivity (µs/cm) | | | | | | | | | | | | |
| High flow | 614 | 500 | 569 | 577 | 540 | 755 | 869 | 661 | 961 | 873 | 1730 | 2283 |
| Low flow | 622 | 500 | 619 | 605 | 622 | 798 | 901 | 635 | 996 | 1010 | 1820 | 2023 |

The wadis are formed by a succession of riffles and pools, and it is in these pools that *H. hassainae* is the most frequently encountered. The pools are approximately 5 to 40 cm deep with low to moderate current over a stony bed and even fine sandy sediments. Most nymphs can be found in the marginal submerged vegetation. First instar nymphs can also be found in the riffle section where they find refuge and food under the stones.

The sites are less exposed to pollution than the downstream sites and the supply of freshwater from the numerous springs maintain the clearness of the water, richness of aquatic vegetation and the riffles keep the water well oxygenated.

Gagneur & Thomas (1988) mentioned that high conductivity was the main ecologic factor limiting the downstream distribution of *H. cf. fusca* (max. approximatively 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$). In our study we found the same values for sites colonized by *H. hassainae* nymphs, with the exception of site I1 which had higher values (850–900 $\mu\text{S}/\text{cm}$). These highly stable values over 30 years indicate a weak anthropogenic impact on the environment.

Acknowledgments

We are very thankful to Mme Geneviève L'Eplattenier (MZL) and Mr Antonio Mucciolo (UNIL) for SEM pictures. The first author expresses all her gratitude to all members of the Laboratory of valorisation of human actions for the protection of the environment and application in public health of Faculty of Tlemcen and all members of the Museum of Zoology in Lausanne; especially Mr Michel Sartori and Mr Jean-Luc Gattolliat for their precious help and wisdom; for their availability, advises and their kindness. Special thanks to my colleague Soumia Dekkak for her support in and out the sampling sites.

References

- Alba-Tecedor, J. (2000) *Habrophlebia antoninoi* sp.n., a new species from Spain, with an account of the European species *Habrophlebia* Eaton, 1881 (Ephemeroptera: Leptophlebiidae, Habrophlebiinae). *Aquatic Insects*, 22, 1–7.
[https://doi.org/10.1076/0165-0424\(200001\)22:1;1-Z;FT001](https://doi.org/10.1076/0165-0424(200001)22:1;1-Z;FT001)
- Baba Hamed, K. & Bouanani, A. (2016) Caractérisation d'un bassin versant par l'analyse statistique des paramètres morphométriques : Cas du bassin versant de la Tafna. (Nord-ouest algérien). *International Journal of Tropical Geology, Geography and Ecology*, 40 (4), 277–286.
- Barber-James, H., Sartori, M., Gattolliat, J.L. & Webb J. (2013) World checklist of freshwater Ephemeroptera species World Wide Web electronic publication. Available online at <http://fada.biodiversity.be/group/show/35> (accessed 25 June 2017)
- Belfiore, C. & Gaino, E. (1985) Le specie italiane del genere *Habrophlebia* Eaton, 1881 (Ephemeroptera, Leptophlebiidae). *Bollettino Associazione Romana di Entomologia*, 39, 11–18.
- Biancheri, E. (1959) Note sugli Efemeroteri italiani. IX. Descrizione di una nuova specie della Sardegna: *Habrophlebia consiglioi* sp. n. *Bollettino della Società Entomologica Italiana*, 89 (3/4), 35–38.
- Curtis, J. (1834) Descriptions of some nondescript British species of May-flies of anglers. *London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science*, 4 (20), 120–125.
<https://doi.org/10.1080/14786443408648276>
- Eaton, A.E. (1881) An announcement of new genera of the Ephemeridae. *Entomologist's Monthly Magazine*, 17, 191–197.
- Gagneur, J. & Thomas, A.G.B. (1988) Contribution à la connaissance des Ephéméroptères d'Algérie. I. Répartition et écologie (1^{re} partie) (Insecta, Ephemeroptera). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 124, 213–224.
- Jacob, U. & Sartori, M. (1984) Die europäischen Arten der Gattung *Habrophlebia* Eaton. *Entomologische Abhandlungen Staatliches Museum für Tierkunde Dresden*, 48, 45–52.
- Kluge, N.J. (1994) Habrophlebiinae subfam. n. with description of a new species of *Habroleptoides* from the Caucasus (Ephemeroptera: Leptophlebiidae). *Zoosystematica Rossica*, 3 (1), 35–43.
- McLachlan, R. (1884) Recherches névroptérologiques dans les Vosges. *Revue d'Entomologie*, 3, 9–20.
- Peters W.L. (1979) Taxonomic status and phylogeny of *Habrophlebia* and *Habroleptoides* (Leptophlebiidae: Ephemeroptera). In: *Pasternak, K. & Sowa, R. Proceedings of the Second International Conference on Ephemeroptera*. Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa-Krakow, pp. 51–56
- Peters, W.L. & Edmunds, G.F. Jr. (1970) Revision of the generic classification of the Eastern Hemisphere Leptophlebiidae (Ephemeroptera). *Pacific Insects*, 12 (1), 157–240.
- Schönemund, E. (1929) *Habroleptoides*, eine neue Ephemeropteren-Gattung. *Zoologischer Anzeiger*, 80, 222–232.
- Thomas, A.G.B. (1998) A provisional checklist of the mayflies of North Africa (Ephemeroptera). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 134, 13–20.
- Thomas, A.G.B. & Bouzidi, A. (1986) Trois Ephéméroptères nouveaux du Haut Atlas marocain (Heptageniidae, Baetidae, Leptophlebiidae). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 122, 7–10.
- Thomas, A., Gaino, E. & Marie, V. (1999) Complementary description of *Habrophlebia vaillantorum* Thomas, 1986 in comparison with *H. fusca* (Curtis, 1834) (Ephemeroptera, Leptophlebiidae). *Ephemera*, 1, 9–21.
- Wagner, A., Lubini, V. & Vicentin, H. (2007) *Habrophlebia eldae* Jacob & Sartori, 1984 (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) neu für die schweizer Fauna. *Mitteilungen der Schweizerischen entomologischen Gesellschaft*, 80, 91–98.
- Zrelli, S., Boumaïza, M., Bejaoui, M., Gattolliat, J.-L. & Sartori, M. (2011) New reports of mayflies (Insecta: Ephemeroptera) from Tunisia. *Revue Suisse de Zoologie*, 118, 3–11.

2 Barcoding moléculaire

2.1 Utilité

La diagnose de larves des Baetidae a présenté un réel challenge, la morphologie des espèces récoltées étant très proche de celles des espèces européennes et usuellement identifiées pour la plupart comme tel, ceci a limité notre raisonnement et nous a empêché d'étirer un peu plus les barrières biogéographiques. Le recours au barcoding moléculaire s'est avérée être une nécessité afin de trancher une fois pour toute sur l'endémisme de certains espèces (e.g. *P. stagnicola*) et sur la taxonomie d'autres considérées cosmopolites comme *C. cf. dipterum*.

Récemment, les études biomoléculaires incluant des taxa de cette famille ont exposé les nombreuses lignées que certains peuvent comporter et leur caractère cryptique, ce qui les rend extrêmement difficile à être identifiées à l'espèce. D'autre part, des résultats de reconstructions impliquant des spécimens nord-africains et micronésiens du genre *Baetis* et *Cloeon* ont mis en exergue les fortes relations entre la faune du Nord du continent et celles des îles.

2.2 Principaux résultats obtenus

La recherche des affinités entre les espèces de Baetidae algériens et celles européennes ou insulaires, a permis de confirmer l'endémisme de certains et ce, en délimitant les espèces à l'aide du barcode moléculaire au-delà des barrières du diagnostic morphologique. L'analyse et l'évaluation des distances génétiques entre les espèces algériennes et les espèces des régions voisines a permis d'analyser la composition des Baetidae algériens et de distinguer les lignées qui peuvent représenter des espèces putatives. Grace aux reconstructions biomoléculaires, nous apportons un grand nombre d'informations inédites sur les Baetidae d'Algérie et plus précisément ceux de la Tafna (publication soumise à la revue Biodiversity Data Journal), nous retenons essentiellement les points suivants :

- Deux espèces sont enregistrées pour la première fois en Afrique du Nord: *B. atlanticus* dont la distribution était jusqu'à lors dans la macaronésie et l'Europe, ainsi que *C. peregrinator*, espèce considérée comme exclusivement macaronésienne. Chaque espèce s'est greffée au clade correspondant avec une très faible distance génétique.
- L'endémisme propre au Maghreb de deux espèces est également confirmé : *B. sinespinosus* et *P. stagnicola*, chaque groupe de séquences de chacune de ces deux espèces a formé un clade monophylétique indépendant avec une forte distance génétique des autres clades.
- Le clade du *B. maurus* s'est révélé être le seul ayant une connexion avec la péninsule ibérique, cependant, représentant une tout autre espèce endémique maghrébine vu les fortes distances génétiques avec les clades de la région suscitée, néanmoins, une confirmation est de mise par

d'avantage de populations séquencées de l'Espagne et du Maghreb ainsi qu'un diagnostic morphologique en faveur.

- Les grandes distances génétiques entre notre séquence d'A. cf. *sinaica* et les deux autres clades d'A. cf. *sinaica* de France et d'Italie, mènent à déduire qu'il y a possibilité qu'elle représente une espèce non décrite d'Afrique du Nord. Encore une fois, il faudrait renchérir avec d'autres analyses biomoléculaires et des différences morphologiques bien nettes.
- Le clade algérien du *B.cf. pavidus* est conspécifique avec le clade du sud de la France en détenant une faible distance génétique, en revanche, ces deux clades sont génétiquement distants du clade de Sicile Italie, ce qui prétend à penser que ces deux clades représentent deux espèces différentes et nouvelles.
- A côté des Baetidae, nous avons obtenu les résultats biomoléculaires pour des individus des familles Ecdyonuridae et Leptophlebiidae, les reconstructions de deux espèces endémiques d'Afrique du Nord que sont *Ecdyonurus rothschildii* and *Habrophlebia hassainae* ont montrés l'indépendance des clades de ces espèces par rapport aux espèces européennes avec des distances génétiques considérables.
- La reconstruction comportant *H. hassainae* a été réalisée avec le model General Time Reversible+G+I, le clade de *H. hassainae* (HP_Gp2) est monophylétique supporté par un bootstrap de 51% et une distance intraspécifique moindre ($\approx 1\%$), ce clade présente de fortes distances interspécifiques des deux autres clades, il est 14% distant de HP_Gp1 (clade de *H. eldae*) et 24% distant de HP_Gp3 (clade de *H. vibrans*).
- Pour *E. rothschildii*, la reconstruction réalisée grâce au model General Time Reversible+G+I, le groupe *E. rothschildii* forme un clade monophylétique avec une séquence EC_sp_TU_CO de Tunisie (EC_Gp2) supporté avec un bootsrap de 100% et avec une distance génétique intraspécifique faible ($\approx 1\%$) et avec des distances interspécifiques considérables avec entre autres le clade de *E. venosus* avec la distance la plus faible (16%).

Tableau 14: Distances intra (en rouge) et interspécifique des groupes d'*Habrophlebia*.

| | HP_Gp1 | HP_Gp2 | HP_Gp3 |
|--------|--------|--------|--------|
| HP_Gp1 | 0,04 | | |
| HP_Gp2 | 0,14 | 0,02 | |
| HP_Gp3 | 0,28 | 0,24 | 0,10 |

Tableau 15: Distances intra (en rouge) et interspécifique des groupes d'*Ecdyonurus*.

| | EC_Gp1 | EC_Gp2 | EC_Gp3 | EC_Gp4 | EC_Gp5 | EC_Gp6 | EC_Gp7 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| EC_Gp1 | 0,06 | | | | | | |
| EC_Gp2 | 0,16 | 0,01 | | | | | |
| EC_Gp3 | 0,24 | 0,22 | 0,15 | | | | |
| EC_Gp4 | 0,20 | 0,20 | 0,23 | n/c | | | |
| EC_Gp5 | 0,22 | 0,22 | 0,24 | 0,21 | 0,04 | | |
| EC_Gp6 | 0,25 | 0,25 | 0,23 | 0,23 | 0,25 | 0,16 | |
| EC_Gp7 | 0,24 | 0,22 | 0,25 | 0,22 | 0,22 | 0,24 | 0,00 |

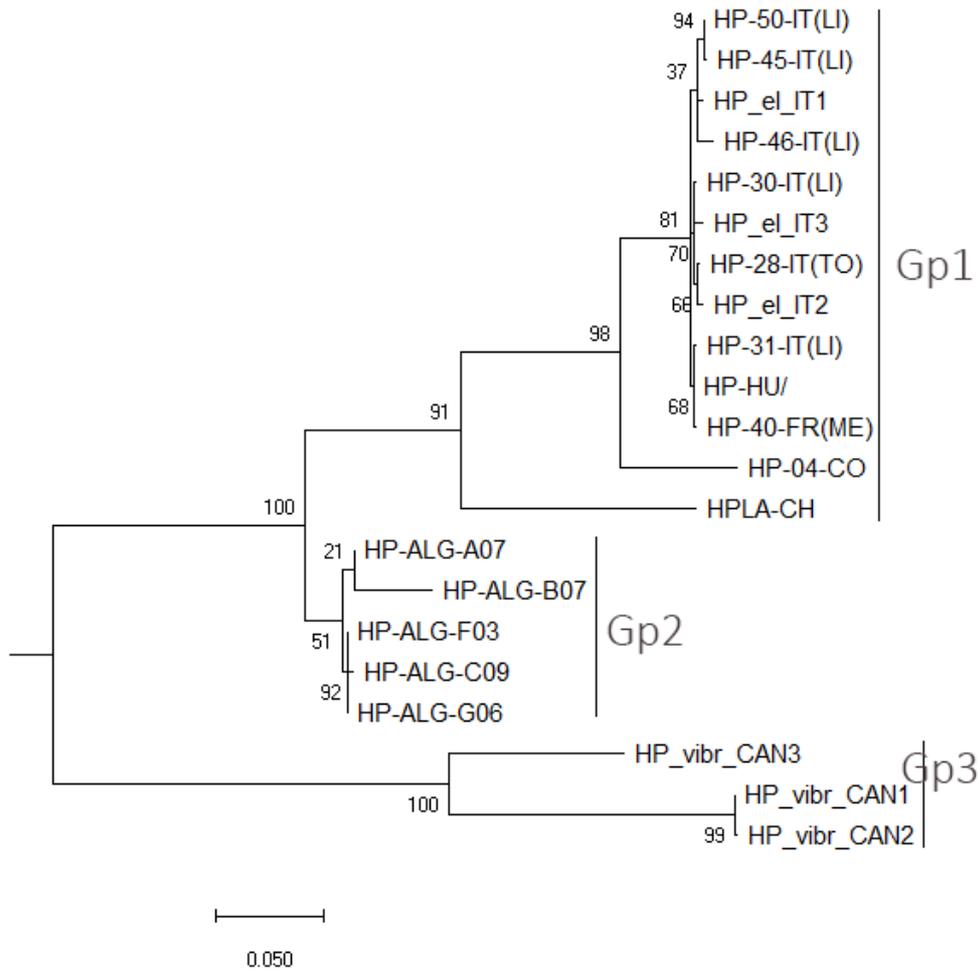


Figure 36: Maximum Likelihood tree reconstructed for *Habrophlebia* using General Time Reversible model (+G+I); deeper nodes are labelled above branches with Maximum Likelihood bootstrap support (BS).

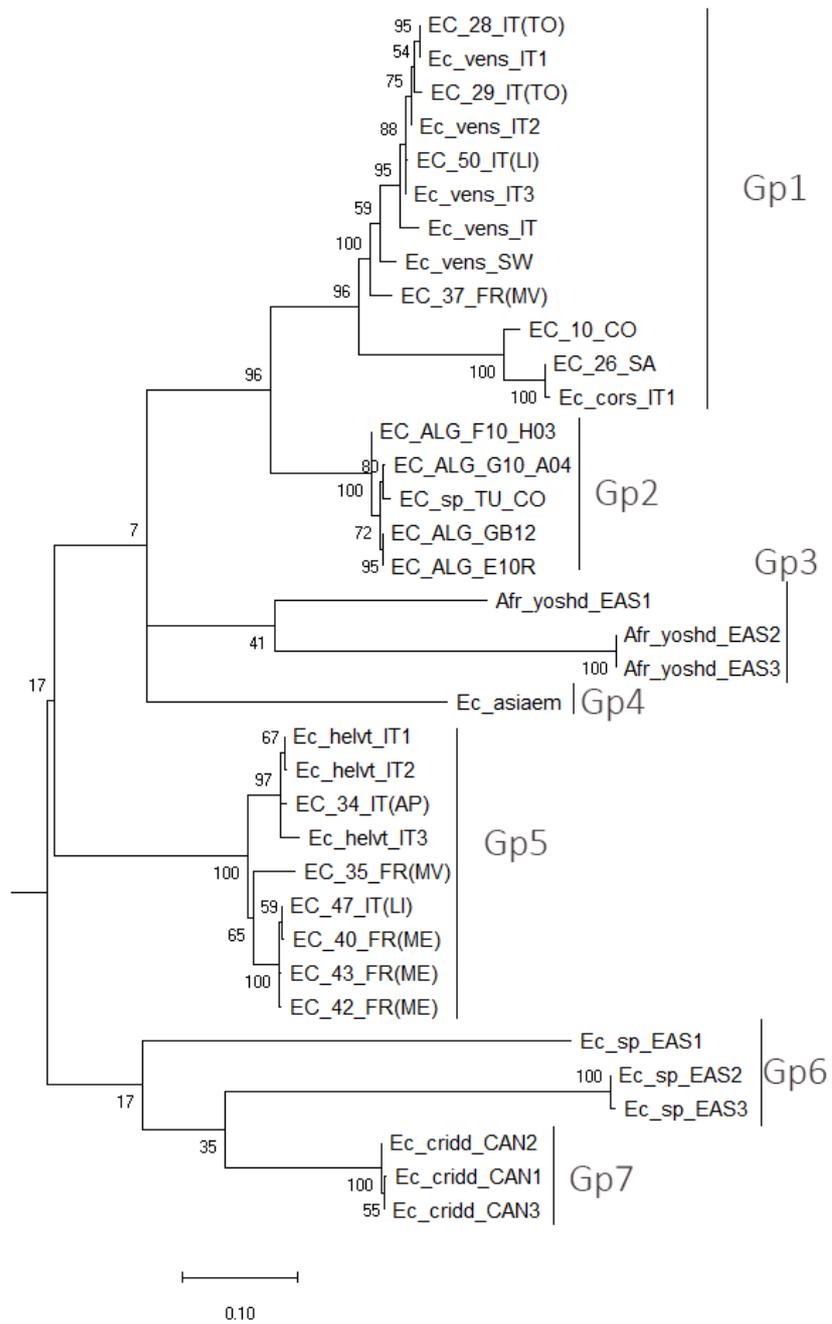


Figure 37: Maximum Likelihood tree reconstructed for *Ecdyonurus* using General Time Reversible model (+G+I); deeper nodes are labelled above branches with Maximum Likelihood bootstrap support (BS).



Taxonomic Paper

Reports of Baetidae (Ephemeroptera) species from Tafna Basin, Algeria and biogeographic affinities revealed by DNA barcoding

Nadhira Benhadji[‡], Michel Sartori^{§,1}, Karima Abdellaoui Hassaine[‡], Jean-Luc Gattolliat^{§,1}[‡] Laboratoire de recherche Valorisation des actions de l'homme pour la protection de l'environnement et application en santé publique, Université de Tlemcen, BP 119 13000, Tlemcen, Algeria[§] Musée cantonal de zoologie, Lausanne, Switzerland¹ Département d'Ecologie et Evolution, Université de Lausanne, Lausanne, SwitzerlandCorresponding author: Nadhira Benhadji (nadhira.benhadji@univ-tlemcen.dz)

Academic editor: Benjamin Price

Received: 18 Jun 2020 | Accepted: 24 Jul 2020 | Published: 14 Aug 2020

Citation: Benhadji N, Sartori M, Abdellaoui Hassaine K, Gattolliat J-L (2020) Reports of Baetidae (Ephemeroptera) species from Tafna Basin, Algeria and biogeographic affinities revealed by DNA barcoding. Biodiversity Data Journal 8: e55596. <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e55596>

Abstract

Background

The Mediterranean basin is known to be the cradle of many endemic species. Within mayflies (Insecta, Ephemeroptera), North African species belonging to the family Baetidae remain poorly known and, traditionally, affinities to European fauna were proposed. Recent studies, based on molecular reconstructions, showed closer relationships to Mediterranean islands fauna.

New information

Baetidae were sampled from North-West Algerian wadis (Tafna basin) and involved in COI barcoding reconstructions. Seven species were identified. The subgenus *Rhodobaetis* is represented by *Baetis atlanticus* known previously from Macaronesian islands, Europe and Morocco and the Maghrebian endemic *Baetis sinespinosus*. Specimens, previously

© Benhadji N et al. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

identified as *Cloeon cf. dipterum*, correspond to *Cloeon peregrinator* and, until now, only reported from Macaronesia. Besides the confirmation of endemism of some species, such as *Procloen stagnicola* and *B. sinespinosus*, our molecular study showed quite original results for relationships between European, insular and Algerian species. *Baetis maurus* stood out as a North African endemic sister clade to an Iberian clade. Furthermore, we found clear interspecific distances between Algerian and European clades for *A. cf. sinaica* and *B. cf. pavidus*, suggesting the presence of cryptic species in Algeria. However, additional studies are needed, as, for the moment, no clear morphological characters were found to separate the different clades and support them as valid species.

Keywords

Mayflies, *Baetis*, *Rhodobaetis*, *Cloeon*, DNA Barcoding, COI, endemism, Algeria

Introduction

The family Baetidae has a cosmopolitan distribution and represents a quarter of the Ephemeroptera diversity worldwide both at generic and specific levels (Barber-James et al. 2008, Gattolliat and Nieto 2009, Sartori and Brittain 2015). The genera *Baetis* Leach, 1815 and *Cloeon* Leach, 1815 have the largest distribution amongst the family and encompass, respectively, 152 and 74 species (Sartori and Brittain 2015, Jacobus et al. 2019). In Europe, *Baetis* was originally divided into eleven species groups (Müller-Liebenau 1969), of which some are now considered as valid genera (*Alainites* Waltz and McCafferty, 1994; *Labiobaetis* Novikova and Kluge, 1987; *Nigrobaetis* Novikova and Kluge, 1987) or subgenera (*Patites* Thomas and Dia, 1999; *Rhodobaetis* Jacob, 2003) (Jacob 2003, Novikova and Kluge 1987, Thomas and Dia 2000, Waltz et al. 1994).

The subgenus *Rhodobaetis* (corresponding to the *Baetis rhodani* group) presently encompasses 43 species, some of them being amongst the most common and abundant mayflies. While some species are widely distributed (e.g. *Baetis rhodani* (Pictet, 1843), *Baetis atlanticus* Soldán and Godunko, 2006), others present a presumably restricted distribution, such as endemic to a single Canary Island (*Baetis palmensis* Gattolliat and Sartori, 2018; *B. tenerifensis* Gattolliat and Sartori, 2018; *B. gomerensis* Gattolliat and Sartori, 2018) or known from a restricted area (*Baetis chelif* Soldán, Godunko and Thomas, 2005 or *Baetis sinespinosus* Soldán and Thomas, 1983 in Algeria) (Gattolliat et al. 2018b, Soldán et al. 2005). Previous molecular studies, based on COI, revealed a high number of independent lineages, which may correspond to cryptic undescribed species (Bisconti et al. 2018, Bisconti et al. 2016, Gattolliat et al. 2015, Gattolliat et al. 2018b, Sroka 2012, Williams et al. 2006).

The species delimitation within the genus *Cloeon* Leach, 1815 (sensu Kluge 2016b) is also highly problematic. Most of the reports of the widely-distributed *Cloeon dipterum* (Linnaeus, 1761) or *Cloeon cognatum* Stephens, 1835 must be considered with caution as several

independent lineages are hidden behind these concepts (Rutschmann et al. 2014, Rutschmann et al. 2017).

Thomas (1998) proposed the first preliminary checklist of mayflies from North Africa, including 25 Baetidae species. Eleven species are endemic to North Africa: *Centroptilum algericum* Eaton, 1899; *Baetis sinespinosus*; *Cloeon saharense* Soldán and Thomas, 1983; *Nigrobaetis numidicus* (Soldán and Thomas, 1983); *Nigrobaetis rhithralis* (Soldán and Thomas, 1983); *Procloeon stagnicola* Soldán and Thomas, 1983; *Cheleocloeon dimorphicum* (Soldán and Thomas, 1985); *Baetis berberus* Thomas, 1986; *Alainites oukaimeden* (Thomas and Sartori, 1992); *Alainites sadati* Thomas, 1994 and *Baetis chelif*. Eleven species are originally described from Algeria, ten of them between 1983 and 1986 (Soldán and Thomas 1983a, Soldán and Thomas 1983b, Soldán and Thomas 1985) and no new taxa have been described since 2005 (Soldán et al. 2005). Ten Central European species were reported from Maghreb, but all these identifications should be taken with caution. Remaining species present West Mediterranean distribution including North Africa and Iberian Peninsula (*Baetis punicus* Thomas, Boumaiza and Soldán, 1983; *Baetis maurus* Kimmins, 1938) or Italian peninsula and South of France (*Baetis pavidus* Grandi, 1949).

Recently, molecular reconstructions involving Baetidae were conducted for different projects, in particular for the origin of Macaronesian and Corsican mayflies fauna (Gattolliat et al. 2015, Gattolliat et al. 2018b, Rutschmann et al. 2014, Rutschmann et al. 2017). Despite being not directly focused on North Africa, they included specimens from Tunisia, Algeria and Morocco. These preliminary results for North Africa underlined important links between North African and Macaronesian faunas (in the case of *Cloeon* and *Baetis*). The discovery in Tunisia of a species of Leptophlebiidae, assumed as endemic to Sardinia (Zrelli et al. 2011), also confirmed possible connections between Italy and Maghreb, mainly during crucial geological events, such as the Messinian Salinity Crisis (Gattolliat et al. 2015).

North African species of *Labiobaetis* and *Cheleocloeon* Wuillot and Gillies, 1993 have most probably an Afrotropical origin as they are mainly diversified in this area. A dozenspecies of *Cheleocloeon* are described in Afrotropics, while the genus is only represented in the Palearctic by a single Maghrebian species (*Cheleocloeon dimorphicum*) and one in the Arabian Peninsula, *Cheleocloeon soldani* Gattolliat and Sartori, 2008 (Gattolliat and Sartori 2008, Kluge 2016a). Despite also being present in Central Europe, *Labiobaetis* is mostly diversified in tropical areas, as proven by its high diversity in Afrotropics (Gattolliat 2001, Lugo-Ortiz and McCafferty 1997) and South East Asia (Kaltenbach and Gattolliat 2018, Kaltenbach and Gattolliat 2019, Kaltenbach and Gattolliat 2020). While a part of the Afrotropical species present a very restricted distribution (Gattolliat 2001, Lugo-Ortiz and McCafferty 1997), a recent molecular reconstruction proved that specimens from Comoro Islands, South Africa and Arabian Peninsula form a monophyletic clade corresponding to *Labiobaetis glaucus* (Agnew, 1961) (Gattolliat et al. 2018a).

The present study is the first molecular analysis for Algerian mayflies using the cytochrome oxidase subunit I (COI) region for species delimitation. The main aims are to clarify the

status of the different species of Baetidae present in North West Algeria, especially for Central European species assumed to occur in Maghreb. We also want to clarify the species delimitation in some groups with potential cryptic species and significant difficulties to identify, based on morphological characters only. Finally, we want to understand the affinities between Maghrebian and neighbouring fauna.

Materials and methods

Sampling

We investigated twelve sampling sites, all located in the Tafna basin in North-West Algeria (Fig. 1); a detailed description of this area is presented in Benhadji et al. (2019). The Baetidae specimens used for the molecular study are listed in Table 1. They were collected by using a Surber net between April and October 2016, then preserved in 99% ethanol and stored at cold and stable temperature (4°C). A total of 52 larvae were identified at the generic or specific level, based on morphological characters (Benhadji et al. 2019), including *Rhodobaetis* spp. (26 specimens), *B. cf. pavidus* (13 specimens), *B. maurus* (four specimens), *Acentrella cf. sinaica* (one specimen), *C. cf. dipterum* (four specimens) and *P. stagnicola* (three specimens) (Table 1). Specimens and DNA extractions are housed in the collections of the Museum of Zoology, Lausanne, Switzerland.

Table 1.

List of COI sequenced specimens with Genbank accession number. For sites code, see Benhadji et al. (2019). Each specimen is identified by alphanumeric codes. The two first letters indicate the taxonomic group (RB: *Rhodobaetis*; BP: *Baetis pavidus*; BM: *Baetis maurus*; AC: *Acentrella cf. sinaica*; CO: *Cloeon peregrinator*; PC: *Procloeon stagnicola*). ALG indicates the country (i.e. Algeria). The following letter (A to H) with number (1 to 8) indicate the position of the well on the PCR plate. An "F" is added at the end of some codes when only the forward amplification was successful.

| Taxa | Sites | Codes | Genbank accession |
|----------------------------|-------|-------------|--------------------------|
| <i>Baetis sinespinosus</i> | SK1 | RB_ALG_A06 | MT800078 |
| | SK1 | RB_ALG_D07 | MT800085 |
| | SK1 | RB_ALG_E07 | MT800086 |
| | SK1 | RB_ALG_F05F | MT800093 |
| | SK1 | RB_ALG_G05F | MT800095 |
| | SK1 | RB_ALG_H05F | MT800096 |
| | CH0 | RB_ALG_D01F | MT800091 |
| | CH1 | RB_ALG_B03 | MT800080 |
| | CH1 | RB_ALG_F02 | MT800087 |
| | CH1 | RB_ALG_H02 | MT800089 |
| | CH1 | RB_ALG_A03F | MT800090 |
| | CH1 | RB_ALG_G02F | MT800094 |

| Taxa | Sites | Codes | Genbank accession |
|--------------------------------------|-------|-------------|--------------------------|
| | CH4 | RB_ALG_B04 | MT800081 |
| | CH4 | RB_ALG_C04 | MT800083 |
| | IOM | RB_ALG_F04 | MT800088 |
| | TGB | RB_ALG_C10 | MT800084 |
| | TGB | RB_ALG_D10F | MT800092 |
| | TFF | RB_ALG_A10 | MT800079 |
| | TFF | RB_ALG_B10 | MT800082 |
| <i>Baetis atlanticus</i> | SK1 | RB_ALG_C07 | MT800053 |
| | CH0 | RB_ALG_C01F | MT800059 |
| | KH1 | RB_ALG_C08 | MT800054 |
| | KH1 | RB_ALG_D08 | MT800055 |
| | KH1 | RB_ALG_E08 | MT800056 |
| | KH1 | RB_ALG_H08 | MT800058 |
| | KH1 | RB_ALG_F08 | MT800057 |
| | KH1 | RB_ALG_G08F | MT800060 |
| <i>Baetis cf. pavidus</i> | SK1 | BP_ALG_F07 | MT800069 |
| | SK1 | BP_ALG_G07 | MT800071 |
| | CH1 | BP_ALG_B02 | MT800062 |
| | CH1 | BP_ALG_C02 | MT800063 |
| | CH1 | BP_ALG_D02 | MT800065 |
| | CH1 | BP_ALG_E02 | MT800067 |
| | CH4 | BP_ALG_A02 | MT800061 |
| | IOM | BP_ALG_C05 | MT800064 |
| | TGA | BP_ALG_D09 | MT800066 |
| | TGA | BP_ALG_E09 | MT800068 |
| | TFF | BP_ALG_F09 | MT800070 |
| | TFF | BP_ALG_G09 | MT800072 |
| | TFF | BP_ALG_H09 | MT800073 |
| <i>Baetis maurus</i> | CH1 | BM_ALG_G01 | MT800074 |
| | CH1 | BM_ALG_H10 | MT800075 |
| | SK1 | BM_ALG_D05F | MT800076 |
| | SK1 | BM_ALG_E05F | MT800077 |
| <i>Acentrella cf. sinaica</i> | IOM | AC-ALG-A05 | MT800052 |
| <i>Cloeon peregrinator</i> | CH0 | CO_ALG_B01F | MT800100 |
| | CH1 | CO_ALG_C03 | MT800097 |
| | CH1 | CO_ALG_D03 | MT800098 |

COI gene trees

We corrected and edited forward and reverse sequencing reads using Bioedit, then we assembled each of the two complementary sequences using Codon Code Aligner (demo mode) and obtained sequence alignments (Suppl. materials 4, 5, 6, 7, 8, 9) using Jalview 2.10.1 via Mafft alignment as in Vuataz et al. (2011). We aligned sequences of each taxon with analogue genus or species selected from Genbank database (GenBank 2019) or BoldSystem database (BOLD 2019). For *Rhodobaetis*, we added sequences corresponding to the known haplogroups of *Baetis rhodani* (Gattolliat et al. 2015, Gattolliat et al. 2018b, Lucentini et al. 2011, Williams et al. 2006). For *B. maurus*, we selected all available sequences of *B. maurus* and several of *B. gr. alpinus*. For the remaining taxa, in addition to conspecific sequences, we incorporated outgroups sequences (for example, *Cloeon simile* Eaton, 1870, *C. praetextum* Bengtsson, 1914 and *C. smaeleni* Lestage, 1924 to *C. cf. dipterum* reconstruction). To delimit the haplogroups, we used ABGD, Automatic Barcode Gap Discovery (Puillandre et al. 2012).

To reconstruct the trees, we used Mega version 10.0.4; we chose the best evolutionary model using the AICc criteria (Akaike 1974), then we set to run a Maximum Likelihood bootstrap analysis with 1000 normal bootstrap replicates.

Checklist of the Baetidae species of the Tafna basin (North-West Algeria)

Order Ephemeroptera Hyatt & Arms, 1890

Family Baetidae Leach, 1815

Genus *Acentrella* Bengtsson, 1912

Acentrella cf. sinaica Bogoescu, 1931

Genus *Baetis* Leach, 1815

Baetis (Rhodobaetis) atlanticus Soldán and Godunko 2006

Baetis maurus Kimmins, 1938

Baetis cf. pavidus Grandi, 1949

Baetis (Rhodobaetis) sinespinosus Soldán and Thomas, 1983

Genus *Cloeon* Leach, 1815

Cloeon peregrinator Gattolliat and Sartori, 2008

Genus *Procloeon* Bengtsson, 1915

Procloeon stagnicola Soldán and Thomas, 1984

Analysis

Species delimitations

Based on the molecular analysis, seven Baetidae species were recognised or confirmed in the Tafna basin sites.

Subgenus *Rhodobaetis*

We obtained 11 haplogroups of *Rhodobaetis* (Suppl. material 1, Table 2) with the 27 Algerian sequences differentiating into two haplogroups (Fig. 2): a) RB_Gp1, a strongly supported monophyletic clade (97% BS) also containing Macaronesian and Iberian sequences from *B. atlanticus*; b) RB_Gp2, a monophyletic clade with a strong bootstrap support (98%) containing only Algerian sequences of *B. sinespinosus*. RB_Gp1 and RB_Gp2 have, respectively, 1.65% and 0.48% of intraspecific distance. RB_Gp1 and RB_Gp2 are poorly supported as a monophyletic clade (25% BS); the two haplogroups present an interspecific distance of 15.2%.

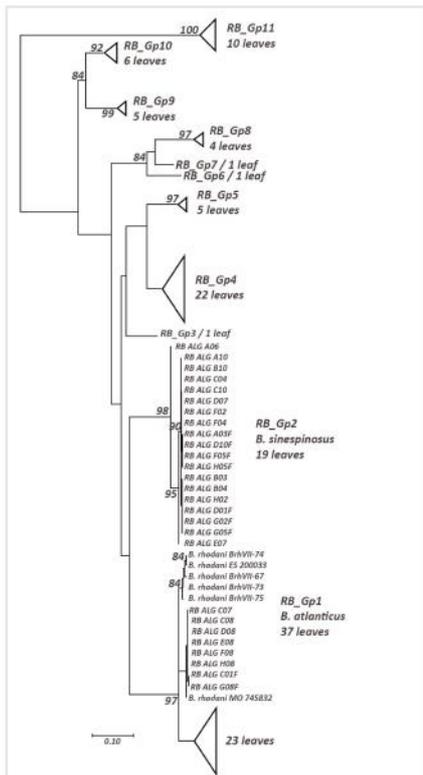


Figure 2. [doi](#)

Maximum Likelihood tree including representative of *Rhodobaetis* using TN93 (+G+I) model; only bootstrap supports (BS) higher than 70% are indicated on the corresponding branch.

Table 2.

Distances within (in bold) and between *Rhodobaetis* haplogroups. RB-Gp1: *Baetis (Rhodobaetis) atlanticus*; RB-Gp2: *Baetis (Rhodobaetis) sinospinosus*. Haplogroups with Algerian sequences are underlined.

| | RB_Gp1 | RB_Gp2 | RB_Gp3 | RB_Gp4 | RB_Gp5 | RB_Gp6 | RB_Gp7 | RB_Gp8 | RB_Gp9 | RB_Gp10 | RB_Gp11 |
|----------------|-------------|--------------|--------|--------------|-------------|--------|--------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| <u>RB_Gp1</u> | 0.02 | | | | | | | | | | |
| <u>RB_Gp2</u> | 0.15 | 0.004 | | | | | | | | | |
| <u>RB_Gp3</u> | 0.16 | 0.14 | n/c | | | | | | | | |
| <u>RB_Gp4</u> | 0.15 | 0.14 | 0.12 | 0.004 | | | | | | | |
| <u>RB_Gp5</u> | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.10 | 0.01 | | | | | | |
| <u>RB_Gp6</u> | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.20 | n/c | | | | | |
| <u>RB_Gp7</u> | 0.18 | 0.16 | 0.17 | 0.14 | 0.16 | 0.12 | n/c | | | | |
| <u>RB_Gp8</u> | 0.20 | 0.19 | 0.17 | 0.17 | 0.20 | 0.14 | 0.12 | 0.01 | | | |
| <u>RB_Gp9</u> | 0.18 | 0.16 | 0.15 | 0.17 | 0.20 | 0.19 | 0.18 | 0.21 | 0.003 | | |
| <u>RB_Gp10</u> | 0.19 | 0.17 | 0.17 | 0.16 | 0.17 | 0.19 | 0.18 | 0.19 | 0.10 | 0.01 | |
| <u>RB_Gp11</u> | 0.26 | 0.24 | 0.23 | 0.23 | 0.25 | 0.22 | 0.23 | 0.25 | 0.23 | 0.22 | 0.002 |

Baetis cf. pavidus

We obtained two haplogroups of *Baetis cf. pavidus* (Fig. 3, Table 3): a highly-supported clade gathering Algerian specimens and two sequences from southern France (BP_Gp1) and a second clade (BP_Gp2) which is composed by *Baetis pavidus* from Italy. Both haplogroups are highly supported as sister clades. BP_Gp1 possesses a very low intraspecific distance (0.2%) and high interspecific distance with its sister clade BP_Gp2 (11%).

Table 3.

Distances within (in bold) and between *Baetis cf. pavidus* (BP_Gp1-BM_Gp2), *Baetis alpinus* (BP_Gp3) and *Baetis lutheri* haplogroups (BP_Gp4-BP_Gp7). Haplogroup with Algerian sequences is underlined.

| | BP_Gp1 | BP_Gp2 | BP_Gp3 | BP_Gp4 | BP_Gp5 | BP_Gp6 | BP_Gp7 |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|--------|
| <u>BP_Gp1</u> | 0.002 | | | | | | |
| <u>BP_Gp2</u> | 0.11 | 0.003 | | | | | |
| <u>BP_Gp3</u> | 0.21 | 0.23 | 0.004 | | | | |
| <u>BP_Gp4</u> | 0.22 | 0.24 | 0.23 | n/c | | | |
| <u>BP_Gp5</u> | 0.23 | 0.25 | 0.24 | 0.08 | 0.006 | | |
| <u>BP_Gp6</u> | 0.23 | 0.25 | 0.25 | 0.15 | 0.15 | 0.008 | |
| <u>BP_Gp7</u> | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.23 | 0.22 | 0.23 | n/c |

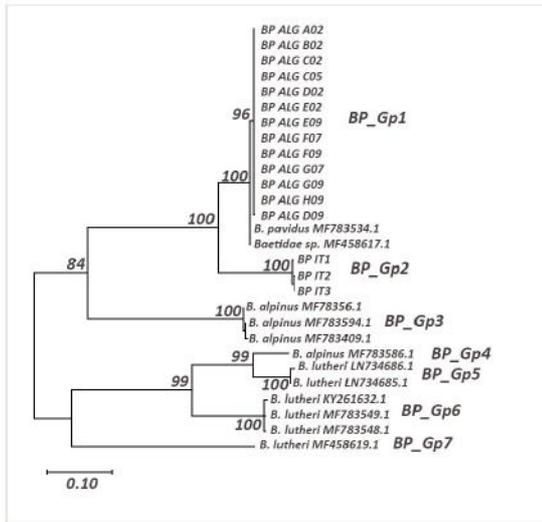


Figure 3. doi

Maximum Likelihood tree including a representative of *Baetis pavidus* using the General Time Reversible model (+G+I); only bootstrap supports (BS) higher than 70% are indicated on the corresponding branch.

Baetis maurus

We delineated three *B. maurus* haplogroups (Suppl. material 2, Table 4). Our sequences (BM_Gp1) belong to a strongly-supported monophyletic haplogroup identified as *Baetis maurus* (Fig. 4). This haplogroup is highly supported as the sister clade of specimens identified also as *B. maurus* (BM_Gp2 and BM_Gp3), but coming from Spain; the distances between these clades, all identified as *B. maurus*, are of interspecific level (15-16%).

Table 4.

Distances within (in bold) and between *Baetis maurus* (BM_Gp1-BM_Gp3) and *Baetis cf. alpinus* haplogroups (BM_Gp4-BM_Gp7). Haplogroup with Algerian sequences is underlined.

| | <u>BM_Gp1</u> | BM_Gp2 | BM_Gp3 | BM_Gp4 | BM_Gp5 | BM_Gp6 | BM_Gp7 |
|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| <u>BM_Gp1</u> | 0 | | | | | | |
| BM_Gp2 | 0.16 | 0.003 | | | | | |
| BM_Gp3 | 0.15 | 0.16 | 0.007 | | | | |
| BM_Gp4 | 0.24 | 0.24 | 0.23 | 0.043 | | | |
| BM_Gp5 | 0.26 | 0.24 | 0.21 | 0.23 | 0.006 | | |
| BM_Gp6 | 0.24 | 0.23 | 0.22 | 0.25 | 0.19 | 0.06 | |
| BM_Gp7 | 0.25 | 0.26 | 0.22 | 0.25 | 0.19 | 0.19 | 0.04 |

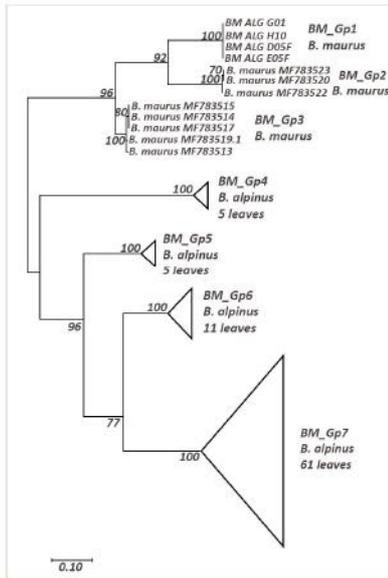


Figure 4. [doi](#)

Maximum Likelihood tree including a representative of *Baetis maurus* using TN93 (+G+I) model; only bootstrap supports (BS) higher than 70% are indicated on the corresponding branch.

Acentrella* cf. *sinaica

The reconstruction divided *Acentrella* sequences into 6 haplogroups (Fig. 5, Table 5). The single sequence from Algeria was recovered as an independent clade (AC_Gp5) distant at least 19% from other clades. AC_Gp6 haplogroup is the sister clade of AC_Gp5; it contains *A. sinaica* sequences from France and Italy gathered with a very strong BS (100%).

Table 5.

Distances within (in bold) and between *Acentrella* haplogroups. AC-Gp1: *Acentrella nadineae*. AC-Gp2: *Acentrella parvula*. AC-Gp3: *Acentrella turbida*. AC-Gp4: *Acentrella lapponica*. AC-Gp5: *Acentrella* cf. *sinaica*. AC-Gp6: *Acentrella sinaica*. Haplogroup with Algerian sequence is underlined.

| | <u>AC_Gp1</u> | AC_Gp2 | AC_Gp3 | AC_Gp4 | AC_Gp5 | AC_Gp6 |
|---------------|---------------|--------------|----------|--------------|------------|--------------|
| <u>AC_Gp1</u> | 0 | | | | | |
| AC_Gp2 | 0.19 | 0.011 | | | | |
| AC_Gp3 | 0.23 | 0.21 | 0 | | | |
| AC_Gp4 | 0.22 | 0.22 | 0.24 | 0.002 | | |
| AC_Gp5 | 0.25 | 0.25 | 0.26 | 0.22 | n/c | |
| AC_Gp6 | 0.26 | 0.25 | 0.24 | 0.25 | 0.19 | 0.003 |

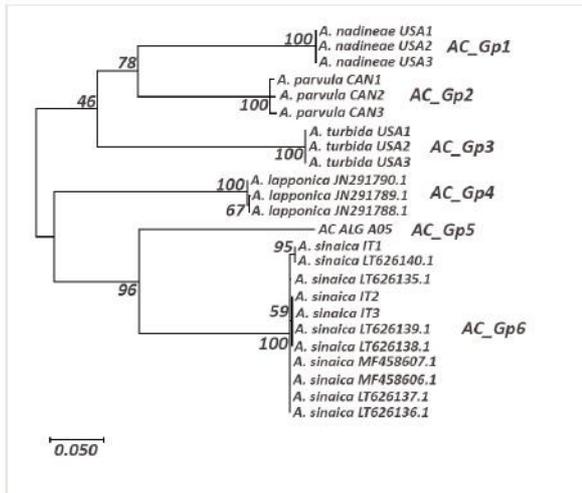


Figure 5. [doi](#)

Maximum Likelihood tree including a representative of *Acentrella* spp using the General Time Reversible model (+I); only bootstrap supports (BS) higher than 70% are indicated on the corresponding branch.

Cloeon peregrinator

We obtained 11 haplogroups from the reconstruction (Suppl. material 3, Table 6) including six highly supported *C. cf. dipterum* haplogroups. The clade containing all haplogroups of *C. dipterum* s.l. is a monophyletic clade with a high BS (99%).

Table 6.

Distances within (in bold) and between *Cloeon* haplogroups. CO_Gp1-CO-Gp6: *Cloeon dipterum* s.l. CO_Gp2: *Cloeon peregrinator*. Haplogroup with Algerian sequences is underlined.

| | CO_Gp1 | CO_Gp2 | CO_Gp3 | CO_Gp4 | CO_Gp5 | CO_Gp6 | CO_Gp7 | CO_Gp8 | CO_Gp9 | CO_Gp10 | CO_Gp11 |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------|
| CO_Gp_1 | 0.002 | | | | | | | | | | |
| CO_Gp_2 | 0.09 | 0.002 | | | | | | | | | |
| CO_Gp_3 | 0.10 | 0.10 | 0.002 | | | | | | | | |
| CO_Gp_4 | 0.11 | 0.11 | 0.07 | 0.012 | | | | | | | |
| CO_Gp_5 | 0.11 | 0.11 | 0.08 | 0.08 | 0.021 | | | | | | |
| CO_Gp_6 | 0.09 | 0.09 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.002 | | | | | |
| CO_Gp_7 | 0.15 | 0.15 | 0.17 | 0.17 | 0.16 | 0.16 | 0.01 | | | | |
| CO_Gp_8 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.20 | 0.15 | 0.00 | | | |
| CO_Gp_9 | 0.19 | 0.21 | 0.2 | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.20 | 0.22 | 0.013 | | |
| CO_Gp_10 | 0.17 | 0.19 | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.11 | 0.005 | |
| CO_Gp_11 | 0.17 | 0.19 | 0.16 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.19 | n/c |

The CO_Gp2 haplogroup, which includes four sequences from Algeria and sequences of *C. peregrinator* from Madeira (type locality) and Gran Canaria (Fig. 6), is highly supported as a monophyletic haplogroup (100%). This haplogroup has a low intraspecific distance (0.2%) and high interspecific distance with all the other haplogroups of *C. dipterum* s.l., for instance with CO_Gp1 with which it has the least distance (8.9%). Consequently, the sequences from Algeria and Gran Canaria belong to *C. peregrinator*.

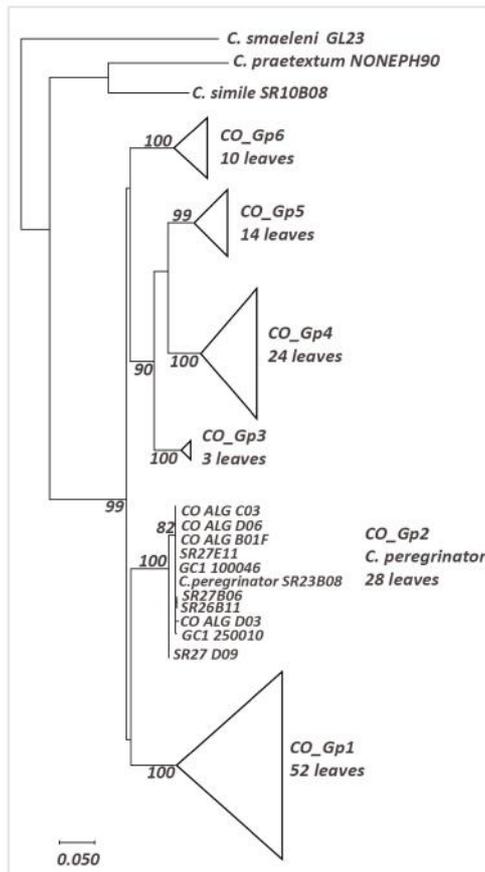


Figure 6. [doi](#)

Maximum Likelihood tree including a representative of *Cloeon* spp. using the General Time Reversible model (+G+I); only bootstrap supports (BS) higher than 70% are indicated on the corresponding branch.

Procloeon stagnicola

In this reconstruction, six haplogroups (Fig. 7, Table 7) were obtained. *Procloeon stagnicola* from Algeria (PC_Gp1) forms a well-supported monophyletic haplogroup. PC_Gp1 has a high interspecific distance from PC_Gp2 (16.2%), which corresponds to the closest European species *Procloeon bifidum* (Bengsston, 1912) and from the remaining sequences (from 16% to 23.7%).

Table 7.

Distances within (in bold) and between *Procloeon* haplogroups (PC_Gp1-PC_Gp5) and *Centroptilum luteolum* group (PC_Gp6). PC-Gp1: *Procloeon stagnicola*. PC-Gp2 – PC-Gp3: *Procloeon bifidum*. PC-Gp4: *Procloeon pennulatum*. Haplogroup with Algerian sequences is underlined.

| | PC_Gp1 | PC_Gp2 | PC_Gp3 | PC_Gp4 | PC_Gp5 | PC_Gp6 |
|--------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|----------|
| PC_Gp1 | 0.006 | | | | | |
| PC_Gp2 | 0.16 | 0.027 | | | | |
| PC_Gp3 | 0.18 | 0.19 | n/c | | | |
| PC_Gp4 | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.016 | | |
| PC_Gp5 | 0.19 | 0.20 | 0.21 | 0.20 | 0.037 | |
| PC_Gp6 | 0.22 | 0.23 | 0.24 | 0.24 | 0.23 | 0 |

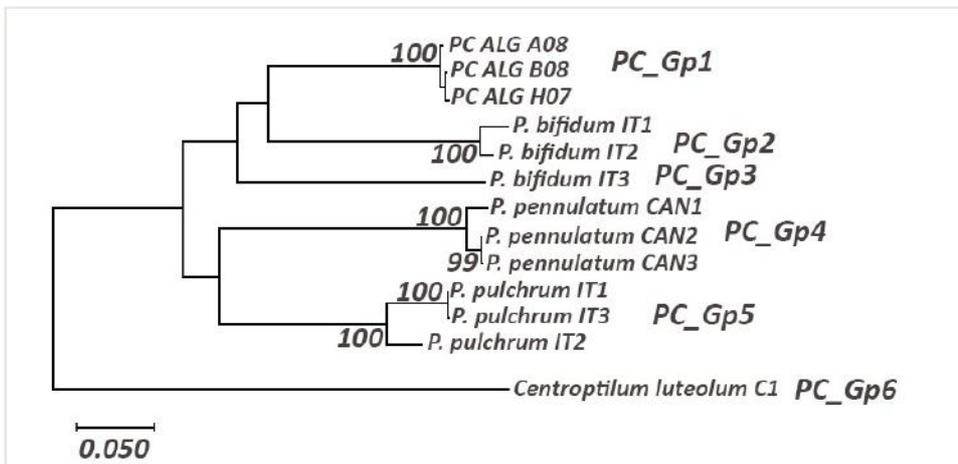


Figure 7. [doi](#)

Maximum Likelihood tree including a representative of *Procloeon* spp using the General Time Reversible model (+G+I); only bootstrap supports (BS) higher than 70% are indicated on the corresponding branch.

Discussion

The different trees we obtained allowed us to better understand the composition of Algerian Baetidae. Based on our analysis, we can link the Algerian lineages with their sister-groups, calculate the maximum and minimum distances and evaluate which lineages may represent putative species.

Maghrebian endemic species

***Baetis (Rhodobaetis) sinespinosus* Soldán and Thomas, 1983**

Rhodobaetis is a subgenus of *Baetis* and corresponds to the concept of *Baetis rhodani* species-group (Jacob 2003, Müller-Liebenau 1969). It is widely distributed in all West Palearctic streams (Gattolliat et al. 2015). Three species of *Rhodobaetis* are reported from Algeria, two of them are endemic: *Baetis chelif* and *Baetis sinespinosus* (Bauernfeind and Soldán 2012, Thomas 1998). A representative of *B. rhodani* s.l. is also reported (Thomas 1998). As noticed by Sroka (2012), it is generally difficult to find morphological characters to support the molecular species delimitation within *Rhodobaetis*. In the present case, the absence of a single rudimentary scale on the tip of the maxillary palp and the presence of four rows of setae at the apex of the paraglossae indicate that the clade RB_Gp2 corresponds to *B. sinespinosus*. *Baetis sinespinosus* is a well-supported monophyletic clade and presents high interspecific distances with all the other European and Mediterranean species. According to our data and reports from literature, this species seems to be endemic to Algeria. However, its presence in nearby countries, such as Tunisia and Morocco, will not be surprising as several populations were provisionally identified as *Baetis rhodani* s.l. (Mabrouki et al. 2017, Thomas 1998, Zrelli et al. 2016) and the present study is based on material collected very close to the border of Morocco.

***Procloeon stagnicola* Soldán and Thomas, 1983**

Our results showed a high interspecific distance between the Algerian clade and its European sister species *Procloeon bifidum*; thus, it confirms the validity of *Procloeon stagnicola*. This latter differs from *P. bifidum* especially by the flat and rounded bristles on the labrum margin; the pointed apex of the gills with an extremely reduced second lamella and also by the lateral margins of the abdominal segments which possess spines from segment V to IX. The species was originally described from Algeria (Soldán and Thomas 1983a) and was subsequently discovered in Tunisia (Boumaiza and Thomas 1995). The report of *Procloeon bifidum* from Morocco (El Alami et al. 2000) may be a misidentification and may also concern *P. stagnicola*. Identification of material collected by the last author (Jean-Luc Gattolliat) and stored in the MZL collection confirmed the presence of this species in Morocco (unpublished data). This species should be therefore considered as endemic to Maghreb.

***Baetis maurus* Kimmins, 1938**

Baetis maurus is a representative of the *Baetis alpinus* species-group. The species is considered as an Atlanto-Mediterranean element (Bauernfeind and Soldán 2012). It was originally described from Morocco (Kimmins 1938), then reported from the Iberian Peninsula (Alba-Tercedor 1982, Müller-Liebenau 1974). Algerian haplotypes present high distances with presumably conspecific specimens from Spain (Murria et al. 2017), as well as with the other Euro-Mediterranean species belonging to the *B. alpinus* species-group. Our results tend to prove that *B. maurus* is, in fact, a Maghrebian endemic species (originally described from Morocco) and that at least one sister undescribed species occurs

in the Iberian Peninsula. These preliminary results must be confirmed by sequencing additional populations from Spain and Maghreb and by morphological evidence. With the presence of a second rudimentary row of denticles on claws, both Maghrebian and Iberian populations possess a unique morphological character amongst the genus *Baetis* (Thomas et al. 1983).

***Acentrella* cf. *sinaica* Bogoescu, 1931**

Acentrella sinaica is a South and Central European species (Bauernfeind and Soldán 2012). It was reported from Tunisia (Boumaiza and Thomas 1995) and then from Algeria (Mebarki et al. 2017). In his checklist of North African mayflies, Thomas (1998) considered the specific identification as possibly incorrect, referring maybe to *Acentrella almohades* Alba-Tercedor & El Alami 1999 described from Morocco (Alba-Tercedor and El Alami 1999). The important distances between our unique haplotype and those from France and Italy tend to confirm that Algerian specimens do not belong to *A. sinaica*. Unfortunately, no sequence is available for *A. almohades*. We refrain to attribute the specimens from Algeria to *A. almohades*, as important distinctive characters do not match between our specimens and the original description. Especially, the Algerian specimens possess long setae along the dorsal margin of the femora (similar to *A. sinaica*), while *A. almohades* present much shorter ones (Alba-Tercedor and El Alami 1999). There is, therefore, some probability that our specimens represent an undescribed species from North Africa. Additional sequences and close morphological studies are needed to confirm this hypothesis.

Western Mediterranean species

***Baetis* cf. *pavidus* Grandi, 1949**

Baetis pavidus is a Western Mediterranean species and was originally described from Italy and then reported from the Maghreb (Bauernfeind and Soldán 2012, Jacob 2003). In Algeria and Tunisia, it is one of the most common and abundant species at low to middle elevation and is rather tolerant to pollution and low oxygenation (Benhadji et al. 2019, Boumaiza and Thomas 1995). The Algerian haplotypes present low genetic distance with specimens from southern France, confirming the link for this species between North African and South European populations. The sequences from Sicily, Italy (BP_Gp2) were not assigned to *Baetis pavidus* with certainty by Tenchini et al. (2018) and may represent an undescribed species close to *B. pavidus* or, alternatively, may be correctly associated with *B. pavidus* and the specimens from Algeria and from South of France represent a new species.

Widely-distributed species

***Cloeon peregrinator* Gattolliat and Sartori, 2008**

Cloeon peregrinator was first considered as an endemic species from Madeira (Gattolliat et al. 2008), then was also found on the Canary Islands (Rutschmann et al. 2017). It belongs to the *Cloeon dipterum* species-group from which it can be separated by minute morphological characters (Gattolliat et al. 2008). Algerian haplotypes present a low genetic

distance with Madeiran specimens which prove their conspecificity. This discovery is rather surprising as *C. peregrinator* was first thought to be an insular endemic. Molecular studies showed mayflies are able to colonise islands, even for such taxa with presumably low dispersal capacity (Monaghan et al. 2005, Rutschmann et al. 2014). The origin of the species cannot yet be proven and two scenarios can be proposed: either a colonisation of Macaronesia from Continental Europe, then a speciation process on the islands and a subsequent colonisation of North Africa or, alternatively, a colonisation of North Africa by a European lineage followed by a speciation process and subsequently a colonisation of Macaronesia.

***Baetis atlanticus* Soldán and Godunko, 2006**

Bauernfeind and Soldán (2012) stated that *Baetis atlanticus* is a *Rhodobaetis* species endemic to Madeira, while Rutschmann et al. (2014) showed later that the species has a much wider distribution. They pointed out its European or North-African (Morocco) origin and suggested a recent colonisation of Madeira. *Baetis atlanticus* is widely distributed in Atlantic Europe as proven by the recent reports of the species from the United Kingdom (Macadam et al. 2018). This species remains difficult to distinguish morphologically from other *Rhodobaetis* species (Soldán and Godunko 2006). The main discriminating character between *B. atlanticus* and the North-African endemic *B. sinespinosus* is the number of regular rows of long setae at the apex of the paraglossae (the usual three rows in *B. atlanticus* and four rows in *B. sinespinosus*) and the apex of the maxillary palp (with one typical small apical scale in *B. atlanticus* and without the apical scale in *B. sinespinosus*). The genetic distances amongst Macaronesian, Iberian and Algerian specimens unequivocally confirm the conspecificity of the different populations. The ecological preference of *B. atlanticus* in the Tafna catchment is similar to that of the lowlands of Madeira (Soldán and Godunko 2006): larvae prefer coarse substrate composed of rocks, cobbles or pebbles in low, moderate to fast current velocities; they were less abundant and only present in relatively-preserved sites at higher altitude (CH0; CH1; KH1; SK1; IOM). In comparison, *B. sinespinosus* larvae have a much wider ecological range and are more pollution resistant; they are also highly abundant and present in all sampling sites with various substrates and velocities.

Concluding remarks

We summarise the state of the knowledge and the implication of the present study for the Baetidae fauna of North-West Algeria in Table 8. As we mostly found interspecific distances between Algerian and European lineages, our results generally highlighted and confirmed the high endemism of North African Baetidae. According to the present knowledge, the endemism may be restricted to Algeria or to the Maghreb, even for species that were supposed to present West Palearctic distribution (Western Europe and North Africa). The link with the Iberian Peninsula is less strong than expected, as no species included in the study is shared only between the two areas. From a genetic point of view, only one case of sister-species was found (*Baetis maurus*). *Baetis cf. pavidus* is the only species with a West Mediterranean distribution, as the same species occurs in Algeria and South of

France. Finally, our study confirms the presence of Macaronesian and Atlantic species in Maghreb and, therefore, endorses the preliminary results of Rutschmann et al. (2014), Rutschmann et al. (2017).

Table 8.

Distribution of the Baetidae of the Tafna catchment. Distribution prior to study, based on ¹Bauernfeind and Soldán (2012); ²Fauna Europa (Fauna Europaea 2020); ³Macadam et al. (2018).

| Operational Taxonomic Units | Implications from this study |
|--|--|
| <i>Acentrella</i> cf. <i>sinaica</i> | New unnamed species in North Africa |
| <i>Baetis maurus</i> | Endemic to North Africa ^{1,2} ; new unnamed species in Iberian Peninsula |
| <i>Baetis</i> cf. <i>pavidus</i> | North Africa and South of France ^{1,2} |
| <i>Baetis</i> (<i>Rhodobaetis</i>) <i>atlanticus</i> | First report for North Africa; known from Macaronesia and Atlantic Europe ^{1,3} |
| <i>Baetis</i> (<i>Rhodobaetis</i>) <i>sinespinosus</i> | Confirmation of North African endemism ¹ |
| <i>Cloeon peregrinator</i> | First report for North Africa; known from Macaronesia ¹ |
| <i>Proclaeon stagnicola</i> | Confirmation of North African endemism ¹ |

The next steps will be to sequence more specimens from different areas of Algeria and also from Morocco and Tunisia to confirm the monophyly of the different North African clades. The results, especially the validation of the new species hypotheses, need to be confirmed by integrative methods. Only morphological evidence and more mitochondrial or nuclear genes can validate the specific status of these clades. Our study may have implications outside of North Africa, as our results suggest that one or two lineages, previously supposed to belong to *Baetis maurus*, may represent new species in Spain, as well as the presumably non-conspecificity of the French and Italian lineages of *Baetis pavidus*.

Acknowledgements

The first author would like to express her profound gratitude to Laurent Vuataz for his tremendous help and guidance with the bioinformatic treatments. The authors would like to thank also the team of the Biophore laboratory - Department of Ecology and Evolution of the Faculty of Biology and Medicine at Lausanne University: Maud Liegeois, Zoé Dumas and Karim Ghali. A special thanks to Marion Podolak of the Museum of Zoology in Lausanne for her great contributions in the biomolecular laboratory manipulations and to Laurent Vuataz for his constant help with genetic analysis.

References

- Akaike H (1974) A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control 19 (6).

- Alba-Tercedor J (1982) Ecology, distribution and lifes cycles of mayflies from Sierra Nevada (Spain). I : *Baetis maurus* Kimmins, 1938 (Ephemeroptera Baetidae). Actas del primer congreso Español del limnología. 9 pp.
- Alba-Tercedor J, El Alami M (1999) Description of the nymphs and eggs of *Acentrella almohades* sp. n. from Morocco and southern Spain (Ephemeroptera, Baetidae). Aquatic Insects 21 (4): 241-247. <https://doi.org/10.1076/aqin.21.4.241.4509>
- Barber-James HM, Gattolliat JL, Sartori M, Hubbard MD (2008) Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater. Hydrobiologia 595: 339-350. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9028-y>
- Bauernfeind E, Soldán T (2012) The Mayflies of Europe. Apollo Books, Ollerup.
- Benhadji N, Hassaine KA, Gattolliat JL, Sartori M (2019) Thirty years after: an update to the mayflies composition in the Tafna basin (Algeria). Zoosymposia 16: 22-35. <https://doi.org/10.11646/zoosymposia.16.1.6>
- Bisconti R, Canestrelli D, Tenchini R, Belfiore C, Buffagni A, Nascetti G (2016) Cryptic diversity and multiple origins of the widespread mayfly species group *Baetis rhodani* (Ephemeroptera: Baetidae) on northwestern Mediterranean islands. Ecology and Evolution 6 (21): 7901-7910. <https://doi.org/10.1002/ece3.2465>
- Bisconti R, Tenchini R, Belfiore C, Nascetti G, Canestrelli D (2018) Fast and accurate identification of cryptic and sympatric mayfly species of the *Baetis rhodani* group. BMC Research Notes 11 (1). <https://doi.org/10.1186/s13104-017-3115-6>
- BOLD (2019) The Barcode of Life Data System (BOLD). <https://www.boldsystems.org/index.php/databases>. Accessed on: 2019-12-03.
- Boumaiza M, Thomas AG (1995) Distribution and ecological limits of Baetidae vs the other mayfly families in Tunisia: a first evaluation (Insecta, Ephemeroptera). Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse 131: 27-33.
- El Alami M, Dakki M, Errami M, Alba-Tercedor J (2000) Nouvelles données sur les Baetidae du Maroc (Insecta: Ephemeroptera). Zoologica Baetica 11: 105-113.
- Fauna Europaea (2020) Fauna Europaea. <https://fauna-eu.org/>. Accessed on: 2020-5-28.
- Folmer O, Black M, Hoeh W, Lutz R, Vrijenhoek R (1994) DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. Molecular Marine Biology and Biotechnology 3 (5): 294-9.
- Gattolliat JL (2001) Six new species of *Labiobaetis* Novikova & Kluge (Ephemeroptera: Baetidae) from Madagascar with comments on the validity of the genus. Annales de Limnologie 37 (2): 97-123. <https://doi.org/10.1051/limn/2001013>
- Gattolliat JL, Sartori M (2008) Order Ephemeroptera . In: van Harten A (Ed.) Arthropod Fauna of the UAE. 1. Dar Al Ummah, Abu Dhabi, 36 pp.
- Gattolliat JL, Hughes SJ, Monaghan MT, Sartori M (2008) Revision of Madeiran mayflies (Insecta, Ephemeroptera). Zootaxa 1957: 52-68. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1957.1.2>
- Gattolliat JL, Nieto C (2009) The family Baetidae (Insecta: Ephemeroptera): synthesis and future challenges. Aquatic Insects 31 (Suppl. 1): 41-62. <https://doi.org/10.1080/01650420902812214>
- Gattolliat JL, Cavallo E, Vuataz L, Sartori M (2015) DNA barcoding of Corsican mayflies (Ephemeroptera) with implications on biogeography, systematics and biodiversity. Arthropod Systematics & Phylogeny 73 (1): 3-18.

- Gattolliat JL, Kondratieff BC, Kaltenbach T, Al Dhafer HM (2018a) *Labiobaetis* from the Kingdom of Saudi Arabia (Insecta, Ephemeroptera, Baetidae). *ZooKeys* 774: 77-104. <https://doi.org/10.3897/zookeys.774.25273>
- Gattolliat JL, Rutschmann S, Monaghan MT, Sartori M (2018b) From molecular hypotheses to valid species: description of three endemic species of *Baetis* (Ephemeroptera: Baetidae) from the Canary Islands. *Arthropod Systematics & Phylogeny* 76 (3): 509-528.
- GenBank (2019) NCBI GenBank. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>. Accessed on: 2019-12-03.
- Jacob U (2003) *Baetis* Leach 1815, sensu stricto oder sensu lato. Ein Beitrag zum Gattungskonzept auf der Grundlage von Artengruppen mit Bestimmungsschlüsseln. *Lauterbornia* 47: 59-129.
- Jacobus L, Macadam C, Sartori M (2019) Mayflies (Ephemeroptera) and their contributions to ecosystem services. *Insects* 10 (6). <https://doi.org/10.3390/insects10060170>
- Kaltenbach T, Gattolliat JL (2018) The incredible diversity of *Labiobaetis* Novikova & Kluge in New Guinea revealed by integrative taxonomy (Ephemeroptera, Baetidae). *ZooKeys* 804: 1-136. <https://doi.org/10.3897/zookeys.804.28988>
- Kaltenbach T, Gattolliat JL (2019) The tremendous diversity of *Labiobaetis* Novikova & Kluge in Indonesia (Ephemeroptera, Baetidae). *ZooKeys* 895: 1-117. <https://doi.org/10.3897/zookeys.895.38576>
- Kaltenbach T, Gattolliat JL (2020) *Labiobaetis* Novikova & Kluge in Borneo (Ephemeroptera, Baetidae). *ZooKeys* 914: 43-79. <https://doi.org/10.3897/zookeys.914.47067>
- Kimmins DE (1938) A new Moroccan Ephemeropteran. *Annals and Magazine of Natural History* 11 (1): 302-305. <https://doi.org/10.1080/00222933808526771>
- Kluge NJ (2016a) Redescription of the genus *Cheleocloeon* Wuillot & Gillies 1993 (Ephemeroptera: Baetidae) with descriptions of three new species from Zambia and Uganda. *Zootaxa* 4067 (2): 135-167. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4067.2.2>
- Kluge NJ (2016b) A new subgenus *Oculogaster* subgen. n. for viviparous representatives of *Procloeon* s. l., with discussion about status of the generic name *Austrocloeon* Barnard 1932 and the species name *africanum* Esben-Petersen 1913 *Cloeon* (Ephemeroptera, Baetidae). *Zootaxa* 4107 (4): 491-516. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4107.4.2>
- Lucentini L, Rebora M, Puletti ME, Gigliarelli L, Fontaneto D, Gaino E, Panara F (2011) Geographical and seasonal evidence of cryptic diversity in the *Baetis rhodani* complex (Ephemeroptera, Baetidae) revealed by means of DNA taxonomy. *Hydrobiologia* 673 (1): 215-228. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0778-1>
- Lugo-Ortiz CR, McCafferty WP (1997) *Labiobaetis* Novikova & Kluge (Ephemeroptera: Baetidae) from the Afrotropical region. *African Entomology* 5 (2): 241-260.
- Mabrouki Y, Taybi AF, El Alami M, Berrahou A (2017) New and interesting data on distribution and ecology of Mayflies from Eastern Morocco (Ephemeroptera). *Journal of Materials and Environmental Sciences and Engineering* 8 (8): 2839-2859.
- Macadam CR, Chadd RP, Pickwell A, Doe J (2018) A new British mayfly: *Baetis atlanticus* (Soldan & Godunko, 2006) (Ephemeroptera: Baetidae). *Entomologist's Monthly Magazine* 154 (4): 263-265. <https://doi.org/10.31184/m00138908.1544.3933>

- Mebarki M, Taleb A, Arab A (2017) Environmental factors influencing the composition and distribution of mayfly larvae in Northern Algerian wadis (regional scale). *Revue d'Ecologie - La Terre et la Vie* 72 (3): 303-313.
- Monaghan MT, Gattolliat JL, Sartori M, Elouard JM, James H, Derleth P, Glaiot O, de Moor F, Vogler AP (2005) Trans-oceanic and endemic origins of the small minnow mayflies (Ephemeroptera, Baetidae) of Madagascar. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 272 (1574): 1829-1836. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3139>
- Müller-Liebenau I (1969) Revision der europäischen Arten der Gattung *Baetis* Leach, 1815 (Insecta, Ephemeroptera). *Gewässer und Abwässer* 48/49: 1-214.
- Müller-Liebenau I (1974) Baetidae aus Südfrankreich, Spanien und Portugal (Insecta, Ephemeroptera). *Gewässer und Abwässer* 53/54: 7-42.
- Murria C, Bonada N, Vellend M, Zamora-Munoz C, Alba-Tercedor J, Sainz-Cantero CE, Garrido J, Acosta R, El Alami M, Barquin J, Derka T, Alvarez-Cabria M, Sainz-Barriain M, Filipe AF, Vogler AP (2017) Local environment rather than past climate determines community composition of mountain stream macroinvertebrates across Europe. *Molecular Ecology* <https://doi.org/10.1111/mec.14346>
- Novikova EA, Kluge NY (1987) Systematics of the genus *Baetis* (Ephemeroptera, Baetidae) and a description of a new species from central Asia. *Vestnik Zoologii* 4: 8-19. [In Russian].
- Puillandre N, Lambert A, Brouillet S, Achaz G (2012) ABGD, Automatic Barcode Gap Discovery for primary species delimitation. *Molecular Ecology* 21 (8): 1864-1877. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2011.05239.x>
- Rutschmann S, Gattolliat JL, Hughes SJ, Baez M, Sartori M, Monaghan MT (2014) Evolution and island endemism of morphologically cryptic *Baetis* and *Cloeon* species (Ephemeroptera, Baetidae) on the Canary Islands and Madeira. *Freshwater Biology* 59 (12): 2516-2527. <https://doi.org/10.1111/fwb.12450>
- Rutschmann S, Detering H, Simon S, Funk DH, Gattolliat JL, Hughes SJ, Raposeiro PM, DeSalle R, Sartori M, Monaghan MT (2017) Colonization and diversification of aquatic insects on three Macaronesian archipelagos using 59 nuclear loci derived from a draft genome. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 107: 27-38. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2016.10.007>
- Sartori M, Brittain JE (2015) Order Ephemeroptera . In: Thorp JH, Rogers DC (Eds) *Ecology and general biology. Thorp and Covich's freshwater invertebrates. 4th Edition, Volume I.* 18 pp. [ISBN 978-0-12-385027-0; 978-0-12-385026-3]. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385026-3.00034-6>
- Soldán T, Thomas AG (1983a) New and little-known species of mayflies (Ephemeroptera) from Algeria. *Acta Entomologica Bohemoslovaca* 80: 356-376.
- Soldán T, Thomas AG (1983b) *Baetis numidicus* n. sp., Ephéméroptère nouveau d'Algérie (Baetidae). *Annales de Limnologie* 19 (3): 207-211. <https://doi.org/10.1051/limn/1983024>
- Soldán T, Thomas AG (1985) *Centroptilum dimorphicum* sp. n., a new species of mayfly (Ephemeroptera, Baetidae) from Algeria. *Acta Entomologica Bohemoslovaca* 82: 180-186.
- Soldán T, Godunko RJ, Thomas AG (2005) *Baetis chelif* n. sp., a new mayfly from Algeria with notes on *B. sinespinosus* Soldán & Thomas, 1983, n. stat. (Ephemeroptera: Baetidae). *Genus* 16 (2): 155-165.

- Soldán T, Godunko RJ (2006) *Baetis atlanticus* n. sp., a new species of the subgenus *Rhodobaetis* Jacob, 2003 from Madeira, Portugal (Ephemeroptera: Baetidae). *Genus* 17 (1): 5-17.
- Sroka P (2012) Systematics and phylogeny of the West Palaearctic representatives of subfamily Baetinae (Insecta: Ephemeroptera): combined analysis of mitochondrial DNA sequences and morphology. *Aquatic Insects* 34 (1): 23-53. <https://doi.org/10.1080/01650424.2012.718081>
- Tenchini R, Cardoni S, Piredda R, Simeone MC, Belfiore C (2018) DNA barcoding and faunistic criteria for a revised taxonomy of Italian Ephemeroptera . *The European Zoological Journal* 85 (1): 253-266. <https://doi.org/10.1080/24750263.2018.1480732>
- Thomas AG, Boumaiza M, Soldán T (1983) *Baetis punicus* n. sp., Ephéméroptère nouveau de Tunisie (Baetidae). *Annales de Limnologie* 19 (2): 107-111. <https://doi.org/10.1051/limn/1983010>
- Thomas AG (1998) A provisional checklist of the mayflies of North Africa (Ephemeroptera). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse* 134: 13-20.
- Thomas AG, Dia A (2000) Compléments et corrections à la faune des Ephéméroptères du Proche Orient : 4. Description de l'imago mâle de *Baetis baroukianus* Thomas & Dia, 1984 et érection de *Patites* n. subgen. (Ephemeroptera, Baetidae). *Ephemera* 1 (2): 105-109.
- Vuataz L, Sartori M, Wagner A, Monaghan MT (2011) Toward a DNA taxonomy of Alpine *Rhithrogena* (Ephemeroptera: Heptageniidae) using a Mixed Yule-Coalescent Analysis of mitochondrial and nuclear DNA. *PLOS One* 6 (5): e19728. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019728>
- Waltz RD, McCafferty WP, Thomas A (1994) Systematics of *Alainites* n. gen., *Diphetero*, *Indobaetis*, *Nigrobaetis* n. stat., and *Takobia* n. stat. (Ephemeroptera, Baetidae). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse* 130: 33-36.
- Williams HC, Ormerod SJ, Bruford MW (2006) Molecular systematics and phylogeography of the cryptic species complex *Baetis rhodani* (Ephemeroptera, Baetidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 40 (2): 370-382. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.03.004>
- Zrelli S, Boumaiza M, Bejaoui M, Gattolliat JL, Sartori M (2011) New reports of mayflies (Insecta: Ephemeroptera) from Tunisia. *Revue Suisse de Zoologie* 118 (1): 3-10.
- Zrelli S, Boumaiza M, Bejaoui M, Gattolliat JL, Sartori M (2016) New data and revision of the Ephemeroptera of Tunisia. *International Progress in Ephemeroptera and Plecoptera Research (13th International Conference on Ephemeroptera and 17th International Symposium on Plecoptera)*, Wakayama, Japan. *Biology of Inland Waters supplement N°3*, 7 pp.

Supplementary materials

Suppl. material 1: Complete Maximum Likelihood tree including representative of *Rhodobaetis* using TN93 (+G+I) model [doi](#)

Authors: Nadhira Benhadji, Michel Sartori, Karima Abdellaoui Hassaine & Jean-Luc Gattolliat

Data type: Biomolecular tree

[Download file](#) (9.65 MB)

Suppl. material 2: Complete Maximum Likelihood tree including representative of *Baetis maurus* using TN93 (+G+I) model [doi](#)

Authors: Nadhira Benhadji, Michel Sartori, Karima Abdellaoui Hassaine & Jean-Luc Gattolliat

Data type: Biomolecular tree

[Download file](#) (7.62 MB)

Suppl. material 3: Complete Maximum Likelihood tree including representative of *Cloeon* spp. using General Time Reversible model (+G+I) [doi](#)

Authors: Nadhira Benhadji, Michel Sartori, Karima Abdellaoui Hassaine & Jean-Luc Gattolliat

Data type: Biomolecular tree

[Download file](#) (635.77 kb)

Suppl. material 4: RB_Sequence alignment [doi](#)

Authors: Nadhira Benhadji, Michel Sartori, Karima Abdellaoui Hassaine & Jean-Luc Gattolliat

Data type: Nucleotide sequences

[Download file](#) (76.66 kb)

Suppl. material 5: BP_sequence alignment [doi](#)

Authors: Nadhira Benhadji, Michel Sartori, Karima Abdellaoui Hassaine & Jean-Luc Gattolliat

Data type: Nucleotide sequence

[Download file](#) (19.06 kb)

Suppl. material 6: BM_sequence alignment [doi](#)

Authors: Nadhira Benhadji, Michel Sartori, Karima Abdellaoui Hassaine & Jean-Luc Gattolliat

Data type: Nucleotide sequences

[Download file](#) (63.53 kb)

Suppl. material 7: AC_sequence alignment [doi](#)

Authors: Nadhira Benhadji, Michel Sartori, Karima Abdellaoui Hassaine & Jean-Luc Gattolliat

Data type: Nucleotide sequences

[Download file](#) (16.43 kb)

Suppl. material 8: CO_sequence alignment [doi](#)

Authors: Nadhira Benhadji, Michel Sartori, Karima Abdellaoui Hassaine & Jean-Luc Gattolliat

Data type: Nucleotide sequences

[Download file](#) (104.32 kb)

Suppl. material 9: PC_sequence alignment [doi](#)

Authors: Nadhira Benhadji, Michel Sartori, Karima Abdellaoui Hassaine & Jean-Luc Gattolliat

Data type: Nucleotide sequences

[Download file](#) (12.26 kb)

3 Ecologie des espèces du bassin versant de la Tafna

3.1 Objectifs atteints

Comme précédemment conclu dans l'étude climatique, cette récente période connaît un changement climatique régressif avec une aridification majeure. Sur une période de 35 ans depuis 1980, les valeurs moyennes mensuelles des précipitations, facteur agissant directement sur l'alimentation pluviale de l'écoulement de la Tafna (Belarbi, 2010), enregistrent une baisse considérable, en plus des températures moyennes mensuelles en hausse.

Les oueds qui sont des cours d'eau semi-temporaires perdent de plus en plus d'habitats, ce qui affecte gravement la biodiversité en place.

Jusqu'à présent, les Ephéméroptères du bassin versant de la Tafna n'ont fait l'objet que d'une seule étude écologique publiée (Gagneur & Thomas, 1988) où ont été traitées la composition et la distribution des taxons dans le bassin selon leurs préférences écologiques et physicochimiques, en outre, les espèces considérées ne comportait pas de représentant de la famille des Baetidae pourtant ils constituent les éléments le plus courants dans les écosystèmes aquatiques lotiques.

Les principaux résultats obtenus ont permis de mettre à jour la composition actuelle des Ephéméroptères en incluant la famille des Baetidae. Une première liste des Baetidae est présentée avec leur distribution spatio-temporelle et leur valence écologique par rapport chaque facteur physico-chimique. Cette étude écologique se veut aussi un checkpoint et une analyse de la faune éphéméridienne 30 ans après les travaux de Gagneur & Thomas (1988), à l'aval du changement climatique et des pressions anthropiques en hausse.

3.2 Principaux résultats obtenus

La liste faunistique des éphémères de la Tafna a été enrichie de six taxons de la famille des Baetidae. Elle comporte en tout 12 taxons tous Ephéméroptères confondus. Sur les 16605 spécimens récoltés les Baetidae sont dominants avec environ 83% de l'abondance. *Baetis pavidus* et *Rhodobaetis* sont les taxons plus abondants (respectivement 37,5% et 35,3%). Dans les familles restantes, les espèces les plus abondantes sont *Habrophlebia hassainae* (Leptophlebiidae) et *Caenis luctuosa* (Caenidae).

Sur les 14 espèces listées par Gagneur & Thomas (1988), huit sont absentes, la plupart à caractère filtreur ou fouisseur (e.g. Oligoneuriidae, Ephemeridae, Polymitarcyidae) en raison des différentes pollutions suite à des rejets domestiques, urbains et industriels qui ont énormément augmenté ces dernières décennies.

La conductivité et la nature de l'habitat sont les facteurs qui influencent le plus la distribution et l'abondance des éphémères, en particulier des Baetidae. La richesse spécifique quant à elle varie selon la conductivité et à l'altitude en étant plus importante dans les stations de moyenne et haute altitude.

Ecdyonurus rothschildi, *H. hassainae* et *C. luctuosa* tout comme *S. ignita* sont confinées dans les stations bien oxygénées et mieux préservées à des altitudes supérieures à 500m où les eaux sont encore relativement claires et bien oxygénées.

La diversité est concentrée en haute altitude, car au cours des trente dernières années, la faune de moyenne et basse altitude a été profondément affectée probablement par l'augmentation des activités humaines. Les stations CH1 et SK1 détiennent t la richesse spécifique la plus élevée, les stations de l'oued Tafna et la station IRE sont les moins diversifiées car beaucoup impactées.

La distribution des Baetidae est non seulement régulée par la conductivité mais aussi le débit, la qualité de l'eau ainsi que la nature du substrat. En effet, les taxons rhéophiles, *B. maurus* et *A. sinaica* préfèrent les stations fraîches et bien oxygénées couplées à un substrat grossier d'où leur rareté pendant l'étiage où le débit est nettement réduit. Les taxons limnophiles *C. cf. dipterum* et *P. stagnicola* sont inféodés aux courants faibles, présentent une saisonnalité hivernale et printanière. Et enfin, *B. pavidus* et *Rhodobaetis* sont les taxons qui ont la plus grande valence écologique, ils sont très tolérants à la pollution et aux variations de la conductivité, notamment *B. pavidus* qui supporte les élévations de températures et capables de s'adapter à tous les substrats.

Les résultats ont été publiés suite à une participation au VI symposium sur les Ephéméroptères qui s'est déroulé en juin 2018 au Brésil et pour lequel nous publié un article (Benhadji et al., 2019) dans la revue Zoosymposia (actes).

Thirty years after: an update to the mayflies composition in the Tafna basin (Algeria)

NADHIRA BENHADJI¹, KARIMA ABDELLAOUI HASSAINE¹, JEAN-LUC GATTOLLIAT^{2,3} & MICHEL SARTORI^{2,3}

¹Laboratoire de recherche Valorisation des actions de l'homme pour la protection de l'environnement et application en santé publique, Université de Tlemcen, BP 119 13000 Tlemcen Algérie.

²Musée cantonal de zoologie, Palais de Rumine, Place Riponne 6, 1005 Lausanne, Suisse

³Département d'Ecologie et d'Evolution, Université de Lausanne, Biophore, 1015 Lausanne, Suisse
 Corresponding author E-mail: nadhira.benhadj@univ-tlemcen.dz

Abstract

Thirty years after the first Ephemeroptera checklist (excluding Baetidae) of the Tafna basin (North-west Algeria) involved in an ecological study, new sampling investigations in 12 of the 48 sites prospected allowed us to record 12 taxa including six Baetidae taxa. The aim of the present study is to analyze and discuss the current diversity and distribution of Ephemeroptera. The results highlighted that more than half of the Ephemeroptera fauna previously mentioned has been depleted, with the loss of filtering and burrowing species. The mayfly fauna was mostly dominated by the family Baetidae (83%). *Baetis* (*Rhodobaetis*) sp. and *Baetis pavidus* were the most common taxa, with a large spatiotemporal distribution; other baetid species include *Acentrella sinaica* and *Baetis maurus*, two rheophilic species with strict ecological requirements and a distinct seasonality, as well as two limnophilic species *Cloeon cf. dipterum* and *Procloeon stagnicola*. Conductivity and habitat integrity seem the most influencing parameters to explain the current distribution and abundance of Ephemeroptera, especially Baetidae. Moreover, specific richness variability is related to conductivity and altitude.

Keys words: Aquatic insects, species richness, Baetidae, distribution, abundance, ecological valence

Introduction

The Tafna basin is located in the Mediterranean ecoregion, which is considered as one of the world's hotspots of biodiversity (Myers *et al.* 2000). It is influenced by the climate of the Mediterranean basin (Belarbi, 2010) which is characterized by significant seasonal variability. The latter confers a diversity in the characteristics of the Mediterranean streams, source of great biodiversity both floristic and faunistic (Prat *et al.*, 2000) and a high degree of endemism (Gasith & Resh, 1999).

The aquatic karst cave of Ghar Boumâaza (Ramsar site), which is the largest underground karstic aquatic network of Africa, is the main source of the Tafna wadi, the longest watercourse of the Tafna basin. The basin is also partially included in a protected area of 8'225 ha, the "National Park of Tlemcen (PNT)". Nevertheless, it suffers great anthropogenic pressures (overgrazing, pollutions, etc) and there are no actions devoted to the conservation of the aquatic ecosystem of the basin.

The highest diversity in aquatic macroinvertebrates in Algeria can be found in the Blidean Atlas, Djurdjura (Kabylie) and coastal Algiers wadis which are comprised in the Algérois-Hodna-Soummam watershed (Soldán & Thomas, 1983b; Thomas, 1998; Lounaci *et al.*, 2000; Mebarki *et al.*, 2017). The water flow is there more abundant and constant along the year than in the Tafna wadis due to the melting of the mountains snowpack and a profuse rainfall in spring (Abdesselam, 1995).

Recently, in the Maghreb, interest about the Ephemeroptera systematic and ecology is growing, for instance in Morocco (El Alami *et al.*, 2000; Mabrouki *et al.*, 2017) and in Tunisia (Zrelli *et al.*, 2011a, 2011b, 2012, 2016). In Algeria, several hydrobiological studies involved Ephemeroptera, either in works covering all the benthic macroinvertebrates (Sellam *et al.*, 2017; Bekhouche *et al.*, 2017; Zouakh & Meddour, 2018) or based solely on Ephemeroptera, thus walking on the path of Gagneur and Thomas (1988) pioneer work (Bebba *et al.*, 2015; Mebarki *et al.*, 2017).

Systematic and faunistic studies of Algerian mayflies have a long history initiating by Eaton (1899). Lestage (1925) reported eighteen species from Algeria. More recently, Soldán and Thomas described eleven new species from Algeria and provided new updates for little-known taxa from this area (Soldán & Thomas, 1983a; Soldán & Thomas, 1983b; Soldán & Thomas, 1985; Thomas & Gagneur, 1994; Soldán *et al.*, 2005). In his provisional checklist of the mayflies of North Africa, Thomas (1998) listed fifty taxa in Algeria. A recent study (Bojková & Soldán, 2015) increased our knowledge on Algerian mayflies with the description of the new species *Prosopistoma alaini*, based on material collected in the 80's in the Tafna basin. The description of a new and relatively abundant species, *Habrophlebia hassainae* Benhadji & Sartori 2018, previously misidentified, indicates that investigations need to be continued (Benhadji *et al.*, 2018).

The Ephemeroptera biodiversity of the Tafna basin remains incompletely known as Gagneur and Thomas (1988) did not include the most abundant and diversified family of mayflies (Baetidae) and there was no published study since then. Thirty years later, the main objective of our study is to update, compare and complement (by adding Baetidae taxa) the composition of communities of the Tafna basin, in a subset of Gagneur and Thomas locations, in the face of climate change and more intense anthropic pressures (Tidjani *et al.*, 2006; El Mahi *et al.*, 2011; Taïbi *et al.*, 2013; Bakreti *et al.*, 2013; Zettam *et al.*, 2017; Zettam, 2018).

Understanding community composition and the influence of biotic and physicochemical factors are among the main objectives in ecology; results from our study will be used to understand species distribution and to identify factors that can influence or predict the biodiversity of a given habitat (Bauernfeind & Moog, 2000; Dedieu *et al.*, 2015; Mebarki *et al.*, 2017). According to the patterns of species, distribution and abundance can provide insight into the mechanisms that structure species assemblages (Barbault, 1992; Dufrière & Legendre, 2007; Frontier *et al.*, 2008). We aim to determine the physicochemical factors associated with species distribution and richness. We emphasize on the Baetidae family, since no data were published for the Tafna basin. We intend to demonstrate that species occurrences (presence/absence) are non-random and predictable based on stream-site conditions (Bebba *et al.*, 2015). For this purpose, Baetidae abundance, physicochemical data of the different sampling sites as well as differences in seasonal occurrence are provided for understanding ecological traits and range of each taxa. Generally, the physical and chemical characteristics of water are key factor influencing the composition of benthic macroinvertebrate assemblages, with each species associated with particular habitat types (Baptista *et al.* 2001). The habitat preferences are defined here as substratum type, velocity, width and depth, riparian vegetation, pH, conductivity (Gordon *et al.*, 1992; Lampert & Sommer, 1997; Milisa *et al.*, 2006).

Through this work, we aim to (i) update the composition of the Ephemeroptera populations; (ii) to define the spatial distribution of the family Baetidae and (iii) to know the degree of euryecy of each taxon concerning physical and physicochemical variables.

Material & Methods

Study area

The Tafna basin is part of a great hydrographic region located in the North-West of Algeria called Oranie - Chott Chergui watershed, which is the second largest region in Algeria (77'169Km²) after the Sahara (2'018'054 Km²) (Bouanani, 2004).

The Tafna basin spreads its ramifications over an area of 7'245Km² encompassed mostly in the province of Tlemcen (Algeria) and partly in Morocco. It has 10m³/s of mean annual flow at the outlet. The climatic conditions of the watershed play a major role in the hydrological parameters such as the flow regime (Bouanani, 2004). The Tafna basin is subject to a semi-arid climate, with 350mm/year of rainfall; it presents hot, dry summers from June to September and a rainy season from October to May.

Methods

Monthly samples were performed in 12 sites belonging to five wadis (Fig. 1) during two hydrological years from October 2014 to September 2016. The main parameters of study sites, such as the longitude, the latitude and the altitude set by the GPS data, the substrate dominance determined by metric measurements (with a 50-m tape), the turbidity and the riparian vegetation composition were examined on the field and disturbance types were identified after a survey, these parameters are summarized in Table 1. Stream depth and width were measured with a graduated meter stick and a 50-m tape, respectively. Water temperature, pH, conductivity, and dissolved oxygen were measured with a multi-parameter device (WTW 340i/SET). All measurements were repeatedly assessed for each site. Ephemeroptera larvae were collected using Surber sampler (mesh size: 0.5mm) on a section of 100m along the wadis in different substrates (rocks, pebbles, gravels, sands, silts, mud, submerged aquatic vegetation, vegetation banks and roots, dead leaves and filamentous algae) altogether with current velocities (very low, low, moderate, fast and very fast). The larvae were preserved in 80% to 100% ethanol. They were identified to the finest possible taxonomic level (generally to species). As no suitable key was published for North African mayflies, we used original descriptions (Benhadji *et al.*, 2018; Bauernfeind & Soldán, 2012; Jacob, 2003; Soldán & Gagneur, 1985; Soldán & Thomas, 1983b) and direct comparison with specimens housed in the collection of the Museum of Zoology at Lausanne for identification.

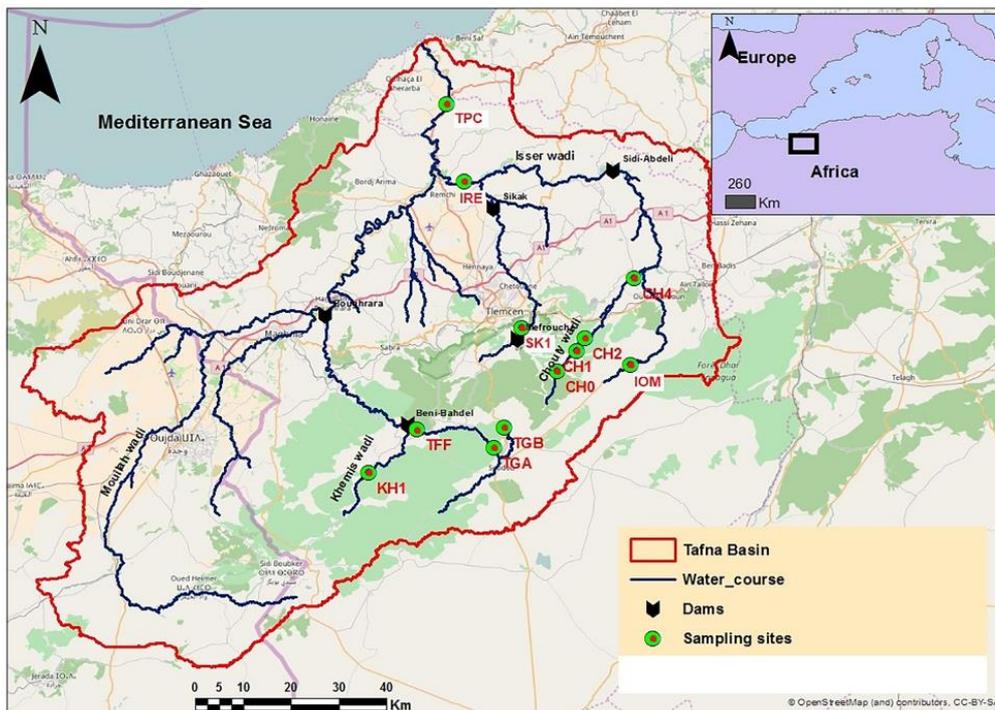


FIGURE 1. Location of the sampling sites on the Tafna basin Algeria.

Database

Only Baetidae species data were included in the analyses to investigate their ecological preferences, because the other Ephemeroptera species have already been studied by Gagneur & Thomas (1988). One-way ANOVA test and Kruskal-Wallis test were performed using Minitab 16 to identify significant differences in water physicochemical parameters at $p < 0.05$, to appreciate Baetidae ecological valence regarding water temperature, dissolved oxygen, pH and conductivity.

TABLE 1. Characteristics of the sampling sites of the Tafna basin.

| Sites | Longitude W | Latitude N | Altitude (m) | Dominant Substrate | Turbidity | Riparian vegetation | Disturbances |
|-------|---------------|----------------|--------------|--------------------|-----------|---------------------|--------------------|
| CH0 | 1° 13' 6.71" | 34° 47' 20.19" | 1022 | P | C | Ps | Az, Pp |
| CH1 | 1° 10' 55.00" | 34° 49' 15.00" | 850 | P | C | Ps | Az, Pp |
| CH2 | 1° 10' 0.03" | 34° 50' 25.91" | 806 | P | C | Ps | Az, Pp |
| CH4 | 1° 04' 26.49" | 34° 55' 57.21" | 552 | P,M,Si | T | Ps | Az, Ds, Af, Bd |
| KH1 | 1° 34' 11.63" | 34° 37' 59.18" | 853 | P,S | C | Hb | Az, Pp |
| SK1 | 1° 17' 1.83" | 34° 51' 23.41" | 700 | P,S | C | Ps | Az |
| IOM | 1° 04' 51.60" | 34° 47' 56.77" | 870 | P,M,Si | T | Ps | Az, Pp, Ds, Af, Bd |
| IRE | 1° 23' 30.07" | 35° 04' 56.06" | 80 | M,Si | T | Sh | Pp, Af, Ds, Up, Id |
| TGB | 1° 18' 44.14" | 34° 41' 33.78" | 1090 | P | C | Hb | Az |
| TGA | 1° 20' 13.08" | 34° 40' 14.67" | 787 | P,G,S | T | Ps | Pp, Ds, Up, Id |
| TFF | 1° 26' 42.66" | 34° 41' 58.16" | 665 | P,G,S | T | Ps | Az, Ds, Up, Id |
| TPC | 1° 25' 32.00" | 35° 12' 4.11" | 45 | M,Si | T | Sh | Pp, Ds, Up, Af, Id |

P: pebbles, G: gravels, S: sands, Si: silts, M: mud, C: clear, T: turbid, Ps: pluristratified, Sh: shrublands, Hb: herbaceous. Az: anthropozoogenic activities (e.g. pasture, washing, tractors..), Pp: pumping/deviation, Ds: Domestic sewage, Up: Urban pollution, Id: Industrial discharges, Bd: breeding discharges, Af: agricultural fertilizer

Results

We collected 16'605 specimens and belong to 12 taxa (11 species and one subgenus) (Fig. 2). Baetidae represented ca 83% of the Ephemeroptera abundance; with *Baetis pavidus* and *Baetis* subgen. *Rhodobaetis* the most abundant and ubiquitous taxa, with respectively 37.5% and 35.3% of mean abundance (Fig. 2). The four remaining families (Leptophlebiidae, Heptageniidae, Caenidae and Ephemerellidae) only represent 17% of the collected specimens. Among those families, the most abundant species are *Habrophlebia hassainae* and *Caenis luctuosa* (Burmeister, 1839) (Fig. 2). The family Leptophlebiidae has the second highest specific richness, with *H. hassainae* rather common, whereas *Choroterpes atlas* Soldán & Thomas, 1983 and *Paraleptophlebia cincta* (Retzius, 1783) are very rare.

The distribution of Ephemeroptera species has been drastically changed since the 1980's, the current checklist is depauperated due to the disappearance/absence of Oligoneuriidae, Polymitarciidae, Ephemeridae and Potamanthidae families, beside the absence of two Caenidae species *Caenis pusilla* and *Sparbarus kabyliensis* and one Leptophlebiidae *Euthraulus lindrothi* (Table 2). *Ecdyonurus rothschildi* Navás, 1929 is now absent from four sites (KH1, TGA, TFF and TPC) where usually occurred; *Serratella ignita* (Poda, 1761) is absent in three sites (KH1, IOM and TFF). *Choroterpes atlas* was newly found in one site (SK1) but was collected nowhere else; *P. cincta* is present in a single site (CH1) and *H. hassainae* is absent from TGB. The site CH0 has been only prospected during the present survey; it encompasses *E. rothschildi*, *C. luctuosa* and *H. hassainae* which are now confirmed to be found at higher altitude in the upstream of Chouly wadi.

Only six out of the 14 species mentioned in 1988 by Gagneur & Thomas were found in our survey in the same sampling sites, knowing that we considered 12 of the 48 sites investigated by these authors (Table 2). Among the eight missing species, most present either a filtering (e.g. Oligoneuriidae) or a burrowing (Ephemeridae, Polymitarciidae) behaviour. Others, such as *Sparbarus kabyliensis*, were already rare or found in few places thirty years ago and may be locally extinct nowadays. The potentially extinct species mainly occurred in middle (<600 m) and low (<200m) altitude, in places where anthropogenic pressures have drastically increased these last decades.

TABLE 2. Evolution of Ephemeroptera composition in the twelve sites of Tafna basin between 1988 and 2016. In blue: species only present in 1988; in red: species only present in 2016; in orange: species present at both periods; in green: site only sampled in 2016.

| Famille | Species | Sites | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | CH0 | CH1 | CH2 | CH4 | KH1 | SK1 | IOM | IRE | TGB | TGA | TFF | TPC |
| Oligoneuridae | <i>Oligoneuriella skoura</i> Dakki & Giudicelli, 1980 | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Oligoneuriopsis skounate</i> Dakki & Giudicelli, 1980 | | | | | | | | | | | | |
| Heptageniidae | <i>Ecchyonurus rothschildi</i> Navás, 1929 | | | | | | | | | | | | |
| Ephemereleidae | <i>Serratella ignita</i> (Poda, 1761) | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Caenis luctuosa</i> (Burmeister, 1839) | | | | | | | | | | | | |
| Caenidae | <i>Caenis pusilla</i> Navás, 1913 | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Sparbarus kabyliensis</i> (Soldán, 1986) | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Choroterpes atlas</i> Soldán & Thomas, 1983 | | | | | | | | | | | | |
| Leptophlebiidae | <i>Euthraulus lindrothi</i> (Peters, 1980) | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Paraptophlebia cincta</i> (Razius, 1783) | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Habrophlebia hassainae</i> Benhadji & Sartori, 2018 | | | | | | | | | | | | |
| Polymitarcyidae | <i>Ephoron virgo</i> (Olivier, 1791) | | | | | | | | | | | | |
| Ephemeridae | <i>Ephemera glaucops</i> Pictet, 1843 | | | | | | | | | | | | |
| Potamanthidae | <i>Potamanthus luteus</i> (Linnaeus, 1767) | | | | | | | | | | | | |

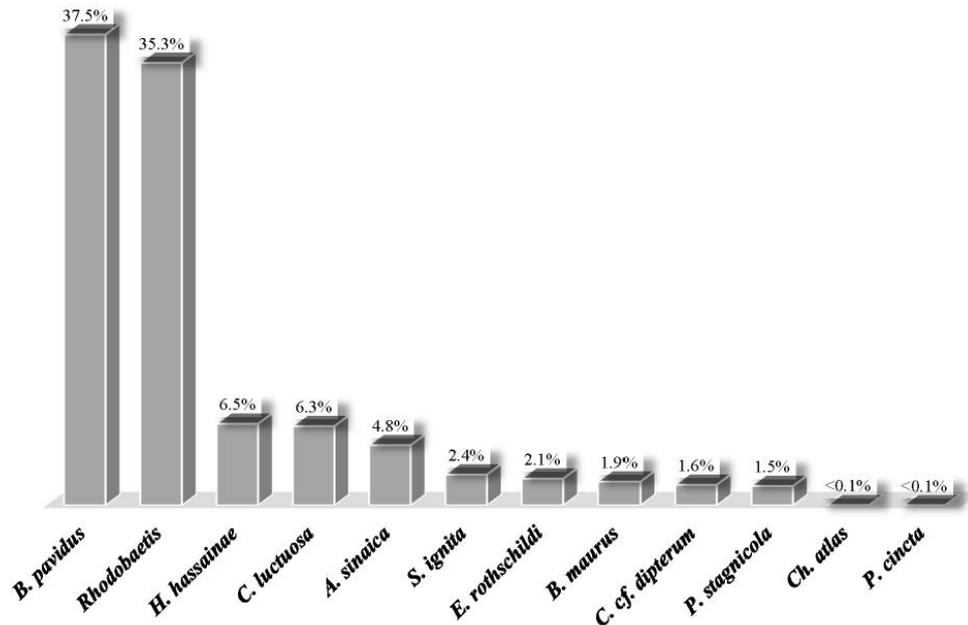


FIGURE 2. Global abundance of the Ephemeroptera species (%) of Tafna basin.

We found that Ephemeroptera diversity decreases as water conductivity increases (Fig. 3), being maximum at high and middle altitude sites. CH1 and SK1 sites present the highest specific richness, the sites along Tafna wadi TGB; TGA; TFF; TPC as well as IRE are those who have the lowest specific richness with only a maximum of two species while the other tributaries of the Tafna basin are relatively better diversified (Fig. 3).

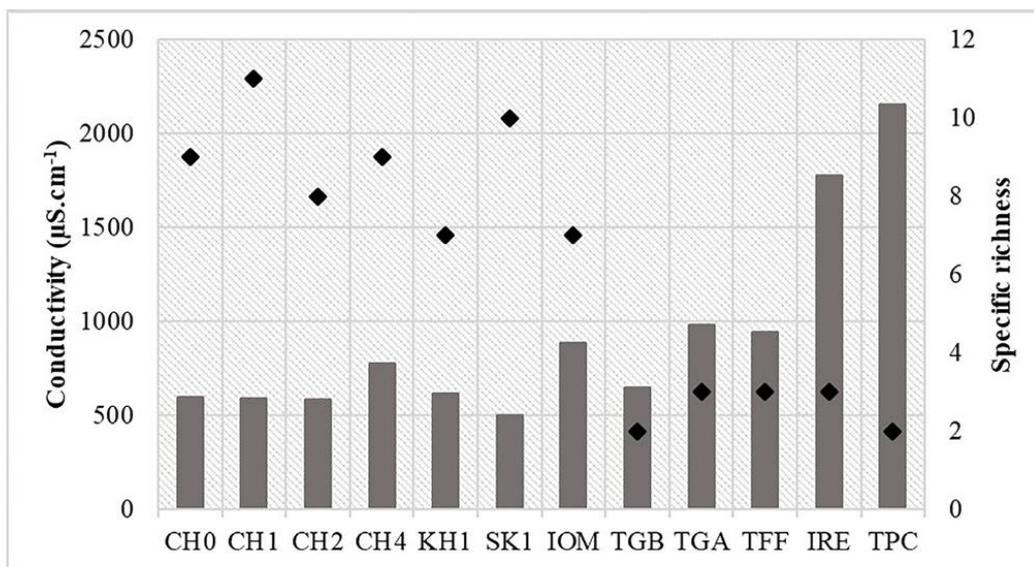


FIGURE 3. Specific richness (diamonds) according to mean annual conductivity (µS.cm⁻¹) (bars).

At a spatiotemporal scale, *Baetis pavidus* Grandi, 1949 and *Rhodobaetis* Jacob, 2003 are both very abundant (respectively up to 5'855 and 6'229 individuals) with an important variability in comparison to the other Baetidae taxa (Fig. 4). *A. sinaica* with a total of 795 individuals shows less variations of abundance in the sites when present (Fig. 4).

Baetis maurus Kimmins, 1938 with a total of 313 individuals and *Acentrella sinaica* Bogoescu, 1931 are restricted to mountainous stream sites during the high flow season and have the lowest conductivity tolerance among all Baetidae. *A. sinaica* has the shortest temporal occurrence and appears exclusively during spring, while *B. maurus* has a winter-spring distribution (Table 3), the latter being less abundant than *A. sinaica* (Fig. 4).

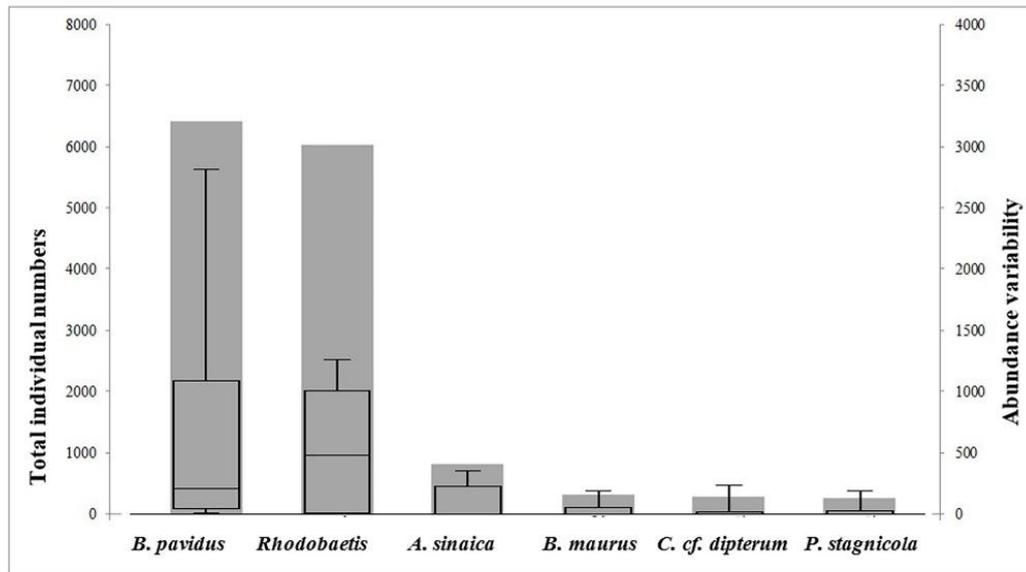


FIGURE 4. Histogram of total individual numbers per Baetidae species combined with a boxplot of mean relative abundance distribution by sites.

Cloeon cf. dipterum Linné, 1761 and *Procloeon stagnicola* Soldán & Thomé, 1983 which counts respectively 271 and 255 individuals are lentic species, preferring pools with low to extremely low current velocity; they were mostly found in winter and spring. They show approximately similar abundances but *P. stagnicola* has a wider spatial distribution (Table 3, Fig. 5).

At the habitat level, Baetidae have distinct preferences for substrate type (Table 3), *B. pavidus* and *Rhodobaetis* are found in all substrates except fine substrate, *A. sinaica* and *B. maurus* are found in coarse substrates and *C. cf. dipterum* and *P. stagnicola* are found in pools surrounded by rocks against a background of mosses and algae.

B. pavidus and *Rhodobaetis* are found in various substrata and show great ecological valence, supporting important variations of conductivity (Table 3). *B. pavidus* was also found in moderately to highly polluted sites with high turbidity and conductivity; this species is the most tolerant to water temperature increase (Tables 1 and 3). Besides these two species of Baetidae, *C. luctuosa* is the most tolerant to pollution (Table 1). According to the one-way Anova test and to physicochemical data presented in Table 3, apart from *B. pavidus* and *Rhodobaetis*, Baetidae abundance respond to conductivity (P value very significant $P < 0.01$ to highly significant $P < 0.001$), however, *B. pavidus* shows wide tolerance ranges supporting very high conductivity values (up to 2'171 μ S/cm). But on another side, the remaining parameters variations have a significant impact on this species; temperature (Kruskal-Wallis test: $p < 0.001$) dissolved oxygen (Kruskal-Wallis test: $p < 0.001$) and pH (Kruskal-Wallis test: $p < 0.001$). *Rhodobaetis* which has a similar spatiotemporal distribution and influencing factors than the latter prefers less ionized waters (up to 1'730 μ S/cm) and a lower temperature to some degree (up to 19.5°C).

TABLE 3. Physicochemical characteristics data for the Baetidae during the sampling period in all sampling sites (2014–2016).

| Taxa | Total number of specimens | Number of sites | Altitude (m) | Maximum depth (cm) | Stream width (m) | Habitat water velocity (cm/s) | Substrat nature | Water temperature (°C) | Dissolved Oxygen (mg/L) | pH | Conductivity (µS/cm) | Seasonality (Months) |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------|--------------|--------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------|
| <i>Baetis pavidus</i> | 6 229 | 12 | 45-1022 | 30-150 | 3-30 | [10-100] | R,C,G,
S,AV,Al,Ll,
Ms | 18±0,7*
[16,4-21,0] | 7,5±0,8*
[6,4-8,8] | 7,9±0,3*
[7,5-8,2] | 910,1±349,9
[500,0-2171,4] | Dec to Sep |
| <i>Rhodobaetis</i> | 5 855 | 11 | 45-1022 | 30-100 | 3-20 | [10-100] | R,C,G,
S,AV,Al,
Ll,Ms | 17,7±0,7***
[16,46-19,5] | 7,5±0,8**
[6,4-8,8] | 7,9±0,3**
[7,5-8,2] | 795,5±349,9
[500,0-1730,0] | Dec to Sep |
| <i>Acentrella sinatica</i> | 795 | 5 | 870-1022 | 30-50 | 3-6 | [50-100] | R,C,G | 17,3±0,5
[16,4-17,8] | 7,7±0,7*
[7,1-8,8] | 7,9±0,2*
[7,6-8,1] | 598,2±87,4***
[500,0-755,0] | Mar to Jun |
| <i>Baetis maurus</i> | 313 | 6 | 700-1022 | 30-70 | 3-8 | [50-100] | R,C,G | 17,5±0,3
[17,0-17,8] | 7,8±0,8
[7,1-8,8] | 7,8±0,2
[7,6-8,1] | 573,7±50,9**
[500,0-617,3] | Jan to Jun |
| <i>Cloeon cf. dipierum</i> | 271 | 4 | 700-1022 | 30-60 | 3-6 | ≤10-25] | R,Al,Ms | 17,4±0,5
[16,4-18,1] | 7,5±0,8
[6,4-8,8] | 7,8±0,2*
[7,6-8,1] | 636,9±129,8***
[500,0-869,0] | Dec to Jun |
| <i>Proclaeon stagnicola</i> | 255 | 7 | 700-1022 | 30-70 | 3-8 | ≤10-25] | R,Al,Ms | 17,5±0,6
[16,4-18,1] | 7,2±0,5
[6,4-7,8] | 7,8±0,2
[7,6-8,1] | 668,2±138,8***
[539,7-869,0] | Dec to Jun |

*** p <0,001** p<0,01 *p<0,05 R = Rocks/boulders, C = Cobble, G = Gravel, S = Sand, AV=Aquatic vegetation, Ms=Mosses, Ll=Leaf litter, Al=Algae.

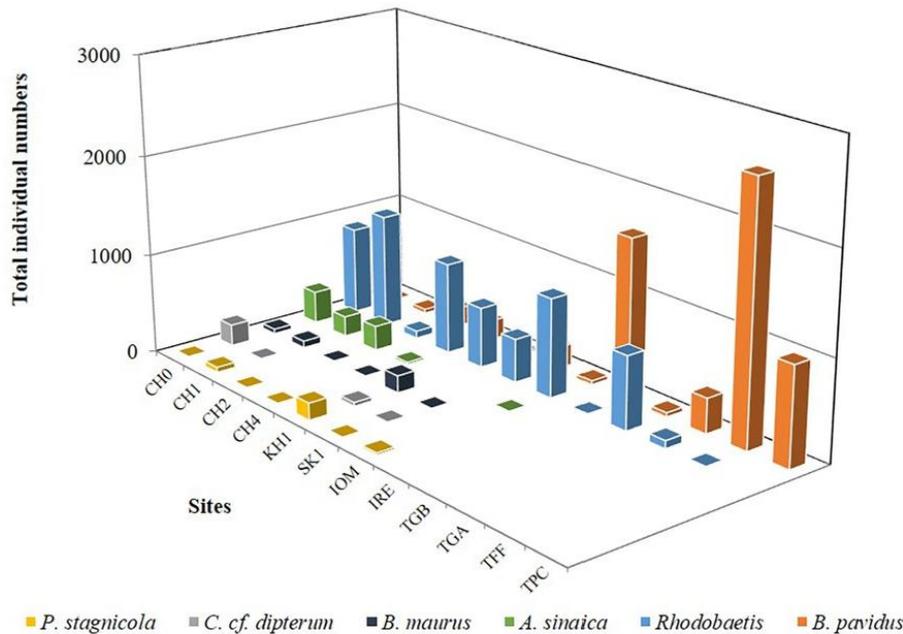


FIGURE 5. Spatial variability of relative abundance of the Baetidae in the sampling sites of Tafna basin; sites abbreviated according to Table 1.

Dissolved oxygen ($F=5.79$, $df=4$, $p=0.042$) and pH ($F=5.749$, $df=4$, $p=0.043$) influence *A. sinaica* abundance. This species along with *B. maurus* share the same exigence for more oxygenated waters compared to the other Baetidae (greater than 7.1 mg/l), *A. sinaica* is more abundant than *B. maurus* in sites with a slightly higher conductivity as CH4.

Cloeon cf. dipterum shares the same interval ranges as *P. stagnicola* for all parameters, they are found along with in a more or less mineralized waters with conductivity up to 869 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Table 3), pH (Kruskal-Wallis test: $p=0.043$) shows an influence on *Cloeon cf. dipterum* abundance only.

Discussion

The Ephemeroptera composition of the Tafna basin has been drastically reduced since the first study of Gagneur & Thomas (1988). The diversity is concentrated in high altitudes, since over the last thirty years, the fauna of middle and low altitudes has been deeply affected probably by the increase of human activities. We newly mention six Baetidae taxa, and by that extending the Ephemeroptera checklist of this region. Baetidae distribution and abundance are governed by seasons and physicochemical factors, especially conductivity.

With 21 species recorded so far, the Tafna basin belongs to the three most diversified regions in Algeria which contain Mazafran (Coastal Algiers wadi) (20 species) and Kabylie of Djurdjura (21 species) regions (Bebba *et al.*, 2015). We register the highest specific richness ($SR > 10$), in sites with higher altitude (700 and 850m), whereas Mebarki *et al.* (2017) recorded the maximum at Blidean Atlas and Djurdjura montaneous wadis at altitude between 300 to 600m.

As in Tunisia (Boumaiza & Thomas, 1995), Baetidae is the most diversified and widespread family and *B. pavidus* is the most abundant species in Algeria (Bebba *et al.*, 2015; Mebarki *et al.*, 2017). This species is closely followed by *Rhodobaetis*, which has the same large altitudinal amplitude and *C. luctuosa* eurytopic and omnipresent in all altitudes.

In fact, since Gagneur & Thomas study (1988), mayfly diversity and distribution have shrunked. For instance, station CH4 (wadi Chouly near Ouled Mimoun) was the home of 13 species (out of 14) in 1988, whereas we only found again four species (and five species of Baetidae) and all with large ecological valence. This is due to the fact that this site receives domestic sewage of two villages in great expansion (Chouly and Ouled Mimoun villages), cattle breeding wastes and draining of agricultural land full of fertilizer; these factors increase water mineralization, modify the habitats quality and lead to a decrease or a triviality of the biodiversity (Kaushal *et al.*, 2010; Bebbia *et al.*, 2015; Mebarki *et al.*, 2017). Sites like CH1 and CH2 are better preserved and maintain a relatively rich biodiversity, as they are located in upstream sections and benefit from several springs from Tlemcen mountains. However, site CH2 goes dry from May to the next high waters in winter due to severe pumping for irrigation. The sites IRE and TPC are influenced by presence of five dams (three of them were constructed between 1988 and 2005); but the main reason of the decline of their biodiversity seems to be industrial discharges like in TGA, TFF; they are all located downstream different kinds of wastes from Tlemcen and Oujda city (Morocco), and are contaminated by heavy metals such as Pb, Cd, Cu, Zn (Benabdelkader *et al.*, 2018). In North African studies, conductivity has been mentioned several times as one of the most influencing, if not the prominent factor shaping the mayflies distribution, and is most likely associated with anthropogenic activities (Gagneur & Thomas, 1998; Bebbia *et al.*, 2015; Mebarki *et al.*, 2017); Our results clearly indicate that specific richness are low in sites with high conductivity.

As mentioned by Landa & Soldán (1995), mayflies are mostly detritivores or omnivores which can consume toxic substances mixed with substrate deposits, and as such are good bioindicators.

Given its resistance to polluted matters, *B. pavidus* seems to be so far the best candidate for studying accumulation and effect of heavy metals for instance. This species swarms in sites with high conductivity, it dominates over *Rhodobaetis* until it totally replaces it, is the most abundant and one of the most tolerant species along with *Rhodobaetis* species and *C. luctuosa* as already mentioned by Alba-Tercedor *et al.* (1995); Korbaa *et al.* (2009); Arimoro & Muller (2010); Vilenica *et al.* (2015) and Mebarki *et al.* (2017).

These multiple anthropic factors all together caused the increase of suspended matter as already noticed by Yadi (1991), and this is probably the reason behind the disappearance (or absence) of filtering and burrowing species like *Oligoneuriella skoura* Dakki & Giudicelli, 1980, *Oligoneuriopsis skhounate* Dakki & Giudicelli, 1980, *Ephoron virgo* (Olivier, 1791) or *Potamanthus luteus* (Linnaeus, 1767). *Ecdyonurus rothschildi* cannot resist to high particle concentration coupled with high water velocity (Taleb, 1992); it previously presented the same large altitudinal distribution as *H. hassainae* and *C. luctuosa* but now, as *S. ignita*, the species is confined above 500m where the waters are still relatively clear and well oxygenated. Only one specimen of *Paraleptophlebia cincta* was found close to springs in shady sections with riparian vegetation; this species exhibits strict ecological preferences (Gagneur & Thomas, 1988) which are threatened by the current low environmental conditions.

As suggested by Vilenica *et al.* (2018), in particular cases, Ephemeroptera distribution seems to be more influenced by water quality (physicochemical) than by the habitat. In our study, Ephemeroptera fauna is more diversified in sites with high altitude and low conductivity joining Mebarki *et al.* (2017) which considered water mineralization and altitude as being the most determining factors in Ephemeroptera fauna abundance, assemblage and specific richness in North Algeria (Gagneur & Thomas, 1988; Boumaïza & Thomas 1986; 1995). They emphasized the important influence of land uses, industrial and domestic sewages which increase watercourses mineralization.

According to Bauernfeind & Soldán (2012), all the collected Baetidae species have a preference for stony substrates, with the exception of *C. cf. dipterum* and *P. stagnicola* more abundant in net of filamentous algae or vascular hydrophytes found along with boulders or stones (Thomas & Soldán, 1983).

Baetis pavidus is a Mediterranean thermophilic element with a large altitudinal distribution (Bebbia *et al.*, 2015; Mebarki *et al.* 2017). These patterns may explain its proliferation during the hot season and in downstream sites with warmer waters.

Acentrella sinaica was mentioned to prefer fresh and quality preserved waters and finer substrates by Mebarki *et al.* (2017); nevertheless, we found it in coarse substrate composed of rocks, cobbles and pebbles. *Cloeon cf. dipterum* and *P. stagnicola* appreciate mineralized waters (Mebarki *et al.* 2017); in our study, their abundance is conditioned by conductivity, and pH variations, at least for *C. cf. dipterum*. *Baetis maurus* is an endemic species to the Maghreb, and together with *A. sinaica* were found in the streamline microhabitat as described in Bauernfeind & Soldán (2012) where the water is fresher and more oxygenated; this kind of habitat tends to be scarce during the low water/dry season. In comparison with other Ephemeroptera studies in the Maghreb (Soldán & Thomas, 1983b; Thomas, 1998; El Alami *et al.*, 2000; Bebbia *et al.* 2015; Zrelli *et al.*,

2016; Mebarki *et al.*, 2017), three endemic species of Baetidae are absent from our study site: *Cheleocloeon dimorphicum* (Soldán & Thomas, 1985), *Nigrobaetis rhithralis* (Soldán & Thomas, 1983) and *Alainites sadati* Thomas, 1994. The latter species was certainly present in the Tafna as it was originally described based on material collected at site KH1. *N. rhithralis* and *A. sadati* presence seems linked to humid climate (Bauernfeind & Soldán, 2012) which suggests that the successive drought coupled with human pressure has a negative effect on such species. For the third missing species *C. dimorphicum*, Bauernfeind & Soldán (2012), it occurs mainly in humid areas of Maghreb coast and even though this species is tolerant to eutrophication, it is somewhat sensitive to high salinity, eventually, the reason behind its absence.

For some Mediterranean species; such as *Labiobaetis neglectus* (Navás, 1913) and *Baetis punicus* Thomas, Boumaiza et Soldán, 1983, as well as some widespread European species such as *Procloeon bifidum* (Bengtsson, 1912), *Cloeon simile* Eaton, 1870, *Centroptilum luteolum* (Müller, 1776), they are always reported in low abundance in the area (Mebarki *et al.*, 2017). Unfortunately, we have no historic data allowing us to decide if these species were previously present and were extirpated, or if they never occurred in the Tafna basin. The species belonging to the subgenus *Rhodobaetis* might either be *Baetis chelif* Soldán, Godunko and Thomas, 2005 or *Baetis sinespinosus* Soldán & Thomas, 1983, two endemic species from Algeria; but we can also not exclude that it may represent one of the numerous and widely distributed West Palearctic molecular hypotheses species (Williams *et al.*, 2006, Rutschmann *et al.*, 2014, Bisconti *et al.*, 2016, Gattolliat *et al.*, 2018). In our study, *Rhodobaetis* is found to be eurytopic with a great ecological valence towards altitude, water flow and substrate alterations, and it has been collected throughout almost all the year. This is in accordance with Bebbi *et al.* (2015) findings for *Baetis rhodani* and *B. sinespinosus*. On another side, Mebarki *et al.* (2017) considerate *B. sinespinosus*, *B. chelif* to be restricted to coarse substrate in the piedmont region.

Conclusion

Since Gagneur & Thomas study (1988), both mayfly diversity and distribution of the Tafna basin have drastically decreased due mainly to human activities; more than half of the taxa identified in the 80's have disappeared. For the first time, we established a Baetidae checklist which was characterized by a restricted species composition, with species having a European, Mediterranean and Endemic North-African distribution. At a local scale, Baetidae distribution is regulated by water mineralization, flow, quality (pollution) and substrate composition. Therefore, the original data on mayfly ecology and specifically the Baetidae presented in this article represent the necessary background for further research and conservation practices in wadis in Maghreb.

Finally, investigating more sites could guarantee the efficiency of our comparison with Gagneur and Thomas (1988) and have a comprehensive overview on the ecology at a regional (Algeria) or a larger scale (Maghreb), in order to improve the tools for biomonitoring programs.

Acknowledgements

We are tremendously thankful to Dr Frederico Falcão Salles (Universidade Federal do Espírito Santo) for his precious help and to all his beautiful scientific team for the great welcoming and assistance during the *International Conference on Ephemeroptera and Plecoptera, Brasil 2018*. The comments of three anonymous reviewers were of tremendous importance to improve the present manuscript.

References

- Abdesselam, M. (1995) *Structure et fonctionnement d'un Karst de montagne sous climat méditerranéen : exemple du Djurdjura occidental (Grande Kabylie, Algérie)*. Thèse de Doctorat Université de Besançon, 237 pp.
- Alba-Tercedor, J., Picazo-Muñoz, J. & Zamora-Muñoz, C. (1995) Relationships between the distribution of mayfly nymphs and water quality in the Guadalquivir River Basin (southern Spain). In: Corkum, L.D. & Ciborowski, J.J.H. (Eds.), *Current Directions in Research on Ephemeroptera*. Canadian Scholars' Press, Toronto, pp. 41–54.
- Arimoro, F.O. & Muller, W.J. (2010) Mayfly (Insecta: Ephemeroptera) community structure as an indicator of the ecological status of a stream in the Niger Delta area of Nigeria. *Environmental monitoring and assessment*, 166, 581–594.

- <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1025-3>
- Bakreti, A., Braud, I., Leblois, E. & Benali, A. (2013) Analyse conjointe des régimes pluviométriques et hydrologiques dans le bassin de la Tafna (Algérie Occidentale). *Hydrological Sciences Journal*, 58 (1), 133–151.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2012.745080>
- Baptista, D.F., Buss, D.F., Dorvillé, L.F.M. & Nessimian, J.L. (2001) Diversity and habitat preference of aquatic insects along the longitudinal gradient of the Macaé River basin, Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Brasileira de Biologia*, 61, 249–258.
<https://doi.org/10.1590/S0034-71082001000200007>
- Barbault, R. (1992) *Ecologie des peuplements: Structure, dynamique et évolution*. Éditions Masson, Paris, 273 pp.
- Bauernfeind, E. & Soldán, T. (2012) *The mayflies of Europe (Ephemeroptera)*. Apollo Books, 783 pp.
<https://doi.org/10.1163/9789004260887>
- Bebba, N., El Alami, M., Arigue, S.F. & Arab, A. (2015) Étude mésologique et biotypologique du peuplement des Éphéméroptères de l’oued Abdi (Algérie). *Journal of Materials and Environmental Science*, 6, 1164–1177.
- Bekhouche, N., Marniche, F. & Ouldjaoui, A. (2017) Contribution to the study of the biodiversity of benthic invertebrates and the biological quality of some rivers in the watershed boumerzoug (east of Algeria). *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9, No 1, 234–260.
<https://doi.org/10.4314/jfas.v9i1.16>
- Belarbi, F. (2010) *Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la Tafna*. Mémoire de Magister Université de Tlemcen, 113 pp.
- Benabdelkader, A., Taleb, A., Probst, J., Belaidi, N. & Probst, A. (2018) Anthropogenic contribution and influencing factors on metal features in fluvial sediments from a semi-arid Mediterranean river basin (Tafna River, Algeria): A multi-indices approach. *Science of The Total Environment*, 626, 899–914.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.107>
- Benhadji, N., Abdellaoui Hassaine, K. & Sartori, M. (2018) *Habrophlebia hassainae*, a new mayfly species (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) from North Africa. *Zootaxa*, 4403 (3), 557–569.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4403.3.8>
- Biscontí, R., Canestrelli, D., Tenchini, R., Belfiore, C., Buffagni, A. & Nascetti, G. (2016) Cryptic diversity and multiple origins of the widespread mayfly species group *Baetis rhodani* (Ephemeroptera: Baetidae) on northwestern Mediterranean islands. *Ecology and Evolution*, 6, 7901–7910.
<https://doi.org/10.1002/ece3.2465>
- Bojková, J. & Soldán, T. (2015) Two new species of the genus *Prosopistoma* (Ephemeroptera: Prosopistomatidae) from Iraq and Algeria. *Zootaxa*, 4018 (1), 109–123.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4018.1.6>
- Bouanani, A. (2004) *Hydrologie, transport solide et modélisation. Étude de quelques sous-bassins de la Tafna*. Thèse de Doctorat Université Tlemcen Algérie, 250 pp.
- Boumaïza, M. & Thomas, A.G.B. (1986) *Répartition et écologie des Ephéméroptères de Tunisie (1ère partie)* (Insecta, Ephemeroptera). Archives de l’Institut Pasteur de Tunis 63(4), p. 576–599.
- Boumaïza, M. & Thomas, A. (1995) Distribution and ecological limits of Baetidae vs other mayfly families in Tunisia: a first evaluation (Insecta, Ephemeroptera). *Bulletin de la Société d’Histoire Naturelle de Toulouse*, 131, 27–33.
- Dedieu, N., Rhone, M., Vigouroux, R. & Céréghino, R. (2015) Assess in the impact of gold mining in headwater streams of Eastern Amazonia using Ephemeroptera assemblages and biological traits. *Ecological Indicators*, 52, 332–340.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.012>
- Dufrêne, M. & Legendre, P. (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67, 345–366.
<https://doi.org/10.2307/2963459>
- Eaton, A.E. (1899) List of Ephemeridae hitherto observed in Algeria, with localities. *Entomologist Monthly Magazine*, 35, 4–5.
- El Alami, M., Dakki, M., Errami M. & Alba-Tercedor, J. (2000) Nouvelles données sur les Baetidae du Maroc (Insecta, Ephemeroptera) *Zoologica Baetica*, 11, 105–113.
- El Mahi, A., Bouregba, N. & Meddi, M. (2011) Contribution à l’étude du changement climatique du bassin versant de l’oued El Hammam (Nord-Ouest d’Algérie). International Congress ICCAFFE2011, May 19–21, Agadir, 16 pp.
- Frontier, S., Pichod-Viale, D., Leprêtre, A., Davoult, D. & Luczak, C. (2008) *Écosystèmes Structure, Fonctionnement, Évolution*. Ed. Collection Sciences Sup, Editions Dunod, 576 pp.
- Gagneur, J. & Thomas, A.G.B. (1988) Contribution à la connaissance des Ephéméroptères d’Algérie. I.- Répartition et écologie (1ère partie) (Insecta, Ephemeroptera). *Bulletin de la Société d’Histoire Naturelle de Toulouse*, 124, 213–223.
- Gasith, A. & Resh, V.H. (1999) Streams in Mediterranean climate regions: abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 30, 51–81.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.30.1.51>
- Gattolliat, J.L., Rutschmann, S., Monaghan, M.T. & Sartori, M. (2018) From molecular hypotheses to valid species: description

- of three endemic species of *Baetis* (Ephemeroptera: Baetidae) from the Canary Islands. *Arthropod Systematics & Phylogeny*, 76, 509–528.
- Gordon, N.B., McMahon, T.A. & Finlayson, B.L. (1992) *Stream Hydrology: an introduction for ecologists*, Chichester: Ed. Wiley, 429 pp.
- Jacob, U. (2003) *Baetis* Leach 1815, sensu stricto oder sensu lato. Ein Beitrag zum Gattungskonzept auf der Grundlage von Artengruppen mit Bestimmungsschlüsseln. *Lauterbornia*, 47, 59–129.
- Kaushal, S.S., Pace, M.L., Groffman, P.M., Band, L.E., Belt, K.T., Mayer, P.M. & Welty, C. (2010) Land Use and Climate Variability Amplify Contaminant Pulses. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 91, No. 25, 22 June 2010, 221–222.
<https://doi.org/10.1029/2010EO250001>
- Korbaa, M., Bejaoui, M. & Boumaïza, M. (2009) Variation spatio-temporelle de la structure de l'éphéméroptérofaune de l'oued Sejenane (Ichkeul, Tunisie septentrionale). *Revue des sciences de l'eau*, 22, pp. 373–381.
<https://doi.org/10.7202/037776ar>
- Lampert, W. & Sommer, U. (1997) *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*. Oxford University Press, New York, 336 pp.
- Landa, V. & Soldán, T. (1995) Mayflies as bioindicators of water quality and environmental change on a regional and global scale. In Corkum LD; Ciborowski JJH. *Current Directions in Research on Ephemeroptera*. *Canadian Scholars' Press*, Inc. Toronto, 21–29.
- Lestage, J.A. (1925) Éphéméroptères, Plécoptères et Trichoptères recueillis en Algérie par M.H. Gauthier et liste des espèces connues actuellement de l'Afrique du Nord. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord*, 16, 8–18.
- Lounaci, A., Brosse, S., Thomas, A. & Lek S. (2000) Abundance, diversity and community structure of macroinvertebrates in an algerian stream: The Sebaou wadi. *Annales de Limnologie*, 36 (2), 123–133.
<https://doi.org/10.1051/limn/2000008>
- Mebarki, M., Taleb, A. & Arab, A. (2017) Environmental factors influencing the composition and distribution of mayfly larvae in northern Algerian wadis (regional scale). *Revue d'Écologie*, 72 (3), 303–313.
- Milisa, M., Habdija, I., Prime-Habdija, B., Radanović, I. & Matoničkin Kepčija, R. (2006) The role of flow velocity in the vertical distribution of particulate organic matter on moss-covered travertine barriers of the Plitvice Lakes (Croatia). *Hydrobiologia*, 553, 231–243.
<https://doi.org/10.1007/s10750-005-1220-3>
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A. and Kent, J. (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858.
<https://doi.org/10.1038/35002501>
- Prat, N., Munné A., Rieradevall M., Carcellar, F., Fons, J., Chacón, G., Ibañez, C., Font, X., Carmona, J.M. & Romo, A. (2000) Biodiversity of a Mediterranean stream drainage network. *Verhandlungen International Verein, Limnologie*, 27, 137–139.
<https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11901212>
- Rutschmann, S., Gattolliat, J.L., Hughes, S.J., Baez, M., Sartori, M. & Monaghan, M.T. (2014) Evolution and island endemism of morphologically cryptic *Baetis* and *Cloeon* species (Ephemeroptera, Baetidae) on the Canary Islands and Madeira. *Freshwater Biology*, 59, 2516–2527.
<https://doi.org/10.1111/fwb.12450>
- Sartori, M. & Brittain, J.E. (2015) Order Ephemeroptera. In: Thorp and Covich's (Org.), *Freshwater Invertebrates: Ecology and General Biology*, Edition: Fourth Edition, Chapter: Order Ephemeroptera, Publisher: Academic Press, New York, Editors: J. Thorp, D.C. Rodgers, pp. 873–891.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385026-3.00034-6>
- Sellam, N., Zougaghe, F., Pinel Alloul, B., Mimouni, A. & Moulai, R. (2017) Taxa richness and community structure of macroinvertebrates in rivers of different bioclimatic regions of Algeria. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8 (5), 1574–1588
- Soldán, T. & Gagneur, J. (1985) *Ecdyonurus rothschildi* Navás, 1929 : Description de la larve (Ephemeroptera, Heptageniidae). *Annales De Limnologie - International Journal of Limnology*, 21 (2), 141–144.
<https://doi.org/10.1051/limn/1985013>
- Soldán, T. & Thomas, A.G.B. (1983a) *Baetis numidicus* n.sp., Ephéméroptère nouveau d'Algérie (Baetidae). *Annales de Limnologie*, 19, 207–211.
<https://doi.org/10.1051/limn/1983024>
- Soldán, T. & Thomas, A.G.B. (1983b) New and little-known species of mayflies (Ephemeroptera) from Algeria. *Acta Entomologica Bohemoslovaca*, 80, 356–376.
- Soldán, T. & Thomas, A.G.B. (1985) *Centroptilum dimorphicum* sp. n., a new species of mayfly (Ephemeroptera, Baetidae) from Algeria. *Acta Entomologica bohemoslovaca*, 82, 180–186.
- Soldán, T., Godunko, R.J. & Thomas, A.G.B. (2005) *Baetis chelif* n. sp., a new mayfly from Algeria with notes on *B. sinespinosus* Soldán & Thomas, 1983, n. stat. (Ephemeroptera: Baetidae). *Genus*, 16, 155–165.

- Taibi, S., Meddi, M., Doudja, S.-G. & Mahe, G. (2013) Evolution et régionalisation des précipitations au Nord de l'Algérie (1936–2009). *International Association of Hydrological Sciences*, 359, 191–197.
- Taleb, A. (1992) *Etude expérimentale des effets des matières en suspension sur quelques organismes benthiques*. Thèse de Magister, Institut de Biologie Tlemcen, 85 pp.
- Thomas, A. & Gagneur, J. (1994) Compléments et corrections à la faune des Ephéméroptères d'Afrique du Nord. 6. *Alainites sadati* n.sp. d'Algérie (Ephemeroptera, Baetidae). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 130, 43–45.
- Thomas, A. (1998) A provisional checklist of the mayflies of North Africa (Ephemeroptera). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 134, 13–20.
- Tidjani, A., Yebdri, D., Roth J. & 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.
<https://doi.org/10.7202/014418ar>
- Vilenica, M., Gattolliat, J.L., Mihaljević, Z. & Sartori, M. (2015) Croatian mayflies (Insecta, Ephemeroptera): species diversity and distribution patterns. *Zookeys*, 523, 99–127.
<https://doi.org/10.3897/zookeys.523.6100>
- Vilenica, M., Brigić, A., Sartori, M. & Mihaljević, Z. (2018) Microhabitat selection and distribution of functional feeding groups of mayfly larvae (Ephemeroptera) in lotic karst habitats. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, Number 419, 12 pp.
<https://doi.org/10.1051/kmae/2018011>
- Williams, H.C., Ormerod, S.J. & Bruford, M.W. (2006) Molecular systematics and phylogeography of the cryptic species complex *Baetis rhodani* (Ephemeroptera, Baetidae). *Molecular Phylogenetics And Evolution*, 40, 370–382.
<https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.03.004>
- Yadi, H.B. (1991) *Nature et évolution de la matière minérale et organique dans le bassin versant de la Tafna (N.W. Algérien)*. Thèse de Magister. Institut de Biologie Tlemcen, 131 pp.
- Zettam, A. (2018) *Transfert des nitrates du bassin versant de la Tafna (Nord-Ouest de l'Algérie) vers la mer Méditerranée - approche couplant mesures, modélisation et changement d'échelle vers les grands bassins versants Nord africains*. PhD, Ecologie Fonctionnelle, Institut National Polytechnique de Toulouse, 223 pp.
- Zettam, A., Taleb, A., Sauvage, S., Boithias, L., Belaidi, N. & Sánchez-Pérez, J.M. (2017) Modelling hydrology and sediment transport in a semi-arid and anthropized catchment using the SWAT model: the case of the Tafna River (Northwest Algeria). Sediment transport in coastal waters. *Water*, 9 (n° special), art. 216, 18 pp.
<https://doi.org/10.3390/w9030216>
- Zouakh, D. & Meddour, A. (2018) Longitudinal ecological zonation in four algerian streams. *Lebanese Science Journal*, 19, No. 2, 135–150.
<https://doi.org/10.22453/LSJ-017.2.091103>
- Zrelli, S., Boumaiza, M., Béjaoui, M., Gattolliat, J.L. & Sartori, M. (2011a) New reports of mayflies (Insecta: Ephemeroptera) from Tunisia. *Revue suisse de Zoologie*, 118, 3–11.
- Zrelli, S., Boumaiza, M., Béjaoui, M., Gattolliat, J.L. & Sartori, M. (2016) New data and revision of the Ephemeroptera of Tunisia. *Inland Water Biology*, Supplement 3, 99–106.
- Zrelli, S., Gattolliat, J.L., Boumaïza, M. & Thomas, A. (2012) First record of *Alainites sadati* Thomas, 1994 (Ephemeroptera: Baetidae) in Tunisia, description of the larval stage and ecology. *Zootaxa*, 3497, 60–68.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.3497.1.6>
- Zrelli, S., Sartori, M., Bejaoui, M. & Boumaïza, M. (2011b) *Rhithrogena sartorii*, a new mayfly species (Ephemeroptera: Heptageniidae) from North Africa. *Zootaxa*, 3139, 63–68.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.3139.1.4>

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude nous a permis d'atteindre les objectifs qu'on s'est posé au départ et même bien au-delà, en effet, outre l'identification de la composition actuelle des Ephemeroptères Schistonotes du bassin versant de la Tafna, majoritairement constituée de Baetidae, nous avons obtenu des résultats originaux et ce, grâce à une méthodologie d'étude trilogie adoptée.

Présenter les résultats obtenus d'une manière simplifiée donnerait : chaque espèce est identifiée (taxonomie morphologique) dans un habitat identifié (écologie de l'espèce) avec une biogéographie précise (taxonomie biomoléculaire).

A l'échelle du bassin versant, l'étude in situ a permis de montrer la grande variabilité de la faune d'Ephemeroptères ; dans essentiellement les stations de l'amont ; 30ans après l'étude de Gagneur et Thomas ; une faune appauvrie dans une situation climatique aride et une pression anthropique lancinante, cependant, gardant un caractère bien endémique de la région Afrique du Nord et non pas européennes comme l'hypothèse supposée au départ. La distribution de cette faune étant principalement modulée par la conductivité et la présence d'habitat non altéré.

Comme la biodiversité n'est pas fixe dans le temps mais changeante vu que l'écosystème aquatique lotique est lui-même très dynamique et fortement perturbé, continuer l'échantillonnage à des fins de biomonitoring des oueds ou d'échantillonnage à des fins d'études taxonomiques de façon régulière permettrait de suivre son évolution.

L'outil biomoléculaire, sans être à lui seul la panacée aux contraintes de l'identification à l'espèce, permet de positionner une espèce donnée aux niveaux intra et interspécifique et d'évaluer leur distance génétique – donc, leur conspécificité ou pas- avec d'autres espèces du bassin méditerranéen ou bien européennes autrement dit, les plus proche sur le plan biogéographique.

Le barcoding moléculaire faisant appel au gène mitochondrial COI comme d'autres analyses biomoléculaires comparables utilisant d'autres gènes (e.g. gène nucléaire ou ribosomal) est de plus en plus pratiqué par la recherche scientifique. Cependant, il reste à lui seul non suffisant pour trancher sur l'identification d'une espèce donnée. En effet, il présente parfois des résultats taxonomiques quelque peu contradictoires avec ceux de la taxonomie morphologique : une espèce peut présenter un grand écart de distance génétique avec une autre espèce similaire et ne présenterait pas de différence morphologique, ce qui est le cas des espèces cryptiques. Il est donc préférable d'appliquer la méthode intégrative qui inclut l'analyse biomoléculaire et le diagnostic morphologique.

Les bons ingrédients pour une révision taxonomique réussie restent, outre une recherche bibliographique assidue et la précieuse aide des spécialistes, un travail de collaboration qui aiderait à pallier aux lacunes de la mauvaise connaissance des Ephemeroptères d'Afrique du Nord. Dans notre cas, travailler de concert avec les scientifiques d'autres régions de l'Algérie et des pays voisins, nous permettra à l'avenir

sans doute de rassembler nos efforts en ayant des données plus exhaustives et complémentaires. Cette collaboration comporterait la confection d'une clé régionale pour les Ephéméroptères d'Afrique du Nord. Cette collaboration pourrait être extrapolée à d'autres insectes aquatiques tout aussi importants comme les Trichoptères ou les Plécoptères. La collaboration multiplierait les efforts de conservation de la biodiversité des groupes d'insectes dont le rôle écologique est sans équivoque.

Références bibliographiques

- Allan J.D., 1978. Trout predation and size composition of stream drift. *Limnology and Oceanography*, 23:1231–37
- Arvy L. & Peters W.L., 1976. Liste des Ephéméroptères-hôtes de parasites, de commensaux et autres associés. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*, 51(1):121–141.
- Ayache F., 2007. Les résineux dans la région de Tlemcen: Aspect écologique et cartographique. Thèse de Magistère. Université Abou Bekr Belkaïd - Tlemcen, 223pp.
- Bagnouls F. & Gaussen H., 1953. Saison sèche et indice xérothémique. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*. Toulouse (88), pp. 3–4 et 193–239.
- Barber W.E. & Kevern N.R., 1973. Ecological factors influencing macroinvertebrate standing crop distribution. *Hydrobiologia*, 43:53–75.
- Barber-James H.M., Gattolliat J.L., Sartori M., Hubbard M.D., 2008. Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595:339–350.
- Bauernfeind E. & Moog O., 2000. Mayflies (Insecta: Ephemeroptera) and the assessment of ecological integrity: a methodological approach. *Hydrobiologia*, 422/423:71–83.
- Bauernfeind E. & Soldán T., 2012. *The mayflies of Europe (Ephemeroptera)*. Apollo Books, 783 pp.
- Bebba N., El Alami M., Arigue S.F. & Arab A., 2015. Étude mésologique et biotypologique du peuplement des Éphéméroptères de l'oued Abdi (Algérie). *Journal of Materials and Environmental Science*, 6: 1164–1177.
- Belarbi F., 2010. Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la Tafna. Mémoire de Magister Université de Tlemcen, 113 pp.
- Benech V., 1972. La fécondité de *Baetis rhodani* Pictet. *Freshwater Biology*, 2:337–354.
- Benhadji N., Abdellaoui Hassaine K. & Sartori M., 2018. *Habrophlebia hassainae*, a new mayfly species (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) from North Africa. *Zootaxa*, 4403 (3): 557–569.
- Beutel R.G. & Gorb S.N., 2001. Ultrastructure of attachment specializations of hexapods (Arthropoda): evolutionary patterns inferred from a revised ordinal phylogeny. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 39: 177–207.
- Blanke A., Greve C., Wipfler B., Beutel R.G., Holland B.R. & Misof B., 2013. The identification of concerted convergence in insect heads corroborates Paleoptera. *Systematic Biology*, 62: 250–263.
- Bojková J. & Soldán T., 2015. Two new species of the genus *Prosopistoma* (Ephemeroptera: Prosopistomatidae) from Iraq and Algeria. *Zootaxa*, 401: 109–123.

- Bouanani A., 2004. Hydrologie, transport solide et modélisation. Étude de quelques sous-bassins de la Tafna. Thèse de Doctorat. Université Tlemcen Algérie, 250 pp.
- Boumaïza M. & Thomas A.G.B., 1988. Répartition et écologie des Ephéméroptères de Tunisie (2^{ème} partie) (Insecta: Ephemeroptera). Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Tunisie, 23: 26–30.
- Boumaïza M. & Thomas A., 1995. Distribution and ecological limits of Baetidae vs other mayfly families in Tunisia: a first evaluation (Insecta, Ephemeroptera). Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, 131: 27–33.
- Boumaïza M. & Thomas AGB., 1986. Répartition et ecologie des Ephéméroptères de Tunisie (1^{ère} partie) (Insecta, Ephemeroptera). Archives de l'Institut Pasteur de Tunis, 663(4):567-599.
- Mishler B.D. & Wilkins J.S., 2018. The Hunting of the SNaRC: A Snarky Solution to the Species Problem. Philosophy, Theory, and Practice in Biology, 10 (1).
- Brinck P., 1957. Reproductive system and mating in Ephemeroptera. Opuscula Entomologica, 22:17–37.
- Britt N.W., 1962. Biology of two species of Lake Erie mayflies, *Ephoron album* (Say) and *Ephemera simulans* Walker. Bulletin of the Ohio Biological Survey, 1(5):17–70
- Brittain J.E., 1979. Emergence of Ephemeroptera from Øvre Heimdalsvatn, a Norwegian subalpine lake. Pages 115-123 in Pasternak K; Sowa R. Proceedings of the Second International Conference on Ephemeroptera. Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa-Kraków
- Brittain J.E., 1980. Mayfly strategies in a Norwegian subalpine lake. Pages 179–186 in Flannigan JF; Marshall KE. Advances in Ephemeroptera Biology. Plenum Press, New York.
- Brittain J.E., 1982. Biology of mayflies. Annual Review of Entomology, 27:119-147.
- Brittain J.E. & Sartori M., 2003. Ephemeroptera. In: Resh, V.H., Cardé, R. (Eds.), Encyclopedia of Insects. Academic Press, New York, pp. 373–380.
- Brown D.S., 1961. The food of larvae of *Chloëon dipterum* L. and *Baetisrhodani* Pictet (Insecta, Ephemeroptera). Journal of Animal Ecology, 30:55-75.
- Campbell I.C., 1980. Diurnal variations in the activity of *Mirawara purpurea* Riek (Ephemeroptera, Siphonuridae) in the Aberfeldy River, Victoria Australia. Pages 297–308 in Flannigan JF; Marshall KE. Advances in Ephemeroptera Biology. Plenum Press, New York.
- Chaabane A., 1993. Etude de la végétation du littoral septentrional de la Tunisie : Typologie, Syntaxonomie et éléments d'aménagement. Thèse de Doctorat en Es. Sciences Université d'Aix Marseille III. 338p.

- Cianciara S., 1980. Food preference of *Cloëon dipterum* (L.) larvae and dependence of their development and growth on the type of food. *Polskie archiwum hydrobiologii*, 27(1):143-160.
- Clifford H.F., 1980. Numerical abundance values of mayfly nymphs from the Holarctic Region. Pages 503–509 in Flannigan JF; Marshall KE. *Advances in Ephemeroptera Biology*. Plenum Press, New York.
- Clifford H.F., 1982. Life cycles of mayflies (Ephemeroptera) with special reference to voltinism. *Quaestiones Entomologicae* 18(1-4):15–90.
- Cloud T.J. & Steward K.W., 1974. The drift of mayflies (Ephemeropterian) the Brazos River, Texas. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 47(3):379-396.
- Cogerino L., Cellot B. & Bournaud M., 1995. Microhabitat diversity and associated macroinvertebrates in aquatic banks of a large European river. *Hydrobiologia*, 3042: 103-115
- Collignon B., 1986. Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen (Algérie),Thèse de doctorat nouveau régime. Université d'Avignon, 282p.
- Corre J.,1961. Une zone de terrains salés en bordure de l'étang de Mauguio : Etude du milieu et de la végétation. *Bulletin du Service de la carte phytogéographique*. Montpellier. Série B, 6,2. pp: 105–151.
- Csoknya M., 1973. Experimental investigation of the respiration of nymphs of *Pallngenia longicauda* Oliv. (Ephemeroptera). *Tiscia*, 8:47-51
- Dakki M. & El Agbani MA., 1983. Ephéméroptères d'Afrique du Nord. 3, Eléments pour la connaissance de la faune marocaine. *Bulletin de l'Institut Scientifique (Rabat)*, 7:115-126.
- De Martonne E., 1926. Une nouvelle fonction climatologique : l'indice d'aridité. *La météo*. pp : 449–459.
- Eaton A.E., 1899. List of Ephemeridae hitherto observed in Algeria, with localities. *Entomologist's Monthly Magazine*, 35:4-5.
- Edmunds G.F.Jr., 1972. Biogeography and evolution of Ephemeroptera. *Annual Review of Entomology*. 17:21-42
- Edmunds G.F.Jr., Jensen S.L. & Berner L., 1976. *The Mayflies of North and Central America*. University of Minnesota Press, Minneapolis. 330 pp.
- El Alami M., Dakki M., Errami M. & Alba-Tercedor J., 2000. Nouvelles données sur les Baetidae du Maroc (Insecta, Ephemeroptera). *Zoologica Baetica*, 11: 105–113.
- Elliott J.M., 1967. The life histories and drifting of the Plecoptera and Ephemeroptera in a Dartmoor stream. *Journal of Animal Ecology*, 36:343–362.
- Elliott J.M., 1971. Upstream movements of benthic invertebrates in a Lake District stream. *Journal of Animal Ecology*, 40:235–252.

- Elliott J.M., 1972. Effect of temperature on the time of hatching in *Baëtisrhodani* (Ephemeroptera: Baëtidae). *Oecologia*, 9:47–51
- Elliott J.M. & Humpesch U.H., 1980. Eggs of Ephemeroptera. Annual Report of the Freshwater Biological Association, 48:41–52
- Elouard J-M., Sartori M., Gattolliat J-L. & Oliarinony R., 2001. Ordre des Ephéméroptères. In: Elouard J.M. & Gibon F.M. (Eds.), Biodiversité et Biotypologie des Eaux Continentales de Madagascar. Institut de Recherche pour le Développement, Montpellier, pp.77–112.
- Emberger L., 1930. Sur une formule climatique applicable en géographie botanique. *Comptes Rendus à l'Académie des Sciences*, t. 191, pp.389–390.
- Emberger L., 1933. Nouvelle contribution à l'étude de la classification des groupements végétaux. *Revue Générale de Botanique* 45(1): 473–486.
- Emberger L., 1955. Une classification biogéographique des climats. Recueil, travaux de laboratoire géo-zoologique, Faculté des sciences. Service botanique. Montpellier, 7:3–43.
- Eriksen C.H., 1963. The relation of oxygen consumption to substrate particle size in two burrowing mayflies. *Journal of Experimental Biology*, 40:447-453.
- Gagneur J. & Thomas A.G.B., 1988. Contribution à la connaissance des Ephéméroptères d'Algérie. I.- Répartition et écologie (1ère partie) (Insecta, Ephemeroptera). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 124: 213–223.
- Gagneur G; Thomas AGB; Vitte B. 1985. Première citation d'une espèce du genre *Paraleptophlebia* en Afrique du Nord: *P. cincta* (Retzius, 1783) et son écologie (Ephemeroptera, Leptophlebiidae). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse* 121:141-143.
- Gattolliat J-L., 2004. First reports of the genus *Nigrobaetis* Novikova & Kluge (Ephemeroptera: Baetidae) from Madagascar and La Réunion with observations on Afrotropical biogeography. *Revue Suisse de Zoologie*, 111:657–669.
- Gattolliat J-L. 2002. Etude systématique, cladistique et biogéographique des Baetidae (Ephemeroptera) de Madagascar. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'Université de Lausanne. 278 pp.
- Gentil L., 1903. Etude géologique du bassin de la Tafna. *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, Alger, 2, 4, 425pp.
- Godunko R.J., Martynov A. & Gattolliat J., 2018. Redescription of *Nigrobaetis rhithralis* (Soldán & Thomas, 1983) (Ephemeroptera: Baetidae). *Zootaxa*, 4462 : 41–72.
- Gore J.A., 1979. Patterns of initial benthic colonization of a reclaimed coal strip-mined river channel. *Canadian Journal Zoology*. 57:2429–2439.

- Gyselman EC. 1980. The mechanisms that maintain population stability of selected species of Ephemeroptera in a temperate stream. In Flannigan JF; Marshall KE. *Advances in Ephemeroptera Biology*. Plenum Press, New York, pp.309–319
- Harvey R.S., Vannote R.S. & Sweeney B.W., 1980. Life history, developmental processes, and energetics of the burrowing mayfly *Dolania americana*. In Flannigan JF; Marshall KE. *Advances in Ephemeroptera Biology*. Plenum Press, New York, pp. 211–230.
- Hassani F., 2013. Etude des Caelifères (Orthoptères) et caractérisation floristique (biodiversité floristique) de leur biotope dans des stations localisées à Tlemcen et Ain Temouchent. Régime alimentaire de *Calliptamus barbarus* et *Sphingonotus rubescens*. Thèse de Doctorat. Université Abou Bekr Belkaïd - Tlemcen, 181pp.
- Hauer F.R. & Resh V.H., 2006. Macroinvertebrates In *Methods in stream ecology*. 2nd Edt. Elsevier. Chapter 20 pp.435–463
- Hyatt A. & Arms J.M., 1890. Ephemeroptera. In *Guides for Science-Teaching*. No. VIII. Insecta. Boston Society of Natural History. Boston, pp: 69–72.
- Hynes, H. B. N. 1970. *The Ecology of Running Waters*. Liverpool: Liverpool University Press, 555 pp.
- Peters W.L. & Peters J.G., 1977. Adult life and emergence of *Dolania americana* in northwestern Florida (Ephemeroptera: Behningiidae). *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie*, 62:409–438.
- Jacob U., 2003a. *Baetis* Leach 1815, sensu stricto oder sensu lato. Ein Beitrag zum Gattungskonzept auf der Grundlage von Artengruppen mit Bestimmungsschlüsseln. *Lauterbornia*, 47:59–129.
- Jacob U., 2003b. Africa and its Ephemeroptera: Remarks from a biogeographical view. In Gaino E. (ed). *Research update on Ephemeroptera & Plecoptera*. Université di Perugia. Perugia, Italy, pp.317–325
- Kjellberg G., 1972. Autecological studies of *Leptophlebia vespertina* (Ephemeroptera) in a small forest pool, 1966/1968. *Entomologisk Tidskrift*, 93(1-3): 1–29.
- Krno I., 1990. Longitudinal changes in the structure of macrozoobenthos and its microdistribution in natural and moderately eutrophicated waters of the River Rajcianka (Strazovske vrchy). *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae Zoologia*, 33:31–48.
- Krno I., 1991. Makrozoobentos litoralu jazier Zapodnych Tater a ich odtokov. *Zborn. pac o Tatranskom parku*, 31:217–227.
- Ladle M., Welton J.S. & Bass J.A.B., 1980. Invertebrate colonisation of the gravel substratum of an experimental recirculating channel. *Holarctic Ecology*, 3:116–123.
- Landa V., 1968. Developmental cycles of Central European Ephemeroptera and their interrelations. *Acta Entomologica Bohemoslovaca*, 65(4):276–284.

- Langford T.E., 1975. The emergence of insects from a British river, warmed by power station cooling water. Pt. II: The emergence patterns of some species of Ephemeroptera, Trichoptera and Megaloptera in relation to water temperature and river flow, upstream and downstream of cooling-water outfalls. *Hydrobiologia*, 47:91–133
- Lavandier P. & Dumas J., 1971. Cycles de développement de quelques invertébrés benthiques dans des ruisseaux des Pyrénées centrales. *Annales de Limnologie*, 7(2):157–172.
- Le Houerou H.N., Claudin J. & Pouget M., 1977. Etude bioclimatique des steppes algériennes avec une carte bioclimatique au 1/1000.000. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, pp: 36–40.
- Lestage J.A., 1925. Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères recueillis en Algérie par M. H. Gauthier et liste des espèces connues actuellement de l'Afrique du Nord. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 16: 8–18.
- Lounaci A., Brosse S., Thomas A. & Lek S., 2000. Abundance, diversity and community structure of macroinvertebrates in an algerian stream: The Sebaou wadi. *Annales de Limnologie*, 36 (2): 123–133.
- Macan TT. 1979. A key to the nymphs of British Ephemeroptera with notes on their ecology. Third edition. Freshwater Biological Association Scientific Publication, 20:1–80.
- Madsen B.L., Bengtsson J. & Butz I., 1977. Upstream movement by some Ephemeroptera species. *Archiv für Hydrobiologie*, 81(1):119–127.
- Madsen B.L., 1968. A comparative ecological investigation of two related mayfly nymphs. *Hydrobiologia*, 31:337–349.
- Magdych WP. 1979. The microdistribution of mayflies (Ephemeroptera) in *Myriophyllum* beds in Pennington Creek, Johnston County, Oklahoma. *Hydrobiologia*, 66(2):161–175.
- McClure R.G. & Stewart K.W. 1976. Life cycle and production of the mayfly *Choroterpes (Neochoroterpes) mexicanus* Allen (Ephemeroptera: Leptophlebiidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 69(1):134–144.
- Mebarki M., Taleb A. & Arab A., 2017. Environmental factors influencing the composition and distribution of mayfly larvae in northern Algerian wadis (regional scale). *Revue d'Écologie*, 72 (3): 303–313.
- Merritt R.W. & Cummins K.W., 1988. An introduction to the aquatic insects of North America. (2nd ed.) Kendall, Hunt Pub. Co., Dubuque, Iowa, 722p.
- Minshall J.N., 1967. Life history and ecology of *Epeorus pleuralis* (Banks) (Ephemeroptera; Heptageniidae): *American Midland Naturalist*, 78:369–388.

- Monaghan M.T., Gattolliat J.L., Sartori M., Elouard J.M., James H., Derleth P., Glaizot O., De Moor F. & Vogler A.P., 2005a. Trans-oceanic and endemic origins of the small minnow mayflies (Ephemeroptera, Baetidae) of Madagascar. *Proceedings of the Royal Society, B*, 272:1829-1836.
- Monaghan M. & Sartori M., 2009. Genetic contributions to the study of taxonomy, ecology, and evolution of mayflies (Ephemeroptera): Review and future perspectives. *Aquatic Insects*. 31:19–39.
- Moore J.W., 1977. Some factors effecting algal consumption in subarctic Ephemeroptera, Plecoptera and Simuliidae. *Oecologia*, 27:261–273.
- Müller K., 1974. Stream drift as a chronobiological phenomenon in running water ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5:309–323.
- Múrria C., Bonada N., Vellend M., Zamora-Muñoz C., Alba-Tercedor J., Sainz-Cantero C.E., Garrido J., Acosta R., El Alami M., Barquín J., Derka T., Álvarez-Cabria M., Sáinz-Bariain M., Filipe A.F. & Vogler A.P., 2017. Local environment rather than past climate determines community composition of mountain stream macroinvertebrates across Europe. *Molecular Ecology*, 26(21):6085–6099.
- Nagell B., 1977. Survival of *Cloeon dipterum* (Ephemeroptera) larvae under anoxic conditions in winter. *Oikos*, 29(1):161–165.
- Navas L., 1922. Névroptères de Barbarie. 3ème série. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 13(8): 251–253.
- Navas L., 1929. Insectes Névroptères et voisins de Barbarie (Septième série). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 20: 57–60.
- Ogden T.H., 2004. Evolution and phyogeny of basal winged insects with emphasis on mayflies (Ephemeroptera). Dissertation, Brigham Young University, 95 pp.
- Pleskot G. 1953. Zur Ökologie der Leptophlebiiden (Ins., Ephemeroptera). *Osterreichische zoologische Zeitschrift*, 4(1/2):45–107.
- Poole WC; Stewart KW. 1976. The vertical distribution of macrobenthos within the substratum of the Brazos River, Texas. *Hydrobiologia*, 50(2):151–160.
- Roche M., 1963. *Hydrologie de surface*, Edition Gauthier-Villars, Paris, ORSTOM, 430 pp.
- Russev B., 1973. Kompensationsflug bei der Ordnung Ephemeroptera. In: Peters WL; Peters JG. *Proceedings of the first international conference on Ephemeroptera*. E.J. Brill, Leiden, pp : 132–142.
- Sala O., Chapin III F.S., Armesto J.J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R.H., Huber-Sannwald E., Huenneke L., Jackson R., Kinzig A.P., Leemans Rik., Lodge D., Mooney H., Oesterheld M., Poff N., Sykes M., Walker B., Walker M. & Wall D., 2000. Biodiversity - Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science (New York, N.Y.)*. 287: 1770–1774.

- Sartori M. & Brittain J.E., 2015. Order Ephemeroptera. In: Thorp J, Rodgers DC. (Eds) Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates: Ecology and General Biology, 4th Edition, Academic Press, New York, 873–891.
- Sauvage C.H. Daget P., 1963. Le quotient pluviométrique d'EMBERGER. Son utilisation et la représentation de ses variations au Maroc. Annales du Service Météorologique et de Physique du Globe. 20 :11-23.
- Sauvage CH., 1960. Recherches géobotaniques sur le chêne liège au Maroc. Thèse de Doctorat, Montpellier. Travaux de l'Institut des Sciences Chérifiennes. Série botanique, 21. 462pp
- Soldán T. & Thomas A.G.B., 1983a. *Baetis numidicus* n.sp., Ephéméroptère nouveau d'Algérie (Baetidae). Annales de Limnologie, 19: 207–211.
- Soldán T. & Thomas A.G.B., 1983b. New and little-known species of mayflies (Ephemeroptera) from Algeria. Acta Entomologica Bohemoslovaca, 80: 356–376.
- Soldán T., 1979. A comparative study of spermatozoa of some Central European Ephemeroptera. Acta Entomologica Bohemoslovaca, 76:223–230, pl. 1–3.
- Soldán T. & Gagneur J., 1985. *Ecdyonurus rothschildi* Navás, 1929 : Description de la larve (Ephemeroptera, Heptageniidae). Annales De Limnologie - International Journal of Limnology, 21(2):141–144.
- Soldán T., Godunko R.J. & Thomas A.G.B., 2005. *Baetis chelif* n. sp., a new mayfly from Algeria with notes on *B. sinespinosus* Soldán & Thomas, 1983, n. stat. (Ephemeroptera: Baetidae). Genus, 16: 155–165.
- Sowa R., 1975a. Ecology and biogeography of mayflies (Ephemeroptera) running waters in the Polish part of the Carpathians. 2: Life cycles. Acta Hydrobiologica 17(4):319–353.
- Sowa R., 1975b. What is *Cloeon dipterum* (Linnaeus, 1761)? The nomenclatural and morphological analysis of a group of the European species of *Cloeon* Leach (Ephemerida: Baetidae). Entomologica Scandinavica, 6:215–223.
- Sowa R. 1980. Taxonomy and ecology of European species of the *Cloeon simile* Eaton group (Ephemeroptera: Baetidae). Entomologica Scandinavica, 11:249–258.
- Stewart P., 1969. Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, 59:23–36.
- Studemann D., Landolt P., Sartori M., Hefti D. & Tomka I., 1992. Ephemeroptera - Insecta. Helvetica Fauna 9:1–175.

- Tachet H., Bournaud M. & Richoux P., 1980. Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces (systématique élémentaire et aperçu écologique). Université Lyon 1. Association Française de Limnologie, 155pp
- Tachet H., Richoux Ph., Bournaud M. & Usseglio-Polatera Ph., 2000. Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie. CNRS édition, 587pp.
- Thomas A. & Gagneur J. 1994. Compléments et corrections à la faune des Ephéméroptères d'Afrique du Nord. 6. *Alainites sadati* n.sp. d'Algérie (Ephemeroptera, Baetidae). Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, 130:43–45.
- Thomas A., 1998. A provisional checklist of the mayflies of North Africa (Ephemeroptera). Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, 134:13–20.
- Thomas A.G.B., 1975. Ephéméroptères du sud-ouest de la France. 1: Migration d'imagos à haute altitude. Annales de Limnologie. 11:47–66.
- Thomas, E. 1970. Die Oberflächendrift eines lappländischen Fliessgewässer. Oikos Supplementum, 13:45–64
- Thomas J.A., Trueman J.W.H., Rambaut A. & Welch J.J., 2013. Relaxed phylogenetics and the Palaeoptera problem: resolving deep ancestral splits in the insect phylogeny. Systematic Biology. 62: 285–297.
- Tjønneland A., 1960. The flight activity of mayflies as expressed in some East African species. Arbok for Universitetet i Bergen, Mat. Naturvitensk. Serie 1960(1):1–88.
- Ulanoski J.T. & McDiffett W.F., 1972. Diurnal variation in respiration of mayfly nymphs (Ephemeroptera). Physiological Zoology, 45(2):97–105.
- Vance S.A. & Peckarsky B.L., 1997. The effect of mermithid parasitism on predation of nymphal *Baetis bicaudatus* (Ephemeroptera) by invertebrates. Oecologia, 110:147–152.
- Vannote R.L., 1978. A geometric model describing a quasi-equilibrium of energy flow in populations of stream insects. Proceedings of the National Academy of Sciences, (USA), 75(1):381–384.
- Vitte B. & Thomas A.G.B., 1988. Compléments et corrections à la faune des Ephéméroptères d'Afrique du Nord. 3. *Ecdyonurus ifranensis* n. sp., du Moyen Atlas marocain (Ephemeroptera). Annals de Limnologie, 24(3):269–273.
- Wagner A. & Sartori M., 2012. Liste rouge des Éphémères de Suisse. In: Lubini V., Knispel S., Sartori M., Vicentini H. & Wagner A. 2012: Listes rouges Ephémères, Plécoptères, Trichoptères. Espèces menacées en Suisse, état 2010. Office fédéral de l'environnement, Berne, et Centre Suisse de Cartographie de la Faune, Neuchâtel. L'environnement pratique, n° 1212: 111 p

- Wallace J.B. & Meritt R.W., 1980. Filter-feeding ecology of aquatic insects. *Annual Review of Entomology*, 25:103–132.
- Williams D.D. & Feltmate B.W., 1992. *Aquatic Insects*. CAB International. xiii, 358pp.
- Williams, D. D. 1980. Temporal patterns in recolonization of stream benthos. *Archiv für Hydrobiologie*, 90(1):56–74.
- Zelinka M., 1980. Differences in the production of mayfly larvae in partial habitats of a barbel stream. *Archiv für Hydrobiologie*, 90(3):284–297.
- Zrelli S., Boumaiza M., Béjaoui M., Gattolliat J-L. & Sartori, M., 2016. New data and revision of the Ephemeroptera of Tunisia. *Inland Water Biology*. Supplement 3, 99–106.
- Zrelli S., Boumaiza M., Béjaoui M., Gattolliat J-L. & Sartori, M., 2011a. New reports of mayflies (Insecta: Ephemeroptera) from Tunisia. *Revue suisse de Zoologie*, 118, 3–11.
- Zrelli S., Gattolliat J-L., Boumaïza M. & Thomas A., 2012. First record of *Alainites sadati* Thomas, 1994 (Ephemeroptera: Baetidae) in Tunisia, description of the larval stage and ecology. *Zootaxa*, 3497, 60–68.
- Zrelli S., Sartori M., Bejaoui M. & Boumaïza M., 2011b. *Rhithrogena sartorii*, a new mayfly species (Ephemeroptera: Heptageniidae) from North Africa. *Zootaxa*, 3139: 63–68.

Webographie

- Blais C., Gaumont R., Maïbeche M. « ÉPHÉMÉROPTÈRES », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 27 février 2016. URL :<http://www.universalis.fr/encyclopedie/ephemeropteres/>
<http://www.opie-benthos.fr/opie/insecte.php>
<https://inpn.mnhn.fr/>
<https://slideplayer.fr/slide/10296681/>
<https://zestedesavoir.com/articles/223/les-arbres-phylogenetiques/>
<http://lesmoucheursnanta.free.fr>
www.laccreteil.fr
<http://www.club-mouche-languedoc.fr/>
<http://www.abhcsn.dz/>
<http://www.abhoranie.dz/>
<https://www.slideshare.net/CBOLAdelaide2011/schindel>
<https://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-3-genetics/35-genetic-modification-and/pcr.html>
<https://ed414-openlab.unistra.fr/les-tp/adn-et-genetique-2009-2012/pour-preparer-le-tp/la-pcr-quest-ce-que-cest/>
<http://www.technobio.fr/article-17071980.html>
http://bebatut-edu.github.io/metagenomique_cm/sequencage.html#/